LILIAN MIKA HORIE

**Desenvolvimento de equações preditivas de
composição corporal para obesos graves: uso da
bioimpedância elétrica**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de concentração: Cirurgia do
Aparelho Digestivo

Orientador: Prof. Dr. Dan Linetzky
Waitzberg

SÃO PAULO

2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Horie, Lilian Mika

Desenvolvimento de equações preditivas de composição corporal para obesos graves : uso da bioimpedância elétrica / Lilian Mika Horie. -- São Paulo, 2008.

Dissertação(mestrado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Departamento de Gastroenterologia.

Área de concentração: Cirurgia do Aparelho Digestivo.

Orientador: Dan Linetzky Waitzberg.

Descritores: 1.Obesidade mórbida 2.Composição corporal 3.Impedância elétrica
4.Tecido adiposo 5.Antropometria

USP/FM/SBD-186/08

Dedicatória

Aos meus pais

Yoshihiko e Yasuko Horie

*a quem devo mais esta conquista, pelo constante incentivo e
apoio às minhas decisões.*

Obrigada por tudo, “meu Papito e minha Queridona”!!!!

Agradecimentos Especiais

*Ao meu noivo Marcelo Ninomiya
que em todos estes anos de convivência, cumplicidade, amizade e amor,
sempre esteve ao meu lado, apoiando-me, incentivando-me para nunca
desistir dos meus sonhos.*

*Aos meus irmãos Wilson Atsushi Horie e Marcos Massahiko Horie
pelo carinho e apoio em todas as horas.*

Agradecimentos Especiais

Ao Prof. Dr. Dan Linetzky Waitzberg

Foi uma honra tê-lo como orientador. Agradeço imensamente por ter acreditado e incentivado o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação, ensinamentos científicos e oportunidades profissionais proporcionadas foram muito importantes para mim. Admiro-o por sua sabedoria e por estar constantemente incentivando os jovens pesquisadores. MUITO OBRIGADA!

À Querida Profa. Dra. Maria Cristina Gonzalez

Agradeço imensamente tanta dedicação, paciência e horas de sono perdidas em frente ao computador para a discussão deste trabalho. Mesmo a distância, seu auxílio, suas orientações foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Obrigada, por me acolher muitas vezes em sua casa e por sempre me tratar com tanto carinho! Mais uma vez: MUITÍSSIMO OBRIGADA!!!!

À Querida Ms. Raquel Suzana Torrinas

Obrigada pela dedicação, paciência e carinho com que sempre me ajudou. Seus ensinamentos foram valiosos não só para a execução deste trabalho, mas para minha formação científica. De coração: MUITO OBRIGADA!!!!

Agradecimentos Especiais

Aos pacientes que participaram voluntariamente deste estudo e contribuíram para a realização deste trabalho, obrigada pelo esforço que fizeram para chegar cedo ao hospital, pela convivência e ensinamentos de vida.

Agradecimentos

Ao **Prof. Dr. Ivan Cecconello**, Professor Titular da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo, obrigada por conceder a oportunidade de desenvolver esta dissertação de mestrado.

Ao **Prof. Dr. Luiz Augusto Carneiro D'Albuquerque**, Coordenador do Programa de Pós-Graduação da Área de Cirurgia do Aparelho Digestivo, obrigada pelos constantes apoio e palavras de incentivo, durante todo o período da presente dissertação.

Ao **Prof. Dr. José Jukemura**, Médico da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo, pelo apoio, confiança e incentivo, durante todo o período do presente estudo.

À Fundação Faculdade de Medicina, em especial ao **Dr. José Agenor Silveira**, Diretor Executivo da FMUSP, por conceder o transporte dos pacientes deste estudo.

À **Ms. Maria Carolina Gonçalves Dias**, Coordenadora Clínica da Equipe Multiprofissional de Terapia Nutricional, EMTN HC-FMUSP, pelas constantes palavras de incentivo, apoio, carinho e confiança, além do estímulo para eu dar continuidade aos estudos.

À **Dra. Sandra Regina Justino**, agradeço pela atenção, auxílio e importantes sugestões que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À **Dra Ângela Flávia Logullo Waitzberg**, por sempre me acolher tão carinhosamente em sua casa, pela presença e participação nas discussões, não somente desta dissertação, mas em minha vida profissional com o Dr. Dan.

Ao **Prof. Dr. Marco Túlio de Mello**, Coordenador do Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício (CEPE) da Universidade Federal de São Paulo, pela confiança em abrir gentilmente as portas de seu serviço para que parte da coleta deste trabalho pudesse ser realizada.

Aos profissionais do CEPE, **Sheila Bertolino, Juliana Gazolla e Glória**, obrigada pelo auxílio na coleta de dados deste estudo.

Às queridas amigas **Graziela Rosa Ravacci, Letícia De Nardi Campos e Mariana Raslan**, pelos momentos compartilhados de alegria e até de tristeza e também pela colaboração valiosa neste estudo.

À querida amiga **Melina Gouveia Castro**, pelo carinho e amizade durante toda a execução desta dissertação.

Às queridas e novas amigas do GANEP **Renata Cristina Campos Gonçalves, Gabrielle Carasini Costa, Patrícia Morais de Oliveira e Patrícia Mara Realino Guaitoli**, que apesar de não terem auxiliado na execução desta dissertação, nesta fase final me apoiaram. Obrigada pelo carinho e amizade.

Às amigas **Ana Paula Bazanelli, Maria Augusta Denadai Sanchez e Talita Marques de Aquino**, pela convivência e troca de experiências e informações durante todos estes anos em que moramos juntas, o que muito contribuiu para meu crescimento pessoal e profissional.

À querida **Erly Maria da Paz**, pela dedicação e pela ajuda na coleta de dados deste estudo.

À **Rosa Maria Campos Gonçalves**, pela revisão desta dissertação.

Aos pesquisadores e estagiárias da equipe METANUTRI, **Cláudia Cristina Alves, Raquel Santana, Thaís Garcia, Natália Lima Rodrigues, Livia Samara dos Reis Rodrigues, Juliana Rey**, pela convivência diária e troca de experiências.

Às funcionárias da equipe METANUTRI, **Elaine Muniz e Patrícia Macedo**, pela ajuda que sempre me ofereceram durante estes anos.

Às enfermeiras **Ana Cristina Oliveira de Souza e Maria Emília L.F. Cruz** que sempre colaboraram para a coleta de dados deste estudo.

Às auxiliares de enfermagem **Icair Ragucci, Valdivina Maria Ferreira, Odete Ribeiro Gomes, Osmerinda Rodrigues Coelho, Mercedes Santos Souza, Silvia Ferreira da Silva, Edna Januário, Elizabete Justina Magalhães**, que sempre estiveram presentes quando precisei de auxílio.

Aos residentes da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo **Carlos Eduardo Pires e André Kondo**, que me auxiliaram na captação de pacientes para este estudo.

Ao desenhista **Marcos Retzer** pelo desenvolvimento da capa.

Ao **Dr. Pedro Luiz Bertevello**, por me encaminhar pacientes para o desenvolvimento deste projeto.

Ao diretor da empresa BodyStat, **Sakkie Meeuwsen**, que forneceu o aparelho de bioimpedância elétrica e eletrodos imprescindíveis para a coleta de dados.

Ao **Sávio Pellegrini do Rosário e Cristiano Fonseca** da empresa Ger-Ar, que gentilmente nos doaram filtros necessários para a avaliação da composição corporal por BODPOD, além do apoio técnico no manuseio do aparelho.

Ao motorista **Dailson** que nos levou durante meses ao CEPE.

*Trabalho realizado no Centro de Estudos de Gasto Energético e Composição Corporal
do Grupo METNUTRI – Metabologia e Nutrição em Cirurgia do Laboratório de
Investigação Médica (LIM 35), da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo, do
Departamento de Gastroenterologia da Faculdade de Medicina da Universidade de
São Paulo.*

O presente projeto de pesquisa recebeu o apoio financeiro:

Fapesp:

Auxílio Pesquisa processo nº 06/51083-0

Bolsa de Mestrado processo nº 06/53094-9

Bodystat Ltda, Douglas, UK

Ger-Ar Comércio de Produtos Médicos Ltda

Fundação Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

NORMATIZAÇÃO ADOTADA

Esta dissertação está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver)

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Elaborado por Annelise Carneiro da Cunha, Maria Julia A. L. Freddi, Maria F. Crestan, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 2ª ed. São Paulo: Serviço de Biblioteca e Documentação; 2005.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

Lista de figuras

Lista de gráficos

Lista de tabelas

Resumo

Summary

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. <i>Composição corporal</i>	2
1.2. <i>Obesidade</i>	3
1.2.1. <i>Composição corporal na obesidade grau III</i>	5
JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	10
2. OBJETIVO	12
3. MÉTODO	14
3.1. <i>Desenho do protocolo do estudo</i>	14
3.2. <i>Local de desenvolvimento do estudo</i>	14
3.3. <i>Comissão de ética</i>	15
3.4. <i>Pacientes</i>	16
3.4.1. Critérios de inclusão	16
3.4.2. Critérios de exclusão	17
3.5. <i>Avaliações antropométricas e de composição corporal</i>	17
3.5.1. <i>Avaliação antropométrica</i>	17
3.5.1.1. <i>Peso atual</i>	18
3.5.1.2. <i>Altura</i>	18
3.5.1.3. <i>Índice de Massa Corporal (IMC)</i>	18
3.5.2. <i>Avaliação da composição corporal</i>	19
3.5.2.1. <i>Bioimpedância Elétrica</i>	19
3.5.2.2. <i>Pletismografia de Deslocamento Aéreo (PDA)</i>	21
3.6. <i>Análise estatística dos dados</i>	24
3.6.1. <i>Avaliação da homogeneidade da amostra em relação aos dados antropométricos</i>	25
3.6.2. <i>Comparação da avaliação da composição corporal de obesos grau III por BIA e PDA</i>	25
3.6.3. <i>Desenvolvimento e validação de novas equações preditivas de composição corporal</i>	25
4. RESULTADOS	28
4.1. <i>Características da população</i>	28
4.2. <i>Composição corporal</i>	30
4.3. <i>Desenvolvimento de novas equações de composição corporal</i>	38
4.4. <i>Comparação das novas equações de GC vs PDA vs BIA</i>	43
5. DISCUSSÃO	47
5.1. <i>Dos Métodos</i>	47
5.1.1. <i>Da Bioimpedância Elétrica</i>	47
5.1.2. <i>Da Pletismografia de Deslocamento Aéreo (PDA) como método de referência para estimativa da composição corporal</i>	50

5.2. <i>Dos Resultados</i>	51
5.2.1. Composição corporal.....	51
5.2.2. Das novas equações de composição corporal	54
5.3. <i>Perspectivas de investigação</i>	56
5.3.1. <i>Utilização das novas equações de estimativa de GC</i>	56
5.3.2. <i>Avaliação do gasto energético de pacientes obesos graves</i>	56
6. CONCLUSÕES	59
7. ANEXOS	61
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

APÊNDICE – Artigo publicado no Clinical Nutrition

LISTA DE ABREVIATURAS

CA: Califórnia

Corp: Corporation

LMH: Lilian Mika Horie

Ltda: Limitada

Tx: Texas

UK: United Kingdom

USA: United States of America

LISTA DE SIGLAS

ACT: água corporal total
ADP: air displacement plethysmography
AEC: água extracelular
AFIP: Associação Fundo de Incentivo à Fisiologia do Exercício e Psicobiologia
AIC: água intracelular
ANOVA: análise de variancia
BF: body fat
BIA: bioimpedância elétrica
CAPPesq: Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa
CC: circunferência da cintura
CCC: coeficiente de correlação de concordância
CEGECC: Centro de Estudos de Gasto Energético e Composição Corporal
CEPE: Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício
CI: calorimetria indireta
CQ: circunferência do quadril
D: densidade
DEXA: absorptometria de raio X de dupla energia
EPM: Escola Paulista de Medicina
FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FMUSP: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
GC: gordura corporal
GEB: gasto energético basal
GER: gasto energético de repouso
HW & BS₁: equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁
HW & BS₂: equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂
IHC: Instituto Central do Hospital das Clínicas
IMC: índice de massa corporal
Imp: impedância

LIM: Laboratório de Investigação Médica

Metanutri: Grupo de Metabologia e Nutrição em Cirurgia

MM: massa magra

MLM: massa livre de gordura

OMS: organização mundial da saúde

P1: pressão inicial ou exercida pelo cilindro de calibração

P2: pressão final ou exercida pelo indivíduo

PDA: pletismografia de deslocamento aéreo

RCQ: relação cintura quadril

TNF- α : fator de necrose tumoral alfa

V1: volume inicial ou do cilindro de calibração

V2: volume final ou corporal do indivíduo a ser determinado

UCPel: Universidade Católica de Pelotas

UFPel: Universidade Federal de Pelotas

Unifesp: Universidade Federal de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

kHz: kilohertz

Kg: quilogramas

±: mais ou menos

%: porcentagem

m: metros

Kg/m²: quilogramas por metro quadrado

nº: número

®: marca registrada

cm: centímetros

>: maior

<: menor

DP: desvio padrão

g: gramas

n: número de pacientes

&: letra e (conjunção)

°: graus

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição corporal em mulheres portadoras de obesidade grave e em mulheres eutróficas	06
Figura 2 – Posicionamento do paciente para avaliação de BIA	19
Figura 3 – Leitura do resultado de avaliação de composição corporal, medida por aparelho de BIA	20
Figura 4 – Procedimentos para avaliação da composição corporal, por meio de pletismografia de deslocamento aéreo, BOD POD® body composition system; Life Measurement Instruments, Concord, CA	22

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de Bland-Altman. Avaliação da correlação entre GC (kg) estimada pela BIA e PDA para todo o grupo (n=119).....	34
Gráfico 2 - Gráfico de Bland-Altman. Avaliação da correlação entre GC (kg) estimada pela BIA e PDA para homens (n=36).....	35
Gráfico 3 - Gráfico de Bland-Altman. Avaliação da correlação entre GC (kg) estimada pela BIA e PDA para mulheres (n=83).....	36
Gráfico 4 - Diferença entre a gordura corporal (kg) estimada por meio de BIA e PDA estratificado por categoria de IMC e sexo.....	37
Gráfico 5 – Contribuição de cada variável de R^2 ajustado da equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva ₁	40
Gráfico 6 – Contribuição de cada variável de R^2 ajustado da equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva ₂	42
Gráfico 7 - Concordância entre a gordura corporal obtida pela BIA e as novas equações HW & BS ₁ e HW & BS ₂ em relação a obtida por PDA	44
Gráfico 8 - Limites de concordância entre a gordura corporal obtida pela BIA e as novas equações HW & BS ₁ e HW & BS ₂ em relação a PDA	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características descritivas dos pacientes.....	29
Tabela 2 – Comparação da composição corporal dos pacientes estimada, por meio de bioimpedância elétrica (BIA) e pletismografia de deslocamento aéreo (PDA)	31
Tabela 3 – Comparação da gordura corporal (kg) estimada por BIA e PDA	33
Tabela 4 – Análise de regressão linear múltipla utilizando a gordura corporal (kg) estimada como variável dependente (R^2 ajustado = 0,9729)	39
Tabela 5 – Análise de regressão linear múltipla utilizando a gordura corporal (kg) estimada como variável dependente (R^2 ajustado = 0,9731)	41
Tabela 6 - Comparação da gordura corporal (kg) estimada obtida pela BIA de quatro-freqüências e as novas equações HW & BS ₁ e HW & BS ₂ em relação a obtida por PDA	43

RESUMO

Horie, LM. *Desenvolvimento de equações preditivas de composição corporal em pacientes obesos graves: uso da bioimpedância elétrica*. [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2008. 74p.

INTRODUÇÃO: A obesidade grave dificulta fisicamente a avaliação da composição corporal. OBJETIVO: Desenvolver equações para estimativa de gordura corporal (GC) em obesos grau III. MÉTODOS: Adultos obesos graves tiveram a GC estimada por bioimpedância elétrica (BIA – impedância de 5, 50, 100 e 200kHz) e por método de referência (pletismografia de deslocamento aéreo - PDA). Avaliaram-se os limites de concordância e seu coeficiente de correlação (CCC). Novas equações preditivas foram desenvolvidas por análise de regressão multivariada. RESULTADOS: A GC estimada por BIA e PDA foi similar para a população estudada ($64,8 \pm 15\text{kg}$ vs $65,6 \pm 16\text{kg}$, $p > 0,05$). Ambas tiveram boa acurácia, precisão e CCC, porém a sua comparação teve amplos limites de concordância que variaram de -10,4 a 8,8kg. A equação residente de BIA aplicada em mulheres superestimou a GC (-1,3 kg; $p < 0,05$) e em homens subestimou a GC (5,6 kg; $p < 0,05$). Novas equações preditivas de GC foram criadas, para BIA de frequência de 50kHz, Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁: $GC_1 \text{ (kg)} = 23,25 + (0,13 \times \text{idade}) + (1,00 \times \text{peso atual}) + (0,09 \times \text{Resistência } 50\text{kHz}) - (0,80 \times \text{altura})$ e para BIA de frequência de 100kHz, Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂: $GC_2 \text{ (kg)} = 23,97 + (0,10 \times \text{Impedância } 100\text{kHz}) + (0,11 \times \text{idade}) + (0,99 \times \text{peso atual}) - (0,80 \times \text{altura})$. CONCLUSÕES: A equação

residente no aparelho de BIA foi inadequada para estimar a GC em pacientes obesos grau III. As equações desenvolvidas especialmente para esta população forneceram estimativas de GC mais precisas (melhores limites de concordância, precisão, acurácia e CCC).

Descritores: obesidade mórbida, composição corporal, impedância bioelétrica, tecido adiposo, antropometria

SUMMARY

Horie, LM. Development of body composition prediction equations for severely obese patients: *the use of bioelectrical impedance*. [Dissertation]. São Paulo: "Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2008. 74p.

RATIONALE: Severe obesity limits physically the body composition assessment.

AIM: To develop equations of body fat (BF) estimative in severe obesity.

METHODS: Severely obese adults had BF estimated by bioelectrical impedance (BIA – impedance of 5, 50, 100 and 200kHz) and reference method (air displacement plethysmography - ADP). The limits of agreement and of concordance correlation coefficient (CCC) of the data were evaluated. New predictive equations were developed by multivariate regression analysis.

RESULTS: The BF estimations from BIA and ADP were similar for the studied population ($64.8 \pm 15\text{kg}$ vs $65.6 \pm 16.4\text{kg}$, $p > 0.05$). Both had good accuracy, precision, and CCC, but their comparison had wide limit of agreement with range from -10.4 to 8.8kg. The home BIA equation overestimated BF in women (-1.3 kg, $p < 0.05$) and underestimated BF in men (5.6 kg; $p < 0.05$). BF new predictive equations were generated, for BIA with 50kHz frequency, Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁: $\text{BF}_1 (\text{kg}) = 23.25 + (0.13 \times \text{age}) + (1.00 \times \text{current weight}) + (0.09 \times \text{Resistance } 50\text{kHz}) - (0.80 \times \text{height})$ and for BIA with 100kHz frequency, Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂: $\text{BF}_2 (\text{kg}) = 23.97 + (0.10 \times \text{Impedance } 100\text{kHz}) + (0.11 \times \text{age}) + (0.99 \times \text{current weight}) - (0.80 \times \text{height})$.

CONCLUSIONS: The home equation on BIA was inadequate for estimating BF

in severely obese patients. Equations developed especially for this population provides more accurate BF estimative (better limits of agreement accuracy, precision and CCC).

Descriptors: severe obesity, body composition, bioelectrical impedance, adipose tissue, anthropometric.

Introdução

1. Introdução

1.1. Composição corporal

O corpo humano pode ser dividido em mais de 30 componentes, tecidos e espaços hídricos principais que, por sua vez, podem ser agrupados em diferentes níveis de complexidade. A composição corporal compreende a proporção entre esses diferentes componentes corporais e a massa corporal total de um indivíduo, e sua compreensão é fundamental para a avaliação do estado nutricional¹.

Várias metodologias de análise, baseadas em diferentes princípios, vêm sendo adotadas desde então nas investigações clínicas e epidemiológicas que conduzem ao entendimento dos processos fisiológicos ligados a alterações nos constituintes corporais². Técnicas simples como a antropometria, medida de pregas cutâneas e a bioimpedância elétrica (BIA), ou mais complexas como a dupla absorptometria de raios X de dupla energia (DEXA), pesagem hidrostática, pletismografia de deslocamento aéreo (PDA), ressonância magnética e tomografia computadorizada, são amplamente utilizadas em pesquisas clínicas³.

A maioria dos métodos de avaliação da composição corporal, no entanto, baseia-se no modelo de dois compartimentos: massa magra e gordura corporal. O termo massa magra se refere à parcela do corpo excluída de tecido gorduroso (basicamente água, proteínas e minerais)². A água corporal está predominantemente distribuída na massa magra, onde existe em concentração

próxima a 72,3%. A gordura, por sua vez, perfaz 83% do tecido gorduroso, sendo o restante proteína e 15% de água⁴. Como componente da composição corporal, a gordura corporal pode ser observada desde o contexto macroscópico até o nível molecular, no qual se faz referência aos triglicerídeos de depósito, que correspondem a 89% dos lipídios corporais totais.

A escolha do método de avaliação da composição corporal a ser utilizado dependerá de quais compartimentos corporais se pretende determinar e de aspectos como custo, validade, aplicabilidade do método e grau de treinamento necessário do avaliador.

Cabe ressaltar que diversos fatores como idade, gênero, etnia, consumo alimentar, estágio fisiológico, atividade física, presença de co-morbidades e diversas situações clínicas podem influenciar a composição corporal⁵. A relação entre a água intracelular e a extracelular, por exemplo, é constante na saúde, mas pode sofrer alterações por algumas enfermidades.

1.2. Obesidade

A obesidade é uma doença caracterizada pelo excesso de peso corporal principalmente às custas de massa gorda. Possui origem multifatorial, crônica, não transmissível e apresenta a maior taxa de crescimento em frequência no mundo, atingindo proporções epidêmicas⁶⁻¹⁰

No Brasil, mudanças demográficas, socioeconômicas e epidemiológicas permitiram que ocorresse uma transição progressiva do padrão nutricional, com

diminuição de população de baixo peso e aumento de população obesa, independente de sua faixa etária^{11; 12}.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) classifica a obesidade de acordo com o Índice de Massa Corporal (IMC), que é definido como peso (Kg) do indivíduo dividido pela sua altura (m) ao quadrado^{10; 13}. Indivíduos obesos moderados (grau II) e graves (grau III) apresentam IMC maior que 35 e 40kg/m², respectivamente.

O risco de desenvolvimento de co-morbidades é diretamente proporcional ao IMC do indivíduo. Essa observação pode estar associada a características metabólicas e reguladoras do tecido adiposo. O tecido adiposo, principalmente o tecido adiposo branco, pode ser considerado um órgão endócrino altamente ativo e complexo que secreta uma grande quantidade de hormônios e citocinas que, por sua vez, atuam na regulação do metabolismo energético e inflamação¹⁴. Adipócitos da região abdominal influenciam a função de células beta pancreáticas, participam na produção de glicose hepática, na regulação do apetite e na liberação de substâncias com função endócrina, como a leptina, fator de necrose tumoral-alfa (TNF- α) e adiponectina¹⁵.

Portanto, o acúmulo de tecido adiposo pode alterar o equilíbrio metabólico e contribuir para o desenvolvimento de co-morbidades relacionadas à obesidade, como resistência à insulina e aterosclerose^{14; 16}. De fato, as obesidades grau II e III vêm geralmente associadas a diversas co-morbidades que incluem hipertensão arterial, diabetes, alterações neuroendócrinas e de

perfil lipídico (dislipidemias), problemas cardiovasculares, câncer, apnéia do sono, alterações posturais, bioquímicas, hormonais e comportamentais e podem reduzir significativamente a expectativa (aproximadamente 8 anos) e a qualidade de vida¹⁷⁻²⁰.

1.2.1. Composição corporal na obesidade grau III

Na prática clínica, a avaliação da gordura visceral pode ser feita por meio da mensuração da circunferência abdominal. O referido método, apesar de simples e praticamente sem custos, pode fornecer informações importantes na localização e diagnóstico do possível desenvolvimento de co-morbidades associadas à gordura visceral. Entretanto, especificamente em obesidade grau III ou grave, a presença de abdômen em avental dificulta significativamente a medida precisa da circunferência da cintura²¹.

A obesidade grave é caracterizada por grandes alterações nos compartimentos corporais em comparação aos indivíduos eutróficos ou em sobrepeso. Além do aumento de tecido adiposo há um aumento da hidratação corporal total, com expansão da água extracelular (AEC) em relação à água intracelular (AIC), conforme ilustra a figura 1²².

Figura 1 - Composição corporal em mulheres portadoras de obesidade grave e em mulheres eutróficas, de acordo com Das e col.²²

No entanto, a maioria dos métodos de avaliação da composição corporal, particularmente no modelo de dois compartimentos, assume que, os elementos que compõem a massa magra encontram-se nas mesmas proporções em todos os indivíduos. Por apresentarem alterações hidroeletrólíticas, essa situação é pouco provável em pacientes obesos grau III²³. Além disso, o excesso de gordura corporal, principalmente localizado na região abdominal, pode representar outra fonte de erro na avaliação dos compartimentos corporais dessa população²⁴.

Paralelamente, ferramentas consideradas padrão ouro para a análise da composição corporal na prática clínica (DEXA, ressonância magnética, tomografia computadorizada, pesagem hidrostática, isótopos marcados, entre outras) apresentam limitações de diferentes origens, como alto custo, necessidade de mão-de-obra especializada e, especificamente em pacientes obesos grau III, dificuldade para acomodação do paciente dentro de equipamentos²¹.

Alternativamente, equações preditivas para estimativa de gordura corporal podem ser utilizadas na avaliação da composição corporal de obesos grau III. No entanto, as equações disponíveis para esse fim foram desenvolvidas a partir de amostras compostas por indivíduos eutróficos ou com moderado excesso de peso e podem, portanto, não ser eficientes para avaliar especificamente a população de obesos graves^{21; 23}.

Os resultados de investigação da composição corporal em pacientes obesos grau III mostram uma relativa variabilidade entre os diferentes métodos de avaliação dos compartimentos corporais disponíveis. Este fato é esperado, mesmo na população de indivíduos saudáveis, em razão dos diferentes princípios em que se baseiam cada uma das técnicas e das equações de predição utilizadas para avaliar um componente corporal *in vivo*. Além disso, cada método apresenta diferentes níveis de precisão, acurácia, sensibilidade e reprodutibilidade, podendo comportar-se diferentemente, de acordo com populações e situações clínicas específicas²⁵.

Recentemente, o método de avaliação da composição corporal por PDA foi validado como método de referência para avaliação da composição corporal de pacientes obesos grau III²⁶. Apesar de ser um método preciso, não invasivo, rápido e confortável de determinação da composição corporal, a PDA apresenta alto custo, o que reduz sua utilização na prática clínica brasileira e em outros países com baixos recursos financeiros para gastos relacionados à saúde²⁷⁻²⁹.

A BIA é geralmente o recurso disponível para estimativa da composição corporal na prática clínica, por consistir de método simples, praticamente sem riscos, de baixo custo e fácil acesso^{3; 30; 31}. No entanto, sua eficiência sofre influência da quantidade e distribuição da água corporal total, intra e extracelular, assim como da configuração geométrica do corpo^{30; 32}.

Aparelhos de BIA tradicionalmente estimam a composição corporal utilizando a corrente de frequência única. A corrente de 50kHz, frequência utilizada na maioria dos aparelhos, atravessa parcialmente a membrana celular. Argumenta-se que a utilização de frequências mais altas, que podem penetrar completamente as células, pode medir melhor a água corporal total (ACT). Por outro lado, a utilização de correntes elétricas de baixa frequência, pode predizer melhor a AEC²¹. No mercado é possível adquirir aparelhos que operam de duas a mais frequências como intuito de medir melhor a ACT, AIC e AEC. Os aparelhos multifrequenciais são mais caros, portanto menos disponíveis, embora sejam mais precisos na estimativa dos compartimentos hídricos.

Pacientes portadores de obesidade grau III apresentam ACT concentrada principalmente no espaço extracelular, o que prejudica a mensuração do percentual de gordura corporal (GC) e superestima a massa magra (MM) corporal^{21; 23}. Além disso, a configuração geométrica do corpo não cilíndrica e a utilização de BIA de frequência simples pode não ser precisa na predição da porcentagem de gordura corporal^{24; 33; 34}. Aparelhos de BIA multifrequências podem fornecer resultados mais precisos da quantidade de hidratação de pacientes obesos graves.

Apesar de existirem equações específicas que validam a BIA para pacientes obesos, estas podem ter falhas para indivíduos com IMC acima de 34kg/m².^{23; 32; 35; 36} Seria de grande interesse científico o desenvolvimento de equações preditivas para validação da BIA em pacientes portadores de obesidade grau III³¹.

Justificativa do estudo

Pacientes obesos graves com co-morbidades associadas ao excesso de gordura podem ter indicação de cirurgia bariátrica. A cirurgia bariátrica promove intensa perda de excesso de peso graças à perda de gordura corporal, mas também às custas de perda de massa magra. Enquanto a redução de gordura corporal pode diminuir a mortalidade, através de mecanismos ainda desconhecidos, a perda de massa magra pode aumentá-la³⁷.

Neste sentido, informações diretas e reais da composição corporal, principalmente da quantidade de gordura corporal de indivíduos portadores de obesidade grave tornam-se importantes para monitorização e intervenção nutricional adequadas de diferentes programas de tratamento anti-obesidade²¹. Devido à indisponibilidade de ferramentas acessíveis e sensíveis para avaliação da composição corporal de obesos grau III, essa população de pacientes poderia, portanto, sofrer de acompanhamento nutricional pouco eficiente.

O presente estudo pretende desenvolver equações preditivas para estimativa da composição corporal de pacientes portadores de obesidade grau III, obtidas através de variáveis antropométricas e de BIA. Visa a disponibilizar novas ferramentas que permitam a obtenção de informações diretas e realistas da composição corporal de indivíduos portadores de obesidade grau III por método acessível e de baixo custo, possibilitando o melhor conhecimento do estado nutricional e, conseqüentemente, auxiliando a terapia nutricional desses pacientes.

Objetivo

2. Objetivo

Desenvolver equações preditivas para estimativa de gordura corporal em pacientes portadores de obesidade grave (grau III), com o uso de bioimpedância elétrica.

Método

3. Método

3.1. Desenho do protocolo do estudo

O presente estudo prospectivo se propôs a desenvolver e validar equações preditivas de gordura corporal específicas para pacientes com obesidade grau III. Após assinatura de consentimento livre e informado (Anexo A), pacientes com obesidade grau III foram submetidos à avaliação de BIA e PDA para estimativa da composição corporal. Os dados coletados por BIA e PDA foram comparados estatisticamente para verificar a eficiência da BIA na estimativa da composição corporal de pacientes obesos grau III. Posteriormente, os dados obtidos pela BIA foram utilizados para a formulação de equações preditivas de gordura corporal específicas para pacientes com obesidade grau III e aqueles coletados pela PDA foram utilizados como referência para o desenvolvimento dessas fórmulas, através da aplicação de métodos estatísticos específicos. As equações resultantes foram então validadas em pacientes obesos grau III.

3.2. Local de desenvolvimento do estudo

As atividades do presente trabalho foram desenvolvidas no Grupo de Metabologia e Nutrição em Cirurgia (METANUTRI) do Laboratório de Fisiologia e Distúrbios Esfincterianos (LIM 35) da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo do Departamento de Gastroenterologia da Faculdade de Medicina da

Universidade de São Paulo (FMUSP). As coletas de dados deste estudo foram realizadas no Centro de Estudos de Gasto Energético e Composição Corporal (CEGECC) do LIM 35 da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo do Departamento de Gastroenterologia-FMUSP, em parceria com o Centro de Estudos em Psicobiologia e Exercício (CEPE) da Associação Fundo de Incentivo à Fisiologia do Exercício e Psicobiologia (AFIP) da Unifesp. O desenvolvimento das equações preditivas de gordura corporal foi realizado com o apoio da Profa. Dra. Maria Cristina Gonzalez do Departamento de Mestrado em Saúde e Comportamento da Escola de Medicina da Universidade Católica de Pelotas (UCPel) e Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), Pelotas, RS.

3.3. Comissão de ética

A presente investigação foi submetida e aprovada pela Comissão Ético-Científica do Departamento de Gastroenterologia da FMUSP em 14 de julho de 2005, pela Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa do HC-FMUSP e da FMUSP (CAPPesq) em 14 de dezembro de 2005, sob protocolo de pesquisa número 1069/05 e pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo do Hospital São Paulo nº0945/05, conforme anexos B, C e D.

3.4. Pacientes

No período de outubro de 2005 a fevereiro de 2006, foram selecionados 120 pacientes candidatos à intervenção cirúrgica bariátrica, provenientes do Grupo de Estômago, Duodeno e Intestino Delgado da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo do Departamento de Gastroenterologia do Instituto Central do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (ICHC-FMUSP).

Foram selecionados para participar do estudo pacientes que atenderam critérios de inclusão e exclusão específicos.

3.4.1. Critérios de inclusão

Os pacientes aptos a participar do protocolo de estudo preencheram os seguintes critérios de inclusão:

- Possuir idade de 18 a 65 anos, de ambos os sexos;
- Assinar o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo A);
- Manifestar interesse, condições e disponibilidade de participar de todos os procedimentos inclusos no protocolo do estudo;
- Estar na lista de pacientes candidatos à intervenção cirúrgica bariátrica da Instituição.

3.4.2. Critérios de exclusão

Foram excluídos do estudo os pacientes que preencheram qualquer um dos seguintes critérios:

- Possuir doença aguda ou crônica concomitante com interferência nos resultados: infecção, doenças da tireóide, insuficiência renal, hepática, cardíaca ou pulmonar²¹;
- Apresentar histórico de alcoolismo, toxico-dependência, esquistossomose;
- Ser portador de marcapasso e fumante³⁸;
- Apresentar senilidade, doença de Alzheimer ou outras demências³⁹.

Todos os pacientes foram submetidos a avaliações antropométricas e de composição corporal específicas, realizadas no período da manhã. No dia imediatamente anterior da avaliação da composição corporal, os pacientes foram orientados a permanecer por 12 horas em jejum e não praticar atividade física.

3.5. Avaliações antropométricas e de composição corporal

3.5.1. Avaliação antropométrica

Todas as variáveis antropométricas foram obtidas e calculadas pelo mesmo observador (LMH) no dia da avaliação da composição corporal.

3.5.1.1. Peso atual

Para mensurar o peso atual do paciente utilizou-se a balança do sistema de PDA (BOD POD® body composition system; Life Measurement Instruments, Concord, CA), que foi calibrada semanalmente, conforme orientação do fabricante. Durante a avaliação, o paciente permaneceu em pé, no centro da base da balança, descalço e somente com roupas íntimas. Registrou-se o peso em kg com a variação mínima de 10g.

3.5.1.2. Altura

Para a mensuração da altura utilizou-se estadiômetro modelo Sanny. Durante o procedimento, o paciente manteve-se de costas para o seu marcador, com os pés unidos, em posição ereta, olhando para frente e braços estendidos ao lado do corpo. A leitura foi feita no centímetro mais próximo, quando a haste horizontal da barra vertical da escala de estatura encostou-se na cabeça.

3.5.1.3. Índice de Massa Corporal (IMC)

O IMC foi determinado pelo peso do indivíduo dividido por sua altura ao quadrado¹³ e classificado segundo critério da OMS¹⁰.

3.5.2. Avaliação da composição corporal

3.5.2.1. Bioimpedância Elétrica

Para a estimativa da composição corporal utilizou-se aparelho de bioimpedância elétrica portátil de quatro frequências (5, 50, 100 e 200 kHz) modelo Quadiscam 4000, Bodystat Ltda, Douglas, UK. Previamente à análise, todos os pacientes foram orientados a esvaziar a bexiga urinária e retirar todos os objetos metálicos do corpo. Antes do início do procedimento, o paciente permaneceu 15 minutos de repouso na posição supina, com braços e pernas em abdução de 30°. Os eletrodos foram então colocados em locais específicos da mão e do pé do lado direito, conforme indicação do fabricante, para a leitura do resultado da composição corporal pelo aparelho⁴⁰ (figura 2).

Figura 2 – Posicionamento do paciente para realização de BIA

Durante a avaliação pelo aparelho de BIA, correntes elétricas imperceptíveis de 5, 50, 100 e 200 kHz foram introduzidas no paciente, via eletrodos distais na mão e no pé. A voltagem dessas correntes foi detectada pelos eletrodos proximais, localizados no calcanhar e punho do hemisfério direito e oferece valores de impedância nas quatro frequências supracitadas e conseqüente estimativa da composição corporal (figura 3).

Figura 3 – Leitura do resultado de avaliação de composição corporal, medida por aparelho de BIA

A partir dos valores de impedância oferecidos pelo aparelho de BIA foram obtidos os valores de resistência, reactância e ângulo de fase nas frequências avaliadas, através de programa de informática BodyStat Phase Angle, Bodystat Ltda, Douglas, UK. Estes dados foram utilizados

posteriormente para o desenvolvimento das novas equações de estimativa de gordura corporal a partir da PDA.

3.5.2.2. Pletismografia de Deslocamento Aéreo (PDA)

A estimativa da composição corporal pela PDA foi realizada por aparelho BOD POD® body composition system; Life Measurement Instruments, Concord, CA. O aparelho estima o volume corporal com base na lei de deslocamento de ar de Boyle⁴¹, no qual o volume varia inversamente com a pressão enquanto a temperatura permanece constante, que pode ser representada pela equação:

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

onde P1= pressão exercida pelo cilindro de calibração, V1=volume do cilindro de calibração, P2=pressão exercida pelo indivíduo e V2=volume corporal do indivíduo a ser determinado.

Através de um *software* específico, instalado em um microcomputador conectado ao aparelho de PDA, foram avaliadas variações de volume de ar e a pressão em seu interior com o aparelho desocupado e com o aparelho ocupado com o indivíduo a ser avaliado. Foram analisadas ainda variáveis pulmonares necessárias para a estimativa do volume corporal^{29; 42}. O volume corporal é calculado automaticamente pelo *software* do aparelho e a partir dele é possível

aplicar os princípios da densitometria para determinação da composição corporal, através do cálculo da densidade corporal (Densidade=massa/volume)^{27; 42}.

Para a realização do exame, o paciente foi orientado a usar roupa de banho (maiô ou calção) e touca de natação, a fim de evitar disparidades de medidas²⁷. Durante a avaliação, não foi permitido o uso de objetos metálicos como brincos, anéis, correntes, relógio, pulseiras. Os procedimentos para o teste estão ilustrados na figura 4.

Figura 4 – Procedimentos para avaliação da composição corporal, por meio de pletismografia de deslocamento aéreo, BOD POD® body composition system; Life Measurement Instruments, Concord, CA.

A. Calibração do aparelho realizada por técnico

B. Mensuração do peso do indivíduo em balança própria do aparelho

C. Entrada do indivíduo no equipamento para a análise da densidade e do volume corporal do mesmo

D. Orientação sobre o uso correto do clip nasal e técnica para avaliação do volume pulmonar, após a leitura

E. Leitura e a estimativa da densidade corporal pelo equipamento e posterior cálculo da composição corporal do indivíduo, por meio de fórmula de Siri⁴³

Equações utilizadas para estimativa da gordura corporal, por meio de PDA⁴³.

$$\text{Densidade (kg/L)} = \text{massa (peso do indivíduo em kg)} / \text{volume (L)}$$

$$\% \text{ GC} = [(4,95/D) - 4,5] * 100$$

Onde % GC = percentual de gordura corporal, D = densidade corporal.

As variáveis medidas foram: densidade (kg/L), massa corporal total (kg), massa magra (kg e %) e massa gorda (kg e %).

3.6. Análise estatística dos dados

A análise estatística do presente estudo foi realizada por meio do programa STATA[®] versão 9.2 (STATA[®] Corp, College Station, Tx, USA). Os resultados foram expressos em média e desvio padrão. Em todos os testes foi fixado o valor de $p < 0,05$ como estatisticamente significativo.

3.6.1. Avaliação da homogeneidade da amostra em relação aos dados antropométricos

Para verificar a homogeneidade da amostra em relação às variáveis antropométricas, realizou-se a comparação dos dados antropométricos pelo teste *t* Student, quando as variáveis tiveram distribuição normal, e o teste de Mann-Whitney *U*, quando a distribuição não foi normal.

3.6.2. Comparação da avaliação da composição corporal de obesos grau III por BIA e PDA

Para comparação da composição corporal estimada pela PDA e pela BIA, utilizou-se o teste *t* pareado. A concordância entre os métodos foi determinada através da análise de Bland-Altman e pelo coeficiente de correlação de concordância, que utiliza uma combinação da precisão e da acurácia^{44; 45}.

3.6.3. Desenvolvimento e validação de novas equações preditivas de composição corporal

Para o desenvolvimento das novas equações de composição corporal a amostra dividida de maneira aleatória em dois grupos: grupo amostra (50% da amostra) e grupo validação (50% da amostra). Através da análise *backward* de regressão linear múltipla foram desenvolvidas novas equações de estimativa de gordura corporal específicas para obesos graves.

A gordura corporal (kg) foi considerada a variável dependente e a idade, altura, peso atual, impedância de 100kHz e resistência de 50kHz foram as variáveis independentes preditoras da gordura corporal. Em todas as análises, a gordura corporal obtida pela PDA foi utilizada como método de referência. Por fim, as duas melhores e novas equações preditivas geradas foram comparadas com o grupo validação.

Após o desenvolvimento das duas novas equações de estimativa de gordura corporal foi realizado o diagnóstico do modelo foi realizado a fim de verificar sua adequação.

Resultados

4. Resultados

4.1. Características da população

A amostra do presente estudo compreendeu 120 pacientes (37 homens/83 mulheres) obesos graves e apresentou-se uniforme quanto à idade dos indivíduos incluídos. A análise das variáveis antropométricas encontrou diferenças em relação à altura, peso, IMC e às medidas de circunferência da cintura, quadril e da relação cintura/quadril entre os diferentes sexos (Tabela 1).

Os homens foram, em média, 16cm mais altos, 38kg mais obesos e tiveram IMC significativamente maior do que as mulheres. Em relação ao grau de obesidade, 12,5% (n=15) dos pacientes apresentaram $IMC < 40 \text{ kg/m}^2$; 30,0% (n=36) IMC entre 40 e 45 kg/m^2 ; 28,3% (n=34) IMC entre 45 e 50 kg/m^2 ; 18,3% (n=22) IMC entre 50 e 55 kg/m^2 ; e 10,8% (n=13) $IMC > 55 \text{ kg/m}^2$. Os homens apresentaram a média da medida da circunferência da cintura (CC), do quadril (CQ) e relação cintura/quadril (RCQ) maior do que a das mulheres.

Tabela 1 - Características descritivas dos pacientes

	Total de pacientes (n=120)	Homens (n=37)	Mulheres (n=83)
Idade (anos)	43 (18-62)	38 (18-60)	46 (18-62)
Peso atual (kg) [*]	122,8 (84,7-198,7)	149 (105,8-198,7)	109,7 (84,7-161,3)
Altura (cm) [*]	160,9 (145,5-192,3)	174,8 (159,0-192,3)	157,7 (145,5-182,1)
IMC (kg/m ²) ^{**}	46,9 ± 6,22	49,9 ± 6,74	45,5 ± 5,50
CC (cm) ^{**}	138,3 ± 16,18	151,8 ± 14,47	132,3 ± 13,01
CQ (cm) ^{**}	134,34 ± 13,67	139,07 ± 14,82	132,23 ± 12,66
RCQ ^{**}	1,03 ± 0,10	1,10 ± 0,08	1,01 ± 0,10

^{*} homens vs mulheres Mann-Whitney *U* (p<0,001) - dados apresentados em mediana, mínimo e máximo

^{**} homens vs mulheres *t* Student (p≤0,001) - dados apresentados em média e desvio padrão.

IMC: índice de massa corporal; CC: circunferência da cintura; CQ: circunferência do quadril; RCQ: relação cintura-quadril.

4.2. Composição corporal

A comparação da composição corporal dos pacientes por meio de BIA com PDA foi feita em 119 pacientes (houve 01 caso de exclusão).

Não houve diferenças significativas entre as avaliações de composição corporal realizadas pela BIA e pela PDA. Entretanto, a análise da composição corporal individualizada por sexo encontrou subestimativa em homens e superestimativa em mulheres pela BIA, em relação ao PDA. Os dados da composição corporal encontrados pela BIA e PDA encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 – Comparação da composição corporal dos pacientes estimada, por meio de bioimpedância elétrica (BIA) e pletismografia de deslocamento aéreo (PDA)

Método	Todos pacientes (n=119)		Masculino(n=36)		Feminino (n=83)	
	PDA	BIA	PDA	BIA	PDA	BIA
GC (%)	51,62±5,32	51,28±5,77	48,98±5,71 ^{a,b}	45,26±5,04 ^c	52,77±4,74 ^a	53,89±3,78
GC (kg)	65,56±16,43	64,77±14,97	76,02±18,99 ^{a,b}	70,44±18,03 ^c	61,02±12,88 ^a	62,32±12,78
MM (%)	48,45±5,39	48,72±5,77	51,30±5,80 ^{a,b}	54,74±5,04 ^c	47,22±4,73 ^a	46,11±3,78
MM (kg)	60,97±13,54	61,76±15,69	77,34±9,86 ^{a,b}	82,93±8,65 ^c	53,86±7,32 ^a	52,58±6,34

Valores expressos em média ± DP.

^a PDA vs BIA Teste *t* pareado ($p < 0,05$ – no mesmo sexo).

^b PDA masculino vs PDA feminino Teste *t* de student ($p < 0,05$).

^c BIA masculino vs BIA feminino Teste *t* de student ($p < 0,05$).

GC=gordura corporal; MM=massa magra; PDA=pletismografia de deslocamento aéreo; BIA=bioimpedância elétrica.

A comparação entre BIA e PDA (método de referência) foi realizada a partir da estimativa de gordura corporal por ambos os métodos.

Os dados de gordura corporal entre BIA e PDA apresentaram uma precisão excelente, acurácia e coeficiente de correlação de concordância (valores próximos de um) tanto para todo o grupo como por sexo (tabela 3). No entanto, o gráfico de Bland-Altman mostrou limites de concordância muito altos para a população em geral, homens e mulheres, conforme ilustrado nos gráficos 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 3 – Comparação da gordura corporal (kg) estimada por BIA e PDA.

	Precisão	Acurácia	CCC	Diferença (kg) e 95% limites de concordância
Todo grupo	0,955	0,994	0,950	-0,781 (-10,402; 8,841)
Masculino	0,973	0,954	0,929	-5,578 (-14,173; 3,017)
Feminino	0,964	0,995	0,959	1,300 (-5,486; 8,085)

Onde, CCC = Coeficiente de correlação de concordância

Gráfico 1 – Gráfico de Bland-Altman. Avaliação da correlação entre GC (kg) estimada pela BIA e PDA para todo o grupo (n=119).

As médias de gordura corporal entre BIA e PDA foram dispostas em relação à diferença de gordura corporal entre os dois métodos. A linha roxa representa a média da diferença entre os dois métodos e as linhas vermelhas representam os dois desvios-padrão da média.

Gráfico 2 – Gráfico de Bland-Altman. Avaliação da correlação entre GC (kg) estimada pela BIA e PDA para homens (n=36).

As médias de gordura corporal entre BIA e PDA foram dispostas em relação à diferença de gordura corporal entre os dois métodos. A linha roxa representa a média da diferença entre os dois métodos e as linhas vermelhas representam os dois desvios-padrão da média.

Gráfico 3 – Gráfico de Bland-Altman. Avaliação da correlação entre GC (kg) estimada pela BIA e PDA para mulheres (n=83).

As médias de gordura corporal entre BIA e PDA foram dispostas em relação à diferença de gordura corporal entre os dois métodos. A linha roxa representa a média da diferença entre os dois métodos e as linhas vermelhas representam os dois desvios-padrão da média.

Quanto à possível influência do IMC dos pacientes na precisão da BIA para estimativa da GC entre os diferentes sexos, em relação à PDA, a análise dos dados não encontrou associação entre essa variável antropométrica e a

estimativa da GC pela BIA tanto em homens como em mulheres, conforme ilustra o gráfico 4.

Gráfico 4 – Diferença entre a gordura corporal (kg) estimada por meio de BIA e PDA estratificado por categoria de IMC e sexo.

ANOVA, $p > 0,05$

4.3. Desenvolvimento de novas equações de composição corporal

Os resultados das análises de regressão linear multivariada por *backward* geraram duas equações: a primeira criada para aparelhos de BIA, que usam a resistência medida com frequência de 50kHz (HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA₁) e a segunda para ser aplicada em aparelhos de BIA que usam impedância medida com frequência de 100kHz (HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA₂).

Os resultados da análise de regressão linear multivariada desenvolvida no grupo amostra, composta por 50% da população total estudada, teve a GC (kg) da PDA como variável dependente.

1) Equação HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA₁

Para uso de BIA com resistência de 50kHz, a análise de regressão linear multivariada por *backward* revelou como melhores preditores da gordura corporal para pacientes obesos graves as variáveis idade, peso atual, altura e resistência de 50kHz e encontrou R^2 ajustado de 0,9729, conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Análise de regressão linear múltipla utilizando a gordura corporal (kg) estimada como variável dependente (R^2 ajustado = 0,9729).

Variável	Coefficiente	95% de intervalo de confiança	Valor de p
Resistência 50kHz	0,09	0,08; 0,11	0,00
Peso atual (kg)	1,00	0,94; 1,06	0,00
Altura (cm)	- 0,80	-0,94; -0,67	0,00
Idade (anos)	0,13	0,05; 0,20	0,00
Constante	23,25	1,78; 44,72	0,03

A equação **HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA₁** para estimar a gordura corporal em obesos graves é:

$$\text{HW\&BS (kg)}_1 = 23,25 + (0,09 \times \text{res50}) + (1,00 \times \text{peso atual}) - (0,80 \times \text{altura}) + (0,13 \times \text{idade}),$$

Onde: res50=resistência 50kHz, peso atual (kg), altura (cm) e idade (anos).

Entre as variáveis incluídas no modelo de regressão linear, o peso corporal foi o principal contribuinte para a estimativa da gordura corporal em obesos graves, seguida da resistência de 50kHz. A contribuição de cada variável é ilustrada no gráfico 5.

Gráfico 5 – Contribuição de cada variável de R^2 ajustado da equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁.

Onde, R50: Resistência de 50kHz

Valores de R^2 ajustado calculado a partir da retirada das variáveis estudadas (idade, altura, resistência de 50kHz e peso corporal) do modelo completo, considerando-se R^2 ajustado ideal=1.

2) Equação HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA₂

Para uso de BIA com impedância de 100kHz, a análise de regressão linear multivariada por *backward* revelou como melhores preditores da gordura corporal para pacientes obesos graves as variáveis idade, peso atual, altura e impedância de 100 kHz que encontrou R^2 ajustado de 0,9731, demonstrando uma precisão satisfatória da equação, conforme dados apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Análise de regressão linear múltipla utilizando a gordura corporal (kg) estimada como variável dependente (R^2 ajustado = 0,9731).

Variável	Coeficiente	95% de intervalo de confiança	Valor de p
Impedância 100kHz	0,10	0,08; 0,12	0,00
Peso atual (kg)	0,99	0,94; 1,05	0,00
Altura (cm)	- 0,80	-0,93; -0,66	0,00
Idade (anos)	0,11	0,04; 0,19	0,00
Constante	23,97	2,60; 45,34	0,03

A equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂ para estimativa da gordura corporal em obesos graves é:

$$\text{HW\&BS (kg)}_2 = 23,97 + (0,10 \times \text{imp100}) + (0,99 \times \text{peso atual}) - (0,80 \times \text{altura}) + (0,11 \times \text{idade}),$$

Onde: imp100=impedância de 100kHz, peso atual (kg), altura (cm) e idade (anos).

De maneira similar à equação HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA₁, o peso corporal foi a principal variável contribuinte da estimativa da gordura corporal em obesos graves, seguida da impedância de 100kHz. A contribuição de cada variável é ilustrada no gráfico 6.

Gráfico 6 – Contribuição de cada variável de R^2 ajustado da equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂.

Onde, *Imp100kHz*: Impedância de 100kHz.

Valores de R^2 ajustado calculado a partir da retirada das variáveis estudadas (idade, altura, impedância de 100kHz e peso corporal) do modelo completo, considerando-se R^2 ajustado ideal=1.

4.4. Comparação das equações HW&BS₁ e HW-BS₂ de GC vs PDA vs BIA

As duas novas equações desenvolvidas foram comparadas com a PDA (método de referência) e com a equação existente no aparelho de BIA de quatro frequências utilizado neste estudo.

As duas equações **HORIE-WAITZBERG & BARBOSA-SILVA** apresentaram precisão, acurácia e coeficiente de correlação de concordância (CCC) melhores do que a equação residente da BIA de quatro frequências, conforme os dados apresentados na tabela 6 e ilustrados nos gráficos 7 e 8.

Tabela 6 - Comparação da gordura corporal (kg) estimada obtida pela BIA de quatro frequências e as novas equações HW&BS₁ e HW&BS₂ em relação à PDA.

	Precisão	Acurácia	CCC	Diferença (kg) e 95% limites de concordância
BIA 4 frequências	0,955	0,994	0,950	-0,781 (-10,402; 8,841)
HW&BS ₁	0,974	0,998	0,972	0,434 (-7,017; 7,884)
HW&BS ₂	0,973	0,995	0,969	1,441 (-5,919; 8,802)

Onde, HW&BS₁=nova equação de estimativa da gordura corporal para BIA utilizando a variável resistência de 50kHz, HW&BS₂=nova equação de estimativa da gordura corporal para BIA utilizando a variável impedância de 100kHz e CCC = Coeficiente de correlação de concordância.

Gráfico 7 – Concordância entre a gordura corporal obtida pela BIA de quatro frequências e as novas equações HW&BS₁ e HW&BS₂ em relação à PDA.

Onde, HW&BS₁=nova equação de estimativa da gordura corporal para BIA utilizando a variável resistência de 50kHz, HW&BS₂=nova equação de estimativa da gordura corporal para BIA utilizando a variável impedância de 100kHz e CCC = Coeficiente de correlação de concordância.

Gráfico 8 – Limites de concordância entre a gordura corporal obtida pela BIA de quatro frequências e as novas equações HW&BS₁ e HW&BS₂ em relação à PDA.

As médias de gordura corporal de BIA e das novas equações em relação à PDA são representadas pelos triângulos e seus limites de concordância (dois desvios-padrão da média) pelas linhas pontilhadas. A linha contínua amarela representa diferença entre os métodos igual a zero.

Discussão

5. Discussão

5.1. Dos Métodos

5.1.1. Da Bioimpedância Elétrica (BIA)

O uso de BIA permite estimar a composição corporal, praticamente sem riscos, com baixo custo, além de ter equipamentos de fácil acesso para uso na prática clínica³. Este método estima os compartimentos corporais e a distribuição dos fluidos intra e extracelulares através da condutividade elétrica³⁰.

A BIA baseia-se em dois princípios: a hidratação dos tecidos é constante em todos os tipos de populações (sadios, obesos, pacientes graves, cirúrgicos)^{23; 46} e o corpo humano comporta-se como um conjunto de cinco cilindros que conduzem de forma homogênea a corrente elétrica²¹.

A passagem da corrente elétrica permite aferir a resistência e a reactância do corpo humano. Essas duas variáveis são processadas em equações residentes nos aparelhos de BIA e o resultado fornecido é a estimativa dos distintos compartimentos de composição corporal (massa magra, gordura corporal e água corporal total).

Os resultados de BIA sofrem influência da configuração geométrica do corpo humano e da quantidade e distribuição da água corporal total (intra e extracelular). Portanto, o exame de BIA pode não ser adequado em condições onde a hidratação tissular encontra-se alterada^{33; 34}, como, por exemplo, em indivíduos obesos graves.

Adiciona-se que pacientes portadores de obesidade grau III apresentam distribuição de água corporal diferente da de indivíduos eutróficos²⁴, com água corporal total concentrada, principalmente, no espaço extracelular. Assim, em obesos esta distribuição anômala pode prejudicar a estimativa da composição corporal por BIA⁴⁷, reduzindo sua sensibilidade de estimar a gordura corporal e superestimar a massa magra corporal²⁴.

Apesar de suas limitações, a BIA parece ser ferramenta mais sensível na estimativa da GC de pacientes obesos do que a altura, o peso corporal ou mesmo o IMC²³. No entanto, as equações residentes nos aparelhos de BIA foram desenvolvidas para população de indivíduos eutróficos. Por este motivo, foi necessário que se criassem equações validadas para a população de obesos³³. Contudo, as equações específicas que validaram a BIA para pacientes obesos podem não ser adequadas para indivíduos portadores de obesidade grave, com IMC acima de 34kg/m².^{23; 32; 35; 36}

Com a utilização de técnica clássica preconizada para a medida de BIA, medem-se as variáveis referentes à passagem de corrente elétrica nos membros superiores e inferiores, mas não no tronco.

Isto porque, em condições de eutrofia, o tronco humano contribui apenas com 10% a 20% da impedância elétrica, embora represente 50% do peso corporal total.

Já em indivíduos obesos, o formato corporal não é cilíndrico e existe a diferença na distribuição corporal entre tronco e membros, isto é, há maior quantidade de massa magra nos membros e maior quantidade de gordura corporal no tronco. Essa distribuição diferente da eutrófica pode prejudicar a precisão da BIA em obesos podendo haver superestimativa da massa magra e subestimativa da gordura corporal^{25; 32}.

Há que se considerar, ainda, que existem diversos aparelhos para medida de BIA disponíveis para avaliação da composição corporal que incluem modelos unifrequenciais e multifrequenciais.

Os aparelhos de medida de BIA de frequência única são de baixo custo e comumente operam na frequência de 50kHz. Nesta intensidade, o aparelho de BIA pode estimar a ACT, por não conseguir medir os compartimentos, AIC e AEC, porque a entrada da corrente elétrica na célula é parcialmente bloqueada pela capacitância da membrana celular. Com o uso de aparelhos de medida de BIA de duas ou mais frequências (5, 50, 100, 200 e 500kHz) é possível a completa penetração da corrente elétrica na célula. Assim, com frequências altas, é possível estimar a AIC e com o uso de frequências baixas prever a AEC³⁰.

Pacientes obesos apresentam razão AEC:ATC maior que indivíduos eutróficos, sendo essa diferença diretamente proporcional ao IMC²². O aumento na ACT poderia superestimar a MM e subestimar a GC. Portanto, apesar do menor custo do modelo de BIA unifrequencial ele pode não ser adequado para

avaliar a composição corporal de obesos graves em relação aos de BIA multifrequenciais.

No presente estudo, utilizou-se modelo de BIA de quatro frequências (5, 50, 100 e 200kHz), com o intuito de estimar a AIC e, conseqüentemente, avaliar mais adequadamente a composição corporal de pacientes obesos graves.

5.1.2. Da Pletismografia de Deslocamento Aéreo (PDA) como método de referência para estimativa da composição corporal

O PDA é um método preciso, não invasivo, rápido e confortável de determinação de composição corporal^{22; 27; 29}, que pode ser utilizado em diferentes populações (crianças, adultos, obesos, idosos, atletas, entre outras)²².

O PDA, assim como outros métodos de referência para avaliação da composição corporal (DEXA, tomografia computadorizada, isótopos marcados, hidrodensitometria, ressonância magnética, medidas de potássio corporal total e análise de ativação de nêutrons), apresenta alto custo para sua aquisição/manutenção e necessita de mão de obra especializada para seu manejo, o que limita, em muito, seu uso na prática clínica. Além disso, com exceção do aparelho de PDA, os métodos considerados de referência apresentam limitação em relação à capacidade em acomodar ou suportar o volume e peso corporal de pacientes obesos graves.

O aparelho de PDA se distingue dos demais equipamentos de referência por permitir acomodar com sucesso indivíduos com obesidade grau III (104kg-189kg e IMC de 36-59kg/m²)^{3; 26; 48}.

O método de PDA foi validado recentemente, como referência para estimativa da gordura corporal de indivíduos obesos graves²⁶.

Com base nessas observações, no presente estudo optou-se por adotar a PDA como método de referência para o desenvolvimento de equações preditivas de gordura corporal para obesos graves a partir de dados coletados por BIA.

5.2. Dos Resultados

5.2.1. Composição corporal

No presente estudo, a estimativa da GC (em kg), dos 119 indivíduos demonstraram que a estimativa da GC (em kg) obtida pela BIA de quatro frequências não foi significativamente diferente da estimada por PDA ($p>0,05$).

Após estratificação por sexo, a gordura corporal estimada por BIA foi menor em homens e maior em mulheres do que aquela estimada por PDA. Podemos atribuir as diferenças encontradas na estimativa da gordura corporal por BIA em relação ao PDA por aumento da água corporal total, alteração na configuração geométrica e aumento relativo da água extracelular.^{7; 24}

Outros autores se preocuparam em averiguar a precisão de medida de gordura corporal pela BIA com outros métodos de referência.

Assim, Heath e col. compararam a medida de GC de 46 pacientes obesos graves estimada por meio de BIA de frequência de 50kHz e pesagem hidrostática. Os autores observaram que a BIA subestimou a porcentagem GC em relação à pesagem hidrostática em ambos os sexos (36,1% vs 41,8% em homens e 43,1% vs 52,2% em mulheres; $p<0,001$)⁴⁹, o que discorda dos resultados obtidos no presente estudo. O uso de distinto método de referência (pesagem hidrostática) e modelo de BIA (frequência única) poderia explicar as diferenças encontradas entre o presente estudo e o estudo de Heath e col. A diferença no tamanho das amostras, na presente investigação 119 e no de Heath e col 46, poderia ter influenciado nos resultados finais encontrados.

Indivíduos obesos apresentam hidratação tissular distinta de indivíduos eutróficos⁵⁰. Em estudo para validação da BIA em pacientes submetidos à cirurgia bariátrica, Das e col.²¹ verificaram que água corporal total em obesos grau III é significativamente maior que o valor de referência em eutróficos. O maior nível de hidratação de pacientes obesos graves pode superestimar a MM e, conseqüentemente, subestimar a gordura corporal ao se utilizar a BIA. No presente estudo, essa subestimativa foi encontrada apenas em homens, e não em mulheres.

Por outro lado, em mulheres é possível que a localização da GC possa influenciar a condutibilidade elétrica, uma vez que a BIA baseia-se no princípio de que o corpo humano é composto por cinco cilindros (dois braços, duas

pernas e tronco) com uma área uniforme⁴⁶. Sabe-se que a resistência elétrica é inversamente proporcional à área corporal. Os aparelhos de BIA estimam a resistência de todo o corpo, mas medem apenas a resistência dos membros inferiores e superiores e não incluem a do tronco^{25; 32}. Estima-se que um braço contribui com aproximadamente 4% do peso corporal e que uma perna contribui com aproximadamente 17% do peso corporal, mas eles acabam por contribuir com aproximadamente 40% e 45%, respectivamente, da resistência corporal total²³. Contudo, em indivíduos obesos graves o tronco é relativamente curto e apresenta grande diâmetro (impedância é diretamente proporcional à altura e inversamente proporcional ao diâmetro)⁵⁰.

O impacto da diferente distribuição de gordura corporal nos resultados encontrados de BIA foi avaliado em mulheres eutróficas com distribuição de gordura andróide e ginóide, pareadas por idade e percentual de gordura corporal medido por meio de pesagem hidrostática.

Swan e McConnell⁵¹ estudaram a eficácia de várias equações de estimativa da GC por meio de BIA de frequência única, sendo que a estimativa da gordura corporal foi precisa somente em mulheres com gordura ginóide, mas não foi apropriada para mulheres com obesidade abdominal. Os autores sugeriram que a estimativa da gordura corporal em mulheres com a relação cintura quadril > 0,80 deve ser interpretada com cautela⁵¹.

No presente estudo, foi possível ainda inferir, que a diferença encontrada entre os sexos tenha sido causada não só por alterações na hidratação, mas também pela localização e distribuição diferente de gordura corporal entre

homens e mulheres. Tradicionalmente homens concentram gordura na região abdominal, levando à subestimativa da gordura corporal, enquanto que mulheres concentram gordura na região dos quadris, podendo ocorrer uma superestimativa da GC²⁴, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

5.2.2. Das novas equações de composição corporal

Até o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que comparou a medida de GC estimada pela PDA e BIA de quatro frequências em grande número de pacientes obesos graves. A equação residente no aparelho de BIA de quatro frequências utilizada no presente estudo, não foi capaz de estimar satisfatoriamente a GC de pacientes obesos graves. Assim sendo, com o intuito de melhorar a precisão da estimativa da GC nesta população, novas equações preditivas de GC foram desenvolvidas.

Raramente encontra-se validação de equações preditivas utilizadas na estimativa da medida de GC de indivíduos ou grupos populacionais. A falta de validação pode implicar erros sistemáticos e levar à obtenção de estimativas menos confiáveis. No presente estudo, as novas equações preditivas para a avaliação da GC em obesos graves foram validadas nessa população, encontrando-se maior precisão do que a equação residente no aparelho de BIA de quatro frequências.

Apesar das novas equações preditivas de GC não utilizarem o sexo como preditor de GC em obesos graves, as outras variáveis explicam 97% da variabilidade de estimativa da GC, como demonstrada pela análise de regressão linear múltipla e confirmada sua precisão e acurácia pelo gráfico de Bland Altman⁴⁵.

As variáveis como peso, altura, idade e impedância de 100kHz e/ou resistência de 50kHz, incluídas neste modelo, tiveram maior importância para prever a gordura corporal ao invés do sexo. No presente estudo foram incluídas mais mulheres do que homens. Essa desproporção poderia, também, justificar a exclusão da variável sexo nas equações preditivas de gordura corporal.

As limitações e custos de métodos para estimativa de composição corporal em obesos graves podem ser a razão para a pouca quantidade de estudos disponíveis na literatura. As novas equações preditivas de gordura corporal para obesos grau III, desenvolvidas e validadas no presente estudo, permitirão novas investigações envolvendo instituições e pesquisadores sem acesso a métodos de referência como a PDA.

O desenvolvimento de novas equações para estimativa de gordura corporal específicas para obesos graves é de grande valia para a prática clínica ao permitir estratégias de terapia nutricional que melhor atinjam os seus objetivos clínicos.

5.3. Perspectivas de investigação

5.3.1. Validação das novas equações de estimativa de gordura corporal em obesos graves em condições de perda de peso rápida

Pacientes obesos graves podem ser submetidos à intervenção cirúrgica para rápida perda de peso. É de interesse averiguar o comportamento das novas equações perante as modificações rápidas de peso corporal.

5.3.2. Avaliação do gasto energético de repouso (GER) de pacientes obesos graves

O GEB de indivíduos obesos encontra-se elevado quando comparado com indivíduos eutróficos da mesma idade⁵²⁻⁵⁴. Este gasto energético elevado pode estar relacionado de forma proporcional ao aumento da massa magra que também ocorre na obesidade⁵⁵.

Em indivíduos obesos, as equações preditivas para determinação do gasto energético basal (GEB) são imprecisas ao utilizar o peso corporal do indivíduo para o cálculo do GEB. Em adição, as equações preditivas não levam em conta a uniformidade dos compartimentos de composição corporal no obeso (aumento da gordura corporal maior que o da massa magra). Como a gordura corporal e a massa magra diferem metabolicamente, pode ocorrer superestimativa do GEB⁵⁶.

As equações que determinam o GEB de pacientes portadores de obesidade grau III ainda merecem ser melhor discutidas, pois a determinação

adequada do GEB desses pacientes poderá contribuir para o sucesso da terapia nutricional. A calorimetria indireta é considerada método de referência na determinação do gasto energético de repouso (GER); entretanto, este método nem sempre está disponível na prática clínica. Desta forma, o desenvolvimento de equação para determinação do GER, por método mais acessível nesta população, faz-se necessário.

Portanto, a fim de se explorar a hipótese de que pacientes obesos graves têm o gasto energético de repouso diferente do de indivíduos saudáveis devido ao aumento a quantidade de gordura corporal, pretende-se:

- Estimar o GER por meio de calorimetria indireta (método de referência);
- Comparar os resultados encontrados com as equações preditivas existentes na literatura;
- Avaliar os possíveis determinantes do GER em obesos graves;
- Avaliar a necessidade de desenvolvimento de equação preditiva de GER específica para esses pacientes;
- Correlacionar o GER com a medida de gordura corporal obtida pelas novas equações desenvolvidas e validadas para pacientes obesos graves.

Conclusões

6. Conclusões

Dadas as condições da presente pesquisa, em que pacientes obesos graves tiveram gordura corporal estimada por meio de bioimpedância elétrica de quatro frequências e pletismografia de deslocamento aéreo, podemos concluir que:

- 1) A equação de estimativa de gordura corporal residente no aparelho de BIA de quatro frequências não foi precisa quando aplicada em indivíduos obesos graves;
- 2) A nova equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁ que usa resistência medida por aparelho de BIA com frequência de 50kHz permite estimar a gordura corporal de pacientes obesos grau III, com precisão;
- 3) A nova equação Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂ que utiliza impedância medida por aparelho de BIA com frequência de 100kHz permite estimar a gordura corporal de pacientes obesos grau III, com precisão;
- 4) As duas novas equações desenvolvidas e estudadas (HW & BS₁ e HW & BS₂) para aparelhos de BIA são específicas para obesos grau III e tiveram melhor desempenho na estimativa da gordura corporal do que as equações desenvolvidas para a população geral.

Anexos

7. Anexos

Anexo A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME DO PACIENTE :.....
DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : .M ☐ F ☐
DATA NASCIMENTO:/...../.....
ENDEREÇO Nº APTO:
BAIRRO: CIDADE
CEP:..... TELEFONE: DDD (.....)
2. RESPONSÁVEL LEGAL
NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)
DOCUMENTO DE IDENTIDADE : SEXO: M ☐ F ☐
DATA NASCIMENTO:/...../.....
ENDEREÇO: Nº APTO:
BAIRRO: CIDADE:
CEP: TELEFONE: DDD (.....)
-

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: “DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES PREDITIVAS DE GASTO ENERGÉTICO BASAL E COMPOSIÇÃO CORPORAL EM PACIENTES PORTADORES DE OBESIDADE MÓRBIDA – USO DA BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA”

PESQUISADOR: Lilian Mika Horie

CARGO/FUNÇÃO: Nutricionista INSCRIÇÃO CONSELHO REGIONAL Nº 13534 CRN 3

UNIDADE DO HCFMUSP: CIRURGIA DO APARELHO DIGESTIVO

3. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:

SEM RISCO ☐

RISCO MÍNIMO **X**

RISCO MÉDIO ☐

RISCO BAIXO ☐

RISCO MAIOR ☐

(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

4. DURAÇÃO DA PESQUISA : Aproximadamente 2 anos.

III - REGISTRO DAS EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO PACIENTE OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA CONSIGNANDO:

1. justificativa e os objetivos da pesquisa

O objetivo destina avaliar o seu gasto energético, que representa o quanto de calorias o seu organismo precisa para manter suas necessidades vitais, como por exemplo, respirar e manter o coração batendo e também sua composição corporal, que é a quantidade de gordura e músculo existentes no seu corpo.

2. procedimentos que serão utilizados e propósitos, incluindo a identificação dos procedimentos que são *experimentais*

Os exames serão realizados todos no mesmo dia. Para participar do estudo, você deverá se encaixar em alguns critérios. Caso seu médico/nutricionista decida que você preenche os critérios, você irá assinar um formulário de consentimento e iniciar os procedimentos do estudo. Para esta pesquisa vamos realizar avaliação nutricional com medidas de peso, altura, composição corporal através do exame de bioimpedância elétrica – teste indolor, onde 02 fios serão ligados na sua mão e pé, pletismografia de deslocamento aéreo – teste onde você deverá apenas respirar num bucal por 05 minutos e gasto energético – teste onde deitado, você deverá respirar normalmente por 30 minutos numa espécie de capacete. Além destes procedimentos será realizada coleta de sangue para análise bioquímica e hormonal para conhecermos o perfil sanguíneo.

3. desconfortos e riscos esperados

Os vários procedimentos deste estudo oferecem baixo ou nenhum risco de trazer algum dano à sua condição clínica, não são muito demorados nem causam dor. As amostras de sangue serão coletadas com agulha e seringa descartáveis, e espera-se que causem desconforto mínimo, como por exemplo, um hematoma.

4. benefícios que poderão ser obtidos

Através do exame de calorimetria indireta será possível realizar um tratamento nutricional mais adequado a sua condição e o exame de bioimpedância elétrica e pletismografia de deslocamento aéreo para conhecer as alterações da quantidade de gordura e músculo do seu corpo. A análise de sangue é importante para observarmos se existem alterações bioquímicas e hormonais.

5. procedimentos alternativos que possam ser vantajosos para o indivíduo.

Você não é obrigado a participar do estudo. Mas através destes exames você poderá conhecer melhor o seu gasto energético e composição corporal.

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA CONSIGNANDO:

Anexo B – Carta de aprovação da Comissão Ético Científica do Departamento de Gastroenterologia da FMUSP

FACULDADE DE MEDICINA

da Universidade de São Paulo

São Paulo, 14 de julho de 2005.

Ilma.
Sra. Lillian Mika Horie

Prezada Sra. Lillian,

Atendendo sua solicitação, a Comissão tico-Científica do Departamento de Gastroenterologia da FMUSP, em sua 106ª Reunião Ordinária de 14 de julho de 2005, analisou o seu projeto de pesquisa, intitulado: "DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES PREDITIVAS DE GASTO ENERGÉTICO BASAL E COMPOSIÇÃO CORPORAL EM PACIENTES PORTADORES DE OBESIDADE MÓRBIDA – USO DA BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA".

Informo que, após análise e discussão, o pedido foi APROVADO, com a seguinte consideração:

- sugestão da troca do título para "DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES PREDITIVAS DE GASTO ENERGÉTICO BASAL E COMPOSIÇÃO CORPORAL EM PACIENTES COM OBESIDADE MÓRBIDA – USO DA BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA"

Atenciosamente,

Assinatura manuscrita de Prof. Dr. José Eduardo Monteiro da Cunha.

Prof. Dr. José Eduardo Monteiro da Cunha
Presidente da Comissão tico-Científica do
Departamento de Gastroenterologia da FMUSP

Anexo C – Carta de aprovação da Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa do HC-FMUSP e da FMUSP (CAPPesq)

APROVAÇÃO

A Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 14.12.05, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº 1069/05, intitulado: "Desenvolvimento de equações preditivas de gasto energético basal e composição corporal em pacientes portadores de obesidade mórbida - uso da bioimpedância elétrica." apresentado pelo Departamento de GASTROENTEROLOGIA, inclusive o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar à CAPPesq, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196, de 10.10.1996, inciso IX. 2, letra "c")

Pesquisador(a) Responsável: Prof. Dr. Dan Linetzky Waitzberg

Pesquisador (a) Executante: Sra. Lilian Mika Horie

CAPPesq, 14 de Dezembro de 2005.

PROF. DR. EUCLIDES AYRES DE CASTILHO
Presidente da Comissão de Ética para Análise
de Projetos de Pesquisa

Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa do HCFMUSP e da FMUSP
Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
Rua Ovídio Pires de Campos, 225, 5º andar - CEP 05403 010 - São Paulo - SP
Fone: 011 - 30696442 fax: 011 - 3069 6492 - e-mail: cappesq@hcnet.usp.br / secretariacappesq@hcnet.usp.br
V.N.

**Anexo D - Carta de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da
Universidade Federal de São Paulo do Hospital São Paulo**

Universidade Federal de São Paulo
Escola Paulista de Medicina

Comitê de Ética em Pesquisa
Hospital São Paulo

São Paulo, 26 de agosto de 2005.
CEP 0945/05

Ilmo(a). Sr(a).
Pesquisador(a) **MARCO TÚLIO DE MELLO**
Co-Investigadores: Lilian Mika Horie; Dan Linetzky Waitzberg; Maria Cristina G Barbosa e Silva; Sandra Regina Justino da Silva
Disciplina/Departamento: Psicobiologia da Universidade Federal de São Paulo/Hospital São Paulo
Patrocinador: Recursos Próprios.

PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA INSTITUCIONAL

Ref: Projeto de pesquisa intitulado: **"Desenvolvimento de equações preditivas de gasto energético basal e composição corporal em pacientes portadores de obesidade mórbida - uso de bioimpedância elétrica"**.

CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO ESTUDO: Estudo clínico de intervenção terapêutica com o uso da bioimpedância elétrica.

RISCOS ADICIONAIS PARA O PACIENTE: risco mínimo, desconforto leve com coleta de sangue.

OBJETIVOS: Desenvolver equações preditivas para cálculo de gasto energético basal e composição corpórea em pacientes portadores de obesidade mórbida, a partir de dados obtidos por bioimpedância(BIA).

RESUMO: Os pacientes que serão selecionados deverão ter idade entre 18 e 60 anos, de ambos os sexos, e serem candidatos à intervenção cirúrgica bariátrica e provenientes do Grupo de Estômago, Duodeno e Intestino Delgado da Disciplina de Cirurgia do Aparelho Digestivo da Unifesp. Os pacientes serão submetidos a avaliação antropométrica e composição corporal por bioimpedância elétrica e pletismografia de deslocamento aéreo, bem como de gasto energético por meio de calorimetria indireta, dados esses que serão empregados no desenvolvimento de equações de composição corporal e gasto energético de pacientes portadores de obesidade mórbida (n=100) que permitam o cálculo dessas variáveis a partir de dados exclusivamente por BIA.

FUNDAMENTOS E RACIONAL: O método de BIA é de grande interesse para a obtenção de informações diretas e realistas das necessidades energéticas de indivíduos portadores de obesidade mórbida e para o aperfeiçoamento da terapia nutricional no tratamento desses pacientes.

MATERIAL E MÉTODO: descritos os procedimentos que serão realizados por equipe especializada.

TCLE: Adequado, de acordo com a resolução 196/96.

DETALHAMENTO FINANCEIRO: AFIP R\$ 20 055,00.

CRONOGRAMA: 24 meses.

OBJETIVO ACADÊMICO: mestrado.

ENTREGA DE RELATÓRIOS PARCIAIS AO CEP PREVISTOS PARA: 21/08/2006 e 16/08/2007.

O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo/Hospital São Paulo **ANALISOU e APROVOU** o projeto de pesquisa referenciado.

1. Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e termo de consentimento livre e esclarecido. Nestas circunstâncias a inclusão de pacientes deve ser temporariamente interrompida até a resposta do Comitê, após análise das mudanças propostas.

2. Comunicar imediatamente ao Comitê qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento do estudo.

3. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.

Atenciosamente,

Prof. Dr. José Osmar Medina Pestana
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da
Universidade Federal de São Paulo/ Hospital São Paulo

Referências Bibliográficas

8. Referências Bibliográficas

1. Ricciardi R, Talbot LA. Use of bioelectrical impedance analysis in the evaluation, treatment, and prevention of overweight and obesity. *J Am Acad Nurse Pract.* 2007;19(5):235-41.
2. Wang ZM, Deurenberg P, Guo SS, Pietrobelli A, Wang J, Pierson RN, Jr., Heymsfield SB. Six-compartment body composition model: inter-method comparisons of total body fat measurement. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1998;22(4):329-37.
3. Heymsfield SB, Matthews D. Body composition: research and clinical advances--1993 A.S.P.E.N. research workshop. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1994;18(2):91-103.
4. Garrow JS. New approaches to body composition. *Am J Clin Nutr.* 1982;35(5 Suppl):1152-8.
5. Chumlea WC, Guo SS, Zeller CM, Reo NV, Baumgartner RN, Garry PJ, Wang J, Pierson RN, Jr., Heymsfield SB, Siervogel RM. Total body water reference values and prediction equations for adults. *Kidney Int.* 2001;59(6):2250-8.
6. James WP. The epidemiology of obesity: the size of the problem. *J Intern Med.* 2008;263(4):336-52.
7. Stoeckli R, Chanda R, Langer I, Keller U. Changes of body weight and plasma ghrelin levels after gastric banding and gastric bypass. *Obes Res.* 2004;12(2):346-50.
8. Pena M, Bacallao J. Obesity among the poor: an emerging problem in Latin America and the Caribbean. *Pan American Health Organization.* 2000;576:3-10.

9. Mokdad A, Serdula M, Dietz W, Bowman B, Marks J, Koplan J. The continuing epidemic of obesity in the United States. *JAMA*. 2000;284(13):1650-1.
10. World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva; 1998.
11. Wang G, Dietz WH. Economic burden of obesity in youths aged 6 to 17 years: 1979-1999. *Pediatrics*. 2002;109(5):E81-1.
12. Monteiro CA, Mondini L, de Souza AL, Popkin BM. The nutrition transition in Brazil. *Eur J Clin Nutr*. 1995;49(2):105-13.
13. Keys A, Fidanza F, Karvonen MJ, Kimura N, Taylor HL. Indices of relative weight and obesity. *J Chronic Dis*. 1972;25(6):329-43.
14. Toni R, Malaguti A, Castorina S, Roti E, Lechan RM. New paradigms in neuroendocrinology: relationships between obesity, systemic inflammation and the neuroendocrine system. *J Endocrinol Invest*. 2004;27(2):182-6.
15. Meier U, Gressner AM. Endocrine regulation of energy metabolism: review of pathobiochemical and clinical chemical aspects of leptin, ghrelin, adiponectin, and resistin. *Clin Chem*. 2004;50(9):1511-25.
16. Hutley L, Prins JB. Fat as an endocrine organ: relationship to the metabolic syndrome. *Am J Med Sci*. 2005;330(6):280-9.
17. Faintuch J, Marques PC, Bortolotto LA, Faintuch JJ, Cecconello I. Systemic Inflammation and Cardiovascular Risk Factors: Are Morbidly Obese Subjects Different? *Obes Surg*. 2008.
18. Zulet MA, Puchau B, Navarro C, Marti A, Martinez JA. [Inflammatory biomarkers: the link between obesity and associated pathologies]. *Nutr Hosp*. 2007;22(5):511-27.
19. Lemieux I, Pascot A, Prud'homme D, Almeras N, Bogaty P, Nadeau A, Bergeron J, Despres JP. Elevated C-reactive protein: another component of the

atherothrombotic profile of abdominal obesity. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2001;21(6):961-7.

20. Cook DG, Mendall MA, Whincup PH, Carey IM, Ballam L, Morris JE, Miller GJ, Strachan DP. C-reactive protein concentration in children: relationship to adiposity and other cardiovascular risk factors. *Atherosclerosis.* 2000;149(1):139-50.

21. Das SK. Body composition measurement in severe obesity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2005;8(6):602-6.

22. Das SK, Roberts SB, Kehayias JJ, Wang J, Hsu LK, Shikora SA, Saltzman E, McCrory MA. Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2003;284(6):E1080-8.

23. Coppini LZ, Waitzberg DL, Campos AC. Limitations and validation of bioelectrical impedance analysis in morbidly obese patients. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2005;8(3):329-32.

24. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr.* 1996;64(3 Suppl):449S-52S.

25. Barbosa-Silva MC, Barros AJ. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2005;8(3):311-7.

26. Ginde SR, Geliebter A, Rubiano F, Silva AM, Wang J, Heshka S, Heymsfield SB. Air displacement plethysmography: validation in overweight and obese subjects. *Obes Res.* 2005;13(7):1232-7.

27. Fields DA, Higgins PB, Hunter GR. Assessment of body composition by air-displacement plethysmography: influence of body temperature and moisture. *Dyn Med.* 2004;3(1):3.

28. Fields DA, Goran MI, McCrory MA. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr.* 2002;75(3):453-67.
29. Vescovi JD, Zimmerman SL, Miller WC, Hildebrandt L, Hammer RL, Fernhall B. Evaluation of the BOD POD for estimating percentage body fat in a heterogeneous group of adult humans. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85(3-4):326-32.
30. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gomez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AM, Pichard C. Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr.* 2004;23(5):1226-43.
31. Kyle UG, Piccoli A, Pichard C. Body composition measurements: interpretation finally made easy for clinical use. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2003;6(4):387-93.
32. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gomez J, Lilienthal Heitmann B, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, A MWJS, Pichard C. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr.* 2004;23(6):1430-53.
33. Jacobs DO. Bioelectrical impedance analysis: a way to assess changes in body cell mass in patients with acquired immunodeficiency syndrome? *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1993;17(5):401-2.
34. 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.* 1990;52(2):219-23.
35. Cox-Reijven PL, van Kreel B, Soeters PB. Accuracy of bioelectrical impedance spectroscopy in measuring changes in body composition during severe weight loss. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2002;26(2):120-7.

36. Sartorio A, Conte G, Morini P, Battistini N, Faglia G, Bedogni G. Changes of bioelectrical impedance after a body weight reduction program in highly obese subjects. *Diabetes Nutr Metab.* 2000;13(4):186-91.
37. Berentzen T, Sorensen TI. Effects of intended weight loss on morbidity and mortality: possible explanations of controversial results. *Nutr Rev.* 2006;64(11):502-7.
38. Justino SR. Gasto energético basal e modificações da termogênese induzida pela dieta em síndrome do intestino curto. [Dissertação de Doutorado]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo. Escola Paulista de Medicina; 2003.
39. Faintuch J, Souza SA, Valezi AC, Sant'Anna AF, Gama-Rodrigues JJ. Pulmonary function and aerobic capacity in asymptomatic bariatric candidates with very severe morbid obesity. *Rev Hosp Clin Fac Med Sao Paulo.* 2004;59(4):181-6.
40. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. *Am J Clin Nutr.* 1996;64(3 Suppl):524S-32S.
41. Garrow JS, Stalley S, Diethelm R, Pittet P, Hesp R, Halliday D. A new method for measuring the body density of obese adults. *Br J Nutr.* 1979;42(2):173-83.
42. McCrory MA, Gomez TD, Bernauer EM, Mole PA. Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(12):1686-91.
43. Siri W. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Henschel JBaA, editor. *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, DC: Natl. Acad. Sciences/Natl Res. Council; 1961. p. 223-4.

44. Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989;45(1):255-68.
45. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-10.
46. Buchholz AC, Bartok C, Schoeller DA. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract*. 2004;19(5):433-46.
47. Chertow GM. With bioimpedance spectroscopy, the errors get fat when the patients get slim. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2002;26(2):128-9.
48. Petroni ML, Bertoli S, Maggioni M, Morini P, Battezzati A, Tagliaferri MA, Liuzzi A, Testolin G. Feasibility of air plethysmography (BOD POD) in morbid obesity: a pilot study. *Acta Diabetol*. 2003;40 Suppl 1:S59-62.
49. Heath EM, Adams TD, Daines MM, Hunt SC. Bioelectric impedance and hydrostatic weighing with and without head submersion in persons who are morbidly obese. *J Am Diet Assoc*. 1998;98(8):869-75.
50. Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, Testolin G, Vigano R, Vollaard N. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur J Clin Nutr*. 2001;55(11):973-9.
51. Swan PD, McConnell KE. Anthropometry and bioelectrical impedance inconsistently predicts fatness in women with regional adiposity. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(7):1068-75.
52. Monda M, Messina G, Mangoni C, De Luca B. Resting energy expenditure and fat-free mass do not decline during aging in severely obese women. *Clin Nutr*. 2008.
53. Tacchino RM, Mancini A, Perrelli M, Bianchi A, Giampietro A, Milardi D, Vezzosi C, Sacco E, De Marinis L. Body composition and energy expenditure:

relationship and changes in obese subjects before and after biliopancreatic diversion. *Metabolism*. 2003;52(5):552-8.

54. Buscemi S, Caimi G, Verga S. Resting metabolic rate and postabsorptive substrate oxidation in morbidly obese subjects before and after massive weight loss. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1996;20(1):41-6.

55. Das SK, Saltzman E, McCrory MA, Hsu LK, Shikora SA, Dolnikowski G, Kehayias JJ, Roberts SB. Energy expenditure is very high in extremely obese women. *J Nutr*. 2004;134(6):1412-6.

56. Nielsen S, Hensrud DD, Romanski S, Levine JA, Burguera B, Jensen MD. Body composition and resting energy expenditure in humans: role of fat, fat-free mass and extracellular fluid. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000;24(9):1153-7.

*Apêndice - Artigo publicado no
Clinical Nutrition*

available at www.sciencedirect.com

<http://intl.elsevierhealth.com/journals/clnu>

ORIGINAL ARTICLE

New body fat prediction equations for severely obese patients

Lilian Mika Horie ^{a,*}, Maria Cristina Gonzalez Barbosa-Silva ^b,
Raquel Susana Torrinhas ^a, Marco Túlio de Mello ^c, Ivan Cecconello ^a,
Dan Linetzky Waitzberg ^a

^a Department of Gastroenterology, Digestive Surgery Division—LIM 35, University of São Paulo School of Medicine, São Paulo, Brazil

^b Department of Surgery and Post Graduation in Health and Behavior, Catholic University of Pelotas, Pelotas, Brazil

^c Department of Psychobiology, Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Revised 11 September 2007; accepted 31 March 2008

KEYWORDS

Severe obesity;
Bioelectrical
impedance;
BOD POD;
Body composition;
Prediction equation

Summary

Background & aims: Severe obesity imposes physical limitations to body composition assessment. Our aim was to compare body fat (BF) estimations of severely obese patients obtained by bioelectrical impedance (BIA) and air displacement plethysmography (ADP) for development of new equations for BF prediction.

Methods: Severely obese subjects (83 female/36 male, mean age = 41.6 ± 11.6 years) had BF estimated by BIA and ADP. The agreement of the data was evaluated using Bland-Altman's graphic and concordance correlation coefficient (CCC). A multivariate regression analysis was performed to develop and validate new predictive equations.

Results: BF estimations from BIA (64.8 ± 15 kg) and ADP (65.6 ± 16.4 kg) did not differ ($p > 0.05$, with good accuracy, precision, and CCC), but the Bland-Altman graphic showed a wide limit of agreement (-10.4 ; 8.8). The standard BIA equation overestimated BF in women (-1.3 kg) and underestimated BF in men (5.6 kg; $p < 0.05$). Two BF new predictive equations were generated after BIA measurement, which predicted BF with higher accuracy, precision, CCC, and limits of agreement than the standard BIA equation.

Conclusions: Standard BIA equations were inadequate for estimating BF in severely obese patients. Equations developed especially for this population provide more accurate BF assessment. © 2008 Elsevier Ltd and European Society for Clinical Nutrition and Metabolism. All rights reserved.

* Corresponding author. Avenida Dr. Arnaldo, 455. Sala 2208, CEP: 01246-903, Cerqueira Cesar, São Paulo-SP, Brazil. Tel.: +55 11 30620841; fax: +55 11 30617459.

E-mail address: mikahorie@yahoo.com.br (L.M. Horie).

Introduction

Obesity is characterized by an excessive amount of body fat (BF) that accumulates mainly in abdominal region, and increases the risk for comorbidities such as hypertension, diabetes, and heart disease.^{1,2} Knowledge of the body composition of severely obese people could help to identify the risk of developing these comorbidities and play an important role in the planning and follow up of weight loss programs, mainly after bariatric surgery.³

The current methods used to evaluate the body composition in this population are limited by their inability to accommodate the large physical size of the subjects, or are inaccurate for use in extremely obese individuals. Dual-energy X-ray absorptiometry computerized tomography and nuclear magnetic resonance are limited by the size of the scanning area they can accommodate. Hydrostatic weighing is time-consuming and often disliked by patients. These methods are the reference methods used to evaluate BF, but are not available in many clinical settings and are impractical for use with most severely obese patients.^{3–5}

One of the most popular methods used to estimate BF in clinical practice is bioelectrical impedance analysis (BIA). BIA is available in single (SF-BIA) and multifrequency (MF-BIA) models, and presents several advantages such as non-invasiveness, portability, and relatively low cost. Although SF-BIA is most used in clinical practices, this device could not predict total body water accurately. MF-BIA seems to give a better estimation of hydration than SF-BIA because the principle of measuring the flow of current through the body (impedance) is dependent on the frequency applied. At low frequencies, the current cannot bridge the cellular membrane and will pass predominantly through the extra-cellular space. At higher frequencies penetration of the cell membrane occurs and the current is conducted by both the extra-cellular water (ECW) and intra-cellular water (ICW).⁶ However, in severely obese subjects, abnormal body geometry and water distribution may prejudice BIA accuracy of body composition estimates; the available BIA equations may not be accurate for these populations.^{7–9}

Despite these potential disadvantages, standard BIA equations are still used for estimating body composition of severely obese patients, and until now there have been no body composition equations developed specifically to predict BF in subjects with a body mass index (BMI) greater than 34 kg/m².^{6,8,10,11}

There are no methods that can be used with confidence in the severely obese subjects.³ Three-compartment models that include measurement of total body water (TBW) are theoretically more accurate than the two-compartment models for measuring body composition of severely obese individuals, since they take into account individual variability in hydration. The necessity of more sophisticated equipment and time-consuming tests make them available only in few research laboratories worldwide.⁵ Recently, air displacement plethysmography (ADP) was validated as a reference method to evaluate the body composition in severely obese subjects.¹² However, its high cost limits its clinical routine use.

Therefore, we aimed to compare the agreement of body fat estimates obtained from the standard equation used for four-frequency BIA (FourF-BIA) and ADP, and in the case of incongruity between the estimates produced by these two methods, to develop a new equation from BIA parameters for estimating BF of severely obese subjects.

Subjects and methods

Subjects

One hundred and nine severely obese preoperative gastric bypass patients participated in this study. Patients were excluded if they were younger than 18 years of age, had cancer, coronary heart disease, hepatic or pulmonary failure, chronic kidney disease, impaired thyroid function, or were pregnant or breast-feeding.

This study was developed in the Department of Gastroenterology, Surgical Division from the University of São Paulo, and the study protocol was approved by the Ethical Committee from Clinics Hospital and School of Medicine. We obtained written informed consent from each patient prior to participation in the study.

Methods

Study protocol

We interviewed all patients upon prior to enrollment in order to verify inclusion/exclusion criteria, explain instructions of the study protocol, and obtain informed consent. Patients underwent anthropometrical and body composition assessments within the following one to two weeks.

Anthropometrical assessment

The anthropometrical measurements were performed in the morning on the day of the body composition assessment, and included body weight and height determinations. Weight was measured to the nearest 0.01 kg using the ADP scale, this scale was calibrated daily using two standard 10-kg weights. Height was measured to the nearest 0.1 cm using the stadiometer, model Sanny®, with subjects standing erect without shoes.

BMI was calculated as body weight (in kg) divided by squared height (in meters).¹³

Body composition

The body composition of each patient was assessed by ADP and FourF-BIA measurements in the same day. The patients were admitted to the hospital at 07:00 h after a 12-h overnight fast. Patients had been instructed to not smoke or not drink alcohol on the day of the assessment. The same trained technician evaluated all patients.

Bioelectrical impedance analysis

The FourF-BIA body composition was obtained using multifrequency bioelectrical impedance (QuadScan 4000, Bodystat Ltda, Douglas, UK) operating at 5, 50, 100 and 200 kHz. In order to obtain the resistance, reactance and phase angle values the Phase Angle Program, BodyStat® of FourF-BIA

was used. The examination was performed according to standards of the National Institutes of Health.¹⁴

Air displacement plethysmography

Body composition was measured by air displacement plethysmography (BOD POD; Life Measurement Inc., Concord, CA, USA). Procedures for ADP have been explained in detail elsewhere.^{15,16} Briefly, before each trial, the ADP was calibrated using a 50.341-L cylinder. All subjects were tested wearing minimal, tight-fitting clothing (swimming suit or bra and panties for women and underpants for men) and swimming cap to compress the hair.^{17,18} Measured thoracic gas volume was used to calculate a corrected body volume (corrected body volume = raw body volume – thoracic gas volume). Body density was calculated as body mass divided by the corrected body volume.¹⁹ BF (in kg) was calculated as %BF multiplied by total body mass obtained on the digital scale. Fat-free mass (FFM, in kg) was calculated from body weight minus BF. The general error range of ADP is 1–2% (the same as hydrostatic weighing).

Statistical methods

The statistical analyses were performed using STATA, version 9.2 (STATA Corp, College Station, TX, USA). The results are expressed as the mean plus or minus standard deviation (SD). We used the paired *t*-test to compare the differences in BF and FFM obtained using BIA and ADP. Comparisons of body composition between gender were assessed by Student's unpaired *t*-test or Mann–Whitney *U*-test, when appropriate. The agreement between BF values from the two methods (ADP and FourF-BIA) was assessed according to the concordance correlation coefficient (CCC) and the Bland–Altman graphic.²⁰ All analyses were performed for the whole group and based on sex.

The sample was randomly separated, by statistical program, into model building (50%) and validation (50%) subsamples. A backward multivariate linear regression was used to develop two specific BF prediction equations from anthropometrics (weight, height, body mass index (BMI)) and BIA parameters (phase angle, 50 kHz resistance and reactance and 5 kHz, 50 kHz, 100 kHz and 200 kHz impedance) in the model building subsample and tested in the validation subsample. The predictor variables included were: gender, age, weight, height, BMI, phase angle, 50 kHz resistance and reactance and 5 kHz, 50 kHz, 100 kHz and 200 kHz impedance, and ADP BF was used as the dependent variable. The agreement between BF values from the ADP and the two new BF equations were assessed

Table 1 Descriptive statistics by gender and for total sample

Characteristics	All subjects (n = 119)	Male (n = 36)	Female (n = 83)
Age (years)	41.61 ± 11.61	38.51 ± 11.73	42.99 ± 11.35
Weight (kg)	126.55 ± 26.71	152.77 ± 25.10	114.86 ± 17.61
Height (cm)	163.6 ± 10.4	174.8 ± 8.2	158.7 ± 6.9
BMI (kg/m ²)	46.88 ± 6.22	49.91 ± 6.74	45.52 ± 5.49

Values are expressed as mean ± SD.

according to the concordance correlation coefficient (CCC) and the Bland–Altman graphic.²⁰ Statistical significance was set at *p* < 0.05 for all tests.

Results

Physical characteristics of the subjects

We evaluated 120 patients in this study, but one patient could not be included in the ADP assessment. Patient characteristics are shown in Table 1. Most of the patients were women (70%), BMI ranged from 34.4 to 59.6 kg/m², and age ranged from 18 to 62 years.

Comparison of BF (kg) estimated by BIA and ADP

BF estimates obtained from ADP and BIA varied from 39.0 kg to 101.1 kg and 37.2 kg to 112.7 kg, respectively. Women had a significantly greater %BF than men, although the amount of fat (in kg) was greater in men (Table 2).

A non-significant difference of –0.8 kg in BF was found between the two methods for the whole group. However, quite different results were found between BF (kg) estimations obtained by ADP and BIA when gender-specific analyses were performed. As compared to BF estimation obtained from ADP, BF (kg) obtained from BIA was overestimated (1.3 kg) in females and underestimated in males (–5.6 kg).

Data showed an excellent precision (*r*), accuracy (*Cb*), and concordance correlation coefficient (CCC) for whole group and separated by gender, as seen in Fig. 1. The Bland–Altman plots for agreement in the sample as a whole, and separated by gender, are displayed in Fig. 1. Although bias was small in the total sample, 95% CI ranges were quite wide, as seen in Fig. 1.

Table 2 Body composition determinations by ADP and BIA

Method	All subjects (n = 119)		Male (n = 36)		Female (n = 83)	
	ADP	BIA	ADP	BIA	ADP	BIA
BF (%)	51.62 ± 5.32	51.28 ± 5.77	48.98 ± 5.71 ^{a,b}	45.26 ± 5.04 ^c	52.77 ± 4.74 ^a	53.89 ± 3.78
BF (kg)	65.56 ± 16.43	64.77 ± 14.97	76.02 ± 18.99 ^{a,b}	70.44 ± 18.03 ^c	61.02 ± 12.88 ^a	62.32 ± 12.78
FFM (%)	48.45 ± 5.39	48.72 ± 5.77	51.30 ± 5.80 ^{a,b}	54.74 ± 5.04 ^c	47.22 ± 4.73 ^a	46.11 ± 3.78
FFM (kg)	60.97 ± 13.54	61.76 ± 15.69	77.34 ± 9.86 ^{a,b}	82.93 ± 8.65 ^c	53.86 ± 7.32 ^a	52.58 ± 6.34

Values are expressed as mean ± SD. ^aADP vs. BIA, *p* < 0.01; ^bADP male vs. ADP female, *p* < 0.05; ^cBIA male vs. BIA female, *p* < 0.05. BF, body fat; FFM, fat free mass; ADP, air displacement plethysmography; BIA, bioelectric impedance analysis.

Figure 1 Bland–Altman plot showing the limits of agreement between body fat (BF) estimates made using multi-frequency bioelectrical impedance (BIA) and air displacement plethysmograph (ADP) in (A) whole group, (B) male, and (C) female. The center line represents the mean differences between the two methods, and the other two lines represent two SDs from the mean (r = precision, Cb = accuracy, CCC = concordance correlation coefficient).

Multivariate regression analysis was performed to identify the significant determinants of body fat from physical variables and MF-BIA parameters, using body fat from ADP as dependent variable.

New Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva equations for estimating BF

The results of regression analyses developed in the model building subsample, having BF (in kg) from ADP as

Table 3 Multiple linear regression analysis using body fat (in kg) as the dependent variable

Body fat (adj $R^2 = 0.9729$)	$\beta \pm \text{SEM}$	95% CI	p -Value
Resistance (50 kHz)	0.094 ± 0.008	0.079; 0.110	<0.001
Age (years)	0.126 ± 0.0390	0.047; 0.204	0.002
Current weight (kg)	1.000 ± 0.0290	0.941; 1.056	<0.001
Height (cm)	-0.803 ± 0.067	-0.938; -0.667	<0.001
Intercept	23.250 ± 10.691	1.777; 44.724	0.03

β , unstandardized coefficient; SEM, standard error of the mean; CI, confidence interval.

a dependent variable, are presented in [Tables 3 and 4](#). Two new prediction equations were developed from the comparison FourF-BIA and ADP data: one to be applied with data from resistance of 50 kHz BIA device (Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁) and the other to be applied with data from impedance of 100 kHz BIA device (Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂).

Multivariate linear regression analyses were performed to develop the regression equations. Our model shows that age, current weight, height, and resistance of 50 kHz were significant predictors of BF (in kg) and explained of 97% (adj $R^2 = 0.9729$) of the variability of BF (in kg) for resistance of 50 kHz BIA ([Table 3](#)). The regression analysis for impedance of 100 kHz BIA revealed that age, current weight, height, and 100 kHz impedance explained 97% (adj $R^2 = 0.9731$) of the variance of BF (in kg) ([Table 4](#)).

The final equations used in subsequent analyses, are presented for resistance of 50 kHz BIA and impedance of 100 kHz BIA:

Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₁ (HW & BS₁)

$$BF_1(\text{kg}) = 23.25 + (0.13 \times \text{age}) + (1.00 \times \text{current weight}) + (0.09 \times R_{50}) - (0.80 \times \text{height})$$

(BF = body fat, age in years, current weight in kg, R_{50} = 50 kHz resistance, and height in cm).

Horie-Waitzberg & Barbosa-Silva₂ (HW & BS₂)

Table 4 Multiple linear regression analysis using body fat (in kg) as the dependent variable

Body fat (adj $R^2 = 0.9731$)	$\beta \pm \text{SEM}$	95% CI	p -Value
Impedance (100 kHz)	0.100 ± 0.008	0.083; 0.1150	<0.001
Age (years)	0.114 ± 0.039	0.036; 0.191	0.005
Current weight (kg)	0.994 ± 0.028	0.937; 1.051	<0.001
Height (cm)	-0.800 ± 0.067	-0.934; -0.664	<0.001
Intercept	23.970 ± 10.639	2.602; 45.339	0.03

β , unstandardized coefficient; SEM, standard error; CI, confidence interval.

Figure 2 Comparison of BF (in kg) estimate by BIA and new predictions equations in severely obese patients. CCC = concordance correlation coefficient (precision $\times$ accuracy).

$$\text{BF}_2(\text{kg}) = 23.97 + (0.10 \times I_{100}/100) + (0.11 \times \text{age}) \\ + (0.99 \times \text{current weight}) - (0.80 \times \text{height})$$

(BF = body fat, age in years, current weight in kg, I_{100} = 100 kHz impedance, and height in cm).

The new equations were tested in the validation subsample and they showed excellent precision, accuracy, and CCC, providing better results than those obtained from the general BIA equation (Fig. 2). Furthermore, lower limits of agreement were found with the new equations, HW&BS₁ and HW&BS₂, (−7.017 to 7.884 kg and −5.919 to 8.802 kg, respectively) when compared to original general equation of FourF-BIA (−10.402 to 8.841 kg).

Discussion

Body composition assessment in severely obese patients is challenging. Few studies have measured body composition in this population.^{4,5,12,21} Petroni et al.⁴ evaluated the feasibility of ADP use for body composition assessment in the severely obese, and a more recent study validated ADP as a reference method to estimate body composition in this population.¹²

The results of our study demonstrate that BF (in kg) estimates generated using BIA and ADP did not differ when considering the sample as a whole. However, when the analysis was performed according to gender, results from BIA underestimated BF in males and overestimated BF in females. In contrast with our results, a previous study comparing BF in 46 severely obese patients obtained using BIA and underwater weighing, showed that BIA underestimated %BF in both genders (36.1% vs. 41.8% in men and 43.1% vs. 52.2% in women; $p < 0.001$).²¹ Furthermore, in our study ADP was used as reference method and BIA is multifrequency. In the Heath et al.²¹ study the reference method was underwater weighing and BIA was single frequency. These differences in the studies could lead us to different results. The exact factors causing variation in BF estimations in severely obese patients have not been identified, but we suggest some possible influencing factors in Table 5.⁷

The main keystone of using BIA as a body composition assessment method is the assumption that the FFM hydration is a constant factor, normally 73.2% in adults. Obese

Table 5 Possible causes of variability in BF estimation from BIA in severely obese subjects⁷

Violations of assumptions	Consequences of BF estimation from BIA
↑ TBW (increased FFM hydration)	↓ BF
Body build alteration (not cylindrical)	↑ BF
Relative ECW increase	↓ BF
Overall effect	↓ BF

↓ underestimation; ↑ overestimation.
BF, body fat; BIA, bioelectrical impedance analysis; TBW, total body water; FFM, fat free mass; ECW, extracellular water.

individuals are likely to have a different body water hydration as compared with lean individuals, which could modify the final results.^{3,7,8} In addition, Deurenberg²² noted that resistance was affected by the intracellular water content, varied with subject's physical activity, and may be dependent on the intracellular to total body water ratio, and hence to the intracellular to extracellular water ratio.

Das et al.⁵ performed a sophisticated BIA validation study in patients who underwent bariatric surgery. They verified that hydration (total body water) in severely obese patients was significantly higher than the reference value (0.738). The higher level of hydration in severely obese patients could lead us to overestimate FFM and, consequently, underestimate BF when using BIA. In our study, this underestimation could be found only in males, but not when the sample was analyzed as a whole or when females were analyzed alone.

There is another assumption that may not be valid when BIA is used as a body composition method for the severely obese. Body build is considered to be a cylindrical conductor,^{23,24} and it is estimated that each arm is approximately 4% of body weight and each leg is approximately 17% of body weight, but they contribute approximately 47% and 50%, respectively, to whole body resistance. The trunk contains 50% of the body mass but contributes only 5–12% of whole body resistance.^{8,25} The body build of severely obese patients is different from lean subjects. The variation of the tissue composition of the limbs and trunk may result in region-specific resistance differences^{23,26,27} and contribute to BF overestimation.

Swan and McConnell²⁸ studied the accuracy of several general anthropometric and BIA regression equations used to estimate the BF percentage in women with either upper body (UB) or lower (LB) fat distribution patterns. They hypothesized that the location of the body fat could influence the electrical conductivity differently in the UB versus the LB. This could explain the %BF differences between the genders. Thus, the authors concluded that anthropometric and some BIA equations are accurate for predicting the BF percentage in lower BF "shaped" women, but are not appropriate for women with primarily abdominal fat patterning. This different fat patterning (abdominal or not) could be the reason for the differences in BF estimation accuracy between genders.

Few studies have compared BIA and reference methods in severely obese patients, and the equations in routine

use were validated only in subjects with BMI lower than 34 kg/m^2 .^{6,8,10,11}

To our knowledge, this is the first study that compares the accuracy of ADP and multi-frequency BIA in a large sample of severely obese patients. The new predictive equations were developed to improve the accuracy of BIA for estimating body composition in severely obese patients. The standard equation used with the FourF-BIA instrument is not adequate for these individuals, our prediction equations use variables that are not influenced by hydration. Although the new regression equations did not use gender as predictor of body fat in severely obesity patients, they provided more accurate BF estimated in individual obese patients than did equations from the BIA device, as demonstrated by the Bland–Altman graphic. Variables such as weight, height, age and impedance of 100 kHz, which were included in the final model, have more importance in predicting the BF than sex. Moreover, there were more women than men in our sample. This disproportion between genders could be a possible cause for the exclusion of this variable from the final model.

The limits and expense of available methods for evaluating BF in severely obese subjects may be the reason for the low number of studies comprising the literature. This observation suggests that, in addition to the clinical relevance of predictive equations developed in this study, these equations could promote the development of new studies involving the severely obese by institutions and researchers who do not have access to reference methods such as ADP.

The limitations of the present study include the relatively small sample size and the disproportion of gender in BF equations.

In conclusion, our findings show that the standard BIA equation developed for the general population is not accurate for assessing BF in severely obese patients. However, our new equations developed especially for this population show increased accuracy when compared to the original BIA equation.

Conflict of interest statement

No conflict of interest, personal or financial, exists for any author. The authors certify that affiliation with or involvement in any organization or entity with a direct financial interest in the subject matter or materials are discussed in the Acknowledgments section below.

Acknowledgments

This work was supported by research grants from Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), process: 06/51083-0 and 06/53094-9. Brazil. The authors thank School of Medicine Foundation from University of São Paulo, BodyStat Ltda and Ger-ar Comércio de Produtos Médicos Ltda, for technical support in this study. L.M.H. was responsible for conception, design, data collection, results interpretation, and the writing of the manuscript. M.C.G.B.S. contributed to the conception, design, results interpretation, writing of the manuscript, and the statistical analysis. R.S.T. contributed to the research design

and the writing of the manuscript. M.T.M. contributed to the air displacement measurements. I.C. contributed to interpretation of the results. D.L.W. contributed to the conception and design of the research, and review of the manuscript.

References

- Okosun IS, Chandra KM, Choi S, Christman J, Dever GE, Prewitt TE. Hypertension and type 2 diabetes comorbidity in adults in the United States: risk of overall and regional adiposity. *Obes Res* 2001;9(1):1–9.
- Rader DJ. Effect of insulin resistance, dyslipidemia, and intra-abdominal adiposity on the development of cardiovascular disease and diabetes mellitus. *Am J Med* 2007;120(3 Suppl. 1):S12–8.
- Das SK. Body composition measurement in severe obesity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005;8:602–6.
- Petroni ML, Bertoli S, Maggioni M, Morini P, Battezzati A, Tagliaferri MA, et al. Feasibility of air plethysmography (BOD POD) in morbid obesity: a pilot study. *Acta Diabetol* 2003;40(Suppl. 1):S59–62.
- Das SK, Roberts SB, Kehayias JJ, Wang J, Hsu LK, Shikora SA, et al. Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284(6):1080–8.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gomez J, et al. ESPEN. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* 2004;23(6):1430–53.
- Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr* 1996;64(Suppl. 3):449S–52S.
- Coppini LZ, Waitzberg DL, Campos AC. Limitations and validation of bioelectrical impedance analysis in morbidly obese patients. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005;8(3):329–32.
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005;8(3):311–7.
- Sartorio A, Conte G, Morini P, Battistini N, Faglia G, Bedogni G. Changes of bioelectrical impedance after a body weight reduction program in highly obese subjects. *Diabet Nutr Metab* 2000;13(4):186–91.
- Cox-reijven PEL, Van Kreel B, Soeters PB. Accuracy of bioelectrical impedance spectroscopy in measuring changes in body composition during severe weight loss. *J Parenter Enteral Nutr* 2002;26(2):120–7.
- Ginde SR, Geliebter A, Rubiano F, Silva AM, Wang J, Heshka S, Heymsfield SB. Air displacement plethysmography: validation in overweight and obese subjects. *Obes Res* 2005;13(7):1232–7.
- Keys A, Fidanza F, Kcarvonen MJ, Kimura N, Taylor HL. Indices of relative weight and obesity. *J Chron Dis* 1972;25(6):329–43.
- Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. *Am J Clin Nutr* 1996;64:524S.
- McCrory MA, Gomez TD, Bernauer EM, Mole PA. Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(12):1686–91.
- Fields DA, Goran MI, McCrory MA. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr* 2002;75(3):453–67.
- Higgins PB, Fields DA, Hunter GR, Gower BA. Effect of scalp and facial hair on air displacement plethysmography estimates of percentage of body fat. *Obes Res* 2001;9(5):326–30.

18. Fields DA, Higgins PB, Hunter GR. Assessment of body composition by air-displacement plethysmography: influence of body temperature and moisture. *Dyn Med* 2004; **3**(3):1–7.
19. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, editors. *Techniques for measuring body composition*. Washington, DC: Natl. Acad. Sciences/Natl. Res. Council; 1961. p. 223–4.
20. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; **1**(8476):307–10.
21. Heath EM, Adams TD, Daines MM, Hunt SC. Bioelectric impedance and hydrostatic weighing with and without head submersion in persons who are morbidly obese. *J Am Diet Assoc* 1998; **98**(8):869–75.
22. Deurenberg P, van der Kooy K, Leenen R, Schouten FJM. Body impedance is largely dependent on the intra- and extra-cellular water distribution. *Eur J Clin Nutr* 1989; **43**:845.
23. Buchholz AC, Bartok C, Schoeller DA. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract* 2004; **19**(5):433–46.
24. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gomez JM, et al. Composition of the ESPEN Working Group. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004; **23**(5):1226–43.
25. Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, et al. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur J Clin Nutr* 2001; **55**(11):973–9.
26. Fuller NJ, Elia M. Potential use of bioelectrical impedance of the whole body and of body segments for the assessment of body composition: comparison with densitometry and anthropometry. *Eur J Clin Nutr* 1989; **43**:779–92.
27. Lukaski HC, Scheltinga MRM. Improved sensitivity of the tetrapolar bioelectrical impedance method to assess fluid status and body composition: use of proximal electrode placement. *Age Nutr* 1994; **5**:123–9.
28. Swan PD, McConnell KE. Anthropometry and bioelectrical impedance inconsistently predicts fatness in women with regional adiposity. *Med Sci Sports Exerc* 1999 Jul; **31**(7): 1068–75.