

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Faculdade de Medicina

Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas: Endocrinologia, Metabolismo e  
Nutrição

Dissertação de Mestrado

Avaliação da Composição Corporal pela Bioimpedância e pelas Dobras  
Cutâneas em pacientes com Diabetes tipo 2: um estudo de acurácia  
diagnóstica.

Gabriela Brenner Bello

Orientadora: Prof. Dra. Themis Zelmanovitz

Porto Alegre, 2014

Avaliação da Composição Corporal pela Bioimpedância e pelas Dobras Cutâneas em pacientes com Diabetes tipo 2: um estudo de acurácia diagnóstica.

Aluna: Gabriela Brenner Bello

Orientadora: Prof. Dra. Themis Zelmanovitz

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Endocrinologia à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas: Endocrinologia.

Porto Alegre, 2014.

## CIP - Catalogação na Publicação

Brenner Bello, Gabriela

Avaliação da Composição Corporal pela Bioimpedância e pelas Dobras Cutâneas em pacientes com Diabetes tipo 2: um estudo de acurácia diagnóstica. / Gabriela Brenner Bello. -- 2014.

65 f.

Orientador: Themis Zelmanovitz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas: Endocrinologia, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Gordura Corporal. 2. Diabetes tipo 2. 3. Bioimpedancia. 4. Composição corporal. I. Zelmanovitz, Themis, orient. II. Título.

## Agradecimentos

- Primeiramente à minha família e ao meu namorado, pela compreensão, apoio e por serem o meu porto seguro;
- À Aline Schneider pela amizade, apoio e compreensão durante todo o meu mestrado;
- À minha orientadora, Prof. Themis Zelmanovitz por ter me passado o seu conhecimento com paciência e serenidade, pela compreensão e cuidado com todos que a cercam;
- Às minhas queridas amigas e companheiras deste PPG: “Patuleia VIP”: Anize von Frankenberg, Thais Rasia e Simone Tonding que proporcionaram leveza e diversão nesta caminhada, especialmente à Fernanda Bernaud, pelos conselhos sábios, apoio e amizade em todas as fases da minha formação.
- À Prof. Ticiane Rodrigues e à Ciglea do Nascimento que me abriram as portas neste PPG há 6 anos atrás e com quem aprendi muito sobre prática clínica e cuidado com as pessoas.
- À Cristina Pavinatto, amiga, companheira por ter me auxiliado na maior parte dos meus dias de pesquisa e de trabalho.
- Ao grupo de pesquisadoras da Professora Themis: Camila Kummel, Ana Luisa Santos, Cristine Karsminski, Alice Hoefel e alunas de iniciação científica.

## Sumário

Formato da Dissertação de Mestrado .....	5
Lista de Abreviaturas .....	6
Lista de Tabelas .....	7
Lista de Figuras .....	8

## Capítulo I

### Artigo de Revisão

#### **Estudo da Composição Corporal: importância e técnicas de medida.**

Resumo .....	11
Introdução .....	13
Fatores que influenciam a composição corporal .....	14
Associação entre Gordura Corporal e Doenças Crônicas .....	16
Técnicas de Medida da Composição Corporal .....	19
Conclusão .....	25
Referências .....	25

## Capítulo II

### Artigo Original

#### **Evaluation of Body Composition by Bioimpedance and Skinfold Thickness in Patients with Type 2 Diabetes: a study of diagnostic accuracy.**

Abstract .....	38
Introduction .....	39
Patients and Methods .....	40
Results .....	44
Discussion .....	46
Conclusion .....	50
References .....	50

### **Formato da Dissertação de Mestrado**

Esta dissertação de Mestrado segue o formato proposto pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas: Endocrinologia, Metabolismo e Nutrição da Faculdade de Medicina da UFRGS, sendo apresentada na forma de 2 artigos científicos. Um artigo de revisão em português e um artigo original em inglês a ser submetido para publicação em periódicos Qualis A Internacional na Classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- (CAPES).

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do auxílio de bolsa de Mestrado.

## **Lista de Abreviaturas**

### **Capítulo I – Estudo da Composição Corporal: importância e técnicas de medida**

DCV – Doença Cardiovascular

PGC – Percentual de Gordura Corporal

MLG – Massa Livre de Gordura

IMC – Índice de Massa Corporal

DXA – Absorciometria de Raios X de Dupla Energia

RM – Ressonância Magnética

TC – Tomografia Computadorizada

4C – Quatro Compartimentos

BIA – Bioimpedância

CC – Circunferência da Cintura

DC – Dobras Cutâneas

### **Capítulo II - Evaluation of Body Composition by Bioimpedance and Skinfold thickness in Patients with Type 2 Diabetes: a study of diagnostic accuracy.**

BIA – Bioimpedance

PBF – Percentage Body Fat

DXA – Dual Energy X-Ray Absorptiometry

DW – Durnin & Womersley

ROC – Receiver Operating Characteristic

WHO – World Health Organization

GFR – Glomerular Filtration Rate

**Lista de Tabelas****Capítulo II - Evaluation of Body Composition by Bioimpedance and Skinfold thickness in Patients with Type 2 Diabetes: a study of diagnostic accuracy.**

Table 1. Clinical Characteristics of the patients .....	55
Table 2. Anthropometric measurements of the patients .....	56
Table 3. Correlation coefficient between the different methods to measure percentage body fat and DXA as the reference method .....	57



## Lista de Figuras

### Capítulo I – Estudo da Composição Corporal: importância e técnicas de medida.

Figura 1. Os 5 níveis de composição corporal ..... 35

### Capítulo II - Evaluation of Body Composition by Bioimpedance and Skinfold thickness in Patients with Type 2 Diabetes: a study of diagnostic accuracy.

Figure 1. Correlation between Percentage Body Fat (PBF) estimated by the Bioimpedance and skinfolds thickness and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA)..... 58

Figure 2. Bland-Altman Plots for comparing Percentage Body Fat evaluated by Bioimpedance and by DXA in men and in women, divided according to the Body Mass Index ..... 59

Figure 3. Bland-Altman plots for comparison between Percentage Body Fat estimated by the Petroski Equation and DXA for men and women, divided according to body mass index ..... 60

Figure 4. Bland-Altman Plots to compare the Percentage Body Fat evaluated by the Durnin and Womersley gender-adjusted equation and DXA for men and women and divided according to the body mass index ..... 61

Figure 5. Bland-Altman Plots to compare the Percentage Body Fat evaluated by the Durin & Womersley age-adjusted equation and DXA for men and women and divided according to the body mass index ..... 62

Figure 6. ROC curves of BIA and Durnin & Womersley gender-adjusted equation to determine an increased PBF, separately constructed for men and women..... 63

Figure 7. ROC curves of Durnin & Womersley age-adjusted equation and Petroski equation to determine an increased PBF, separately constructed for men and women..... 64

## **Capítulo I**

### **Artigo de Revisão**

**Estudo da Composição Corporal: importância e técnicas de medida.**

## **ESTUDO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL: IMPORTÂNCIA E TÉCNICAS DE MEDIDA.**

Gabriela B Bello<sup>a</sup>

Themis Zelmanovitz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas: Endocrinologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre, Brasil

<sup>a,b</sup>Departamento de Medicina. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Serviço de Endocrinologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre – Porto Alegre, Brasil

**Autor correspondente:** Themis Zelmanovitz, Serviço de Endocrinologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Rua Ramiro Barcelos, 2350/ Prédio 12 - 4º andar CEP 90035-003 - Porto Alegre - RS, Brazil.

Phone/Fax: (55-51) 3359.8127 / 3331.3312

E-mail: [themis.voy@terra.com.br](mailto:themis.voy@terra.com.br)

## **Resumo**

A medida da composição corporal representa uma importante ferramenta para a melhor compreensão do estado nutricional e do seu papel na evolução de doenças e seus tratamentos em diversas populações. Dentre os diversos fatores que influenciam a composição corporal estão a idade, o gênero, atividade física e alimentação, todos interagindo entre si. A adiposidade corporal tem sido associada com algumas situações de risco à saúde, como diabetes, doença cardiovascular e câncer, mas esta associação ainda parece controversa devido a variedade de populações estudadas e técnicas de medida utilizadas para a avaliação da adiposidade. Existem várias técnicas de medida disponíveis para avaliação da composição corporal, mais atualmente, as mais utilizadas são a Absorciometria de Raios X de Dupla Energia, a Bioimpedância e as Dobras Cutâneas. O reconhecimento sobre as características e limitações dos diferentes métodos de avaliação é fundamental para determinar a aplicabilidade das técnicas nas diversas situações de pesquisa ou prática clínica. Portanto, ainda são necessários mais estudos de validação com populações e equipamentos específicos.

**Descritores:** Gordura Corporal, Diabetes tipo 2, Bioimpedancia

**Abstract**

The measurement of body composition is an important tool for better understanding of the nutritional status and its role in the diseases evolution and their treatment. Age, gender, physical activity and nutritional factors are among the factors that influence body composition, all interacting with each other. Body adiposity has been associated with health risk situations, such as diabetes, cardiovascular disease and cancer, but this association is still controversial because of the variety of studied populations and techniques used to assess adiposity. There are several techniques available for body composition assessment, the most used is the Dual Energy X-ray absorptiometry, the bioimpedance and skinfolds. The understanding about the characteristics and limitations of each method is important to determine the applicability in different situations of research or clinical practice. Therefore, further validation studies with specific populations and diverse equipments are still needed.

**Key words:** Body Fat, Type 2 Diabetes, bioimpedance

## Introdução

A medida da composição corporal tem se tornado uma importante ferramenta para a melhor compreensão do estado nutricional e do seu papel na evolução de doenças e seus tratamentos em diversas populações (1). Atualmente, a composição corporal tem sido mais estudada para determinar o conteúdo de gordura e/ou de massa magra dos indivíduos, assim como utilizada para análise do conteúdo de água corporal (2,3). O interesse no estudo da gordura corporal tem se baseado principalmente nas evidências mais recentes do seu papel entre os fatores de risco para o desenvolvimento de doenças como a Doença Cardiovascular (DCV) e o Diabetes tipo 2 (4-7).

Tradicionalmente, a composição corporal é estudada ou didaticamente dividida em níveis ou modelos: atômico, celular, tecidual, molecular e corpo total (divisão entre cabeça, tronco e extremidades). Cada nível é subdividido em diferentes componentes conforme ilustrado na **Figura 1**. Esta forma de descrever a composição corporal permite o melhor entendimento e estudo da estrutura básica da corpo humano e as relações entre seus diferentes componentes. No entanto, é importante ressaltar que frequentemente é necessário o estudo da relação de componentes de diferentes modelos, por exemplo: conteúdo de gordura (componente do modelo molecular) em diferentes localizações (tronco vs. extremidades - componente do modelo de corpo total).

No modelo molecular divide-se a composição corporal em água (intra e extracelular), proteína, lipídeo, carboidratos e mineral ósseo e mineral de partes moles. Varias divisões do modelo molecular podem ser criadas, variando de 2 a 6 componentes. O modelo de dois componentes é dividido em massa gorda e massa livre de gordura e é o modelo mais utilizado no estudo da composição corporal. A massa livre de gordura é o componente ativo metabolicamente e pode ser subdividido em até quatro componentes. O modelo de 4 componentes é largamente utilizado e subdivide a massa livre de gordura (MLG) em água, proteínas e minerais. Neste modelo as proporções aproximadas são: massa gorda (homens – 16 a 20%, mulheres – 20 a 30%), massa livre de gordura (80%), massa magra/proteína (15%), água intra- e extracelular que compõem a água corporal total (60%) e massa óssea

(7%) (8,9). Esta proporção vai se modificando ao longo da vida e está diretamente associada a fatores como gênero, idade, composição da dieta, entre outros (10).

A presente revisão abordará os fatores que influenciam a composição corporal, a sua associação com algumas situações de risco a saúde, e as técnicas de medida disponíveis.

### **Fatores que influenciam a composição corporal**

A composição corporal sofre a influência de diversos fatores, entre eles a idade, gênero (11), atividade física (12), composição da dieta, entre outros.

A idade está associada com um aumento e redistribuição da gordura corporal (10). Na adolescência a média de percentual de gordura corporal (PGC) entre os homens é de aproximadamente 15% e entre as mulheres de 30%. A partir dos 35 anos nos homens e dos 45 anos nas mulheres, ocorre um aumento significativo no PGC. O pico do PGC ocorre em torno dos 85 anos nos homens e dos 75 anos nas mulheres. Além disso, a redistribuição de gordura subcutânea da parte inferior do corpo para a região abdominal ou visceral é muitas vezes observada em idosos e pode ocorrer independente de mudanças na adiposidade total, no peso corporal ou na circunferência da cintura (13). Isto pode ser explicado em parte pela redução da taxa de metabolismo basal em idosos o que contribui para mudanças na gordura corporal e na massa livre de gordura (14).

A composição corporal também é afetada de forma diferente entre os sexos. Frequentemente no homem, ocorre a redução da oxidação lipídica e acúmulo de gordura na região abdominal acompanhada de perda de musculatura estriada, e na mulher ocorre o aumento da relação entre a parte superior e inferior do corpo e perda de massa óssea (11). Provavelmente os maiores responsáveis por estas alterações são as regulações endócrinas destes tecidos. A testosterona entre os homens está envolvida na manutenção dos músculos e nas mulheres o estrogênio é claramente associado a regulação da distribuição de gordura corporal (15). Estudo realizado a partir de dados do *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES) com 13.066 homens e mulheres acima de 20 anos mostrou uma grande e significativa diferença entre homens e mulheres na média do PGC, no peso de

gordura em Kg e na MLG. Essa diferença persistiu em todas as categorias de IMC e também após ajuste para idade e etnia (16).

Outro fator determinante da composição corporal é o nível de atividade física. Ela pode exercer um importante papel na prevenção do aumento do PGC e redução da MLG nos homens e nas mulheres com o passar da idade (17). Em estudo longitudinal realizado com 1 a 3 anos de seguimento com pessoas saudáveis, no primeiro ano observou-se que as pessoas fisicamente ativas eram menos propensas a ganhar gordura corporal com o aumento de peso e mais propensas a perder gordura corporal com a perda de peso do que os indivíduos sedentários (18).

Estudo recente realizado para determinar o efeito de um programa de exercícios sobre a composição corporal e capacidade funcional de mulheres idosas verificou que o grupo submetido aos exercícios apresentou aumento na massa muscular esquelética e massa magra e redução na gordura corporal total e abdominal quando comparado ao grupo controle (19). Além disso, a relação entre o gasto energético consequente da atividade física e a quantidade de calorias provenientes da dieta, é um importante determinante na modificação da composição corporal, especialmente no PGC (12).

O papel dos nutrientes da dieta sobre a composição corporal também tem sido assunto de interesse. Em relação às gorduras da dieta, tem sido descrito que o consumo do ácido linoléico conjugado atua na redução da massa corporal adiposa (20, 21). Ensaio clínico randomizado duplo cego com 60 indivíduos com sobrepeso e obesidade, realizado com o objetivo de investigar a relação de dose-resposta do ácido linoléico conjugado com o PGC, demonstrou que 3,4 e 6,8 gramas deste ácido graxo reduziram significativamente o PGC (20)

Também relacionado a ingestão de ácidos graxos poliinsaturados, um ensaio clínico randomizado recente, realizado com indivíduos com Diabetes tipo 2 com sobrepeso e obesidade grau I, analisou o efeito da suplementação de 30g de nozes ao dia sobre a composição corporal. Ao final de 6 meses de estudo foi observada uma redução significativa da gordura subcutânea e uma tendência a redução do PGC, mas que não se manteve nos 6 meses seguintes de acompanhamento (22). Em contrapartida, também tem sido descrita uma associação positiva entre o



consumo de alimentos ricos em gorduras, como batatas fritas e hambúrgueres e a maior adiposidade abdominal (23).

Ainda, o consumo de carboidratos provindos de frutas e verduras e o maior consumo de carboidratos refinados foram negativa- e positivamente associados a maior circunferência abdominal, respectivamente (24). Também a alta ingestão de fibras de cereais, principalmente cereais integrais, foi associada a um menor PGC e gordura abdominal (25).

### **Associação entre Gordura Corporal e Doenças Crônicas**

O Índice de Massa Corporal (IMC), pela simplicidade da medida e cálculo, é o parâmetro antropométrico mais utilizado para caracterizar alterações do peso corporal e sua associação com doenças, principalmente metabólicas (26). No entanto, devido a sua limitação em discriminar o peso relacionado a gordura corporal ou massa magra, o seu desempenho diminui em faixas intermediárias do peso corporal. Neste contexto, o PGC tem sido bastante estudado e associado a comorbidades como Diabetes tipo 2, Hipertensão, Síndrome Metabólica, Doença cardiovascular e Câncer (27).

#### Gordura corporal e Diabetes tipo 2

Já desde a década de 50 tem se chamado a atenção sobre a importante associação entre a concentração de gordura abdominal e a maior incidência de Diabetes (28, 29). A adiposidade central é um importante marcador para a síndrome metabólica, que é uma condição preditora do desenvolvimento do Diabetes. Esta associação tem sido descrita tanto em pacientes com obesidade como em indivíduos com peso corporal normal (30).

Além da adiposidade central, outros parâmetros antropométricos também tem se mostrado preditivos para o desenvolvimento do Diabetes em diferentes populações (31, 32). Na coorte de 1073 indivíduos de diferentes etnias do estudo IRAS (*"The Insulin Resistance Atherosclerosis Study"*), foram avaliadas várias medidas antropométricas como fatores preditivos para o desenvolvimento de Diabetes tipo 2: circunferência da cintura, IMC, razão cintura-quadril, razão cintura-altura, dobras cutâneas e o PGC. Com exceção das dobras cutâneas, todas as medidas foram associadas ao desenvolvimento do Diabetes tipo 2. Com relação ao

PGC aumentado, este apresentou uma razão de risco significativa que variou de 2,12 a 3,43 em indivíduos brancos hispânicos e não-hispânicos. Em outro estudo de coorte prospectivo que acompanhou 4.193 indivíduos idosos durante 12 anos, observou-se que vários parâmetros antropométricos (IMC, peso, gordura corporal, circunferência da cintura, relação cintura-quadril e a relação cintura-altura) foram fortemente associados com o risco de Diabetes. Ao avaliar isoladamente a gordura corporal, o risco de desenvolvimento de Diabetes nos indivíduos no quinto quintil aumentou em 3,3 vezes em relação ao primeiro quintil (33).

No entanto, a associação positiva entre o PGC e o desenvolvimento do Diabetes não é unânime entre os estudos. Menke et al (34), avaliando adultos participantes do *Third National Health and Nutrition Examination Survey* em um estudo transversal, também observou uma maior prevalência de Diabetes nos indivíduos com maior PGC. Entretanto, quando esta associação foi avaliada ajustando para a circunferência da cintura, ela inverteu e se tornou negativa, ou seja, quanto maior o PGC, menor o risco de diabetes. É importante ressaltar que esta divergência entre os estudos possa estar associada a diferenças nos seus delineamentos (estudo transversal vs coorte); diferenças entre as populações (idade, etnias); técnicas de medida da composição corporal ou ainda pontos-de-corte adotados para definir aumento de PGC.

#### Gordura corporal e Doença Cardiovascular

A adiposidade abdominal é também sabidamente um forte determinante dos mais diversos fatores de risco cardiovasculares (35). Um maior Produto de Acumulação Lipídica, índice que reflete a acumulação de gordura central, é associado à presença de DCV (36). Mas também além da adiposidade central, o próprio aumento do PGC está associado à DCV e seus fatores de risco tais como hipercolesterolemia, hipertensão, Diabetes e sedentarismo em populações de diferentes etnias (5, 6, 37). Em estudo prévio realizado com 850 homens indianos de 25 a 64 anos que foram avaliados através da Bioimpedância para estimar o PGC, foi observada uma significativa associação entre a maior prevalência de DCV e as categorias mais altas de PGC (5). Outro estudo, realizado com pacientes chineses com Diabetes, analisou a associação entre a doença arterial coronariana e medidas antropométricas como o IMC, Razão Cintura/Quadril e o PGC. Os autores

observaram que o PGC foi o melhor preditor de doença arterial coronariana quando comparado ao IMC e a Razão Cintura/Quadril nesta população. Observaram que a cada 1% de aumento no PGC, houve aumento de 2% no risco de doença arterial coronariana (7). Também em estudo realizado com adultos coreanos de 18 a 92 anos, que visou determinar o ponto de corte de PGC para predizer risco cardiovascular, utilizando a Absociometria de Raios X de Dupla Energia (DXA), observou-se que a prevalência dos fatores de risco cardiovascular (hipertensão, diabetes e dislipidemia) foi crescente de acordo com o aumento do PGC (38).

Por outro lado, em estudos que avaliaram indivíduos de população americana o resultado não foi o mesmo. No estudo de Menke et al (34), acima citado, também observou-se associação entre vários parâmetros antropométricos, incluindo o PGC, e fatores de risco cardiovascular, como hipertensão, colesterol HDL baixo e proteína C reativa, assim como o Diabetes (já comentado). No entanto, estas associações deixaram de ser significativas quando avaliadas com ajuste para a circunferência da cintura. Em outro estudo menor com 155 indivíduos saudáveis com idade entre 21 e 55 anos de uma cidade americana que teve como objetivo aprofundar o conhecimento sobre as diferenças de pontos de corte entre os métodos de medida da gordura corporal total e gordura corporal regional, apenas a circunferência abdominal se manteve associada a maior risco de evento cardiovascular em 10 anos, determinado através do escore de Framingham (39).

### Gordura corporal e Neoplasias

Outra associação entre o aumento da adiposidade e co-morbidades associadas é com o risco de desenvolvimento de alguns tipos de neoplasias. Uma importante metanálise com mais de 280.000 casos de câncer mostrou que um maior IMC está associado com o aumento do risco de desenvolvimento de vários tipos de câncer (40) entre eles o de colo do útero, mama, endométrio, próstata, tireóide, rins, esôfago, pâncreas e fígado (41). Em estudo realizado para verificar a influência do excesso de peso no risco de morte por câncer em uma coorte de 900.000 americanos que inicialmente encontravam-se livres da doença, verificou que o risco relativo de morte por câncer nas faixas maiores de IMC ( $>35\text{Kg/m}^2$ ) para os homens

foi de 1,20 a 1,52 e para as mulheres foi de 1,62 para todos os tipos de câncer (42). No entanto, apesar de o IMC estar claramente associado ao risco de câncer, ainda não é muito estudado o impacto da composição corporal. Em estudo realizado com o objetivo de verificar medidas de adiposidade total, abdominal, subcutânea e intermuscular com a incidência de câncer em 2.519 idosos através da DXA e tomografia computadorizada, observou-se que a associação entre a composição corporal e todos os tipos de cancer foi nula. Entretanto, entre as mulheres, a massa gorda total, a gordura visceral e subcutânea foram positivamente associadas com o risco de desenvolvimento de câncer (43).

### **Técnicas de Medida da Composição Corporal**

A medida da composição corporal em humanos é usualmente realizada quando se quer responder a excessos ou deficiências que se pensa ou se sabe estarem relacionadas com risco à saúde. Os métodos disponíveis de avaliação da composição corporal, variam do simples ao mais complexo. Todos possuem suas limitações em relação a erros de medida (1).

As técnicas de avaliação podem ser baseadas em níveis de composição corporal conforme proposto por Wang, 1992, e também pode ser subdividida em compartimentos que vão do modelo de 2 Compartimentos (44), passando pelo modelo de 4 Compartimentos (4C) até o modelo multicompartmentos (45).

O modelo de dois compartimentos (2C) tem sido a base do desenvolvimento da análise da composição corporal, dividindo a massa corporal em massa gorda (MG) e massa livre de gordura (MLG). No entanto possui suas limitações no que se refere a diferenciação de compartimentos como por exemplo a água corporal total, que corresponde a aproximadamente 73% da MLG, e que é dividida em água extracelular (reflete estado de hidratação) e intracelular (reflete massa celular). Já o modelo de 4C é considerado o mais acurado padrão de medida de composição corporal, pois envolve a medida da massa, volume corporal, conteúdo de água e massa óssea (1).

Dependendo da técnica de medida utilizada, diferentes compartimentos corporais em níveis de complexidade variáveis podem ser descritos. Para tanto, modelos mais complexos de análise, derivados da combinação destas técnicas tem

sido desenvolvidos para permitirem a mensuração de um maior número de compartimentos possível (46). Abaixo serão descritas as técnicas disponíveis e utilizadas em pesquisa ou na prática clínica.

A Pesagem Hidrostática é o método densitométrico mais frequentemente utilizado para determinar densidade corporal. Considerada padrão ouro no que se refere a medida da composição corporal (47), requer submersão total do sujeito em um tanque contendo água (44). O volume de água deslocado e/ou peso subaquático do sujeito, combinado com o peso da pessoa em laboratório, são utilizados para calcular a densidade de do corpo inteiro (48). Para tanto, é necessário que seja realizado jejum e o consumo de bebidas gaseificadas deve ser evitado, uma vez que o volume de ar nos pulmões e no trato gastrointestinal deve ser mínimo (47). Em estudo que utilizou esta técnica para avaliar 200 indivíduos saudáveis, encontrou como pontos de corte para o PGC 25% para homens de 45 a 49 anos e 38% para homens de 60 a 65 anos. Já nas mulheres o ponto de corte foi de 30% entre os 45 a 49 anos e de 43% entre os 55 aos 59 anos (49).

A Pletismografia por Deslocamento de Ar é também considerada um método densitométrico e tem sido utilizada como método substituto a Pesagem Hidrostática, onde o indivíduo é imergido não em água, mas sim colocado em uma câmara fechada de ar que usa a relação pressão e volume para determinar o volume corporal e a partir disto, o PGC (50). Estudo prévio demonstrou boa correlação da Pletismografia com a DXA ao avaliar o PGC de 62 homens brancos saudáveis de meia idade (51).

A Absorciometria de Raios X de Dupla Energia (DXA), método por imagem que tem sido muito utilizado em estudos transversais e atualmente é considerado a técnica de referência para avaliação da composição corporal. Apresenta uma variabilidade intra-individual de aproximadamente -3 a 4% (52). Esta técnica fornece estimativas de três componentes principais (massa mineral óssea, massa magra sem osso e massa gorda), tanto do corpo como um todo como por segmento corporal. Em estudo de validação do DXA que utilizou como padrão de referência o modelo de 4 Compartimentos (4C) em adultos jovens saudáveis, a DXA se correlacionou fortemente com o modelo de 4C, concluindo que a DXA é um instrumento acurado para estimativa de composição corporal e que sofre poucos

efeitos da variação da massa magra, hidratação e espessura corporal (53). Outro importante estudo de validação que comparou a DXA com o modelo 4C em 152 adultos saudáveis em sua maioria homens com menos de 10% de PGC, verificou que a medida que o PGC aumentava (>25% de PGC) a diferença entre os dois métodos foi menor e ainda, a DXA subestimou progressivamente o PGC no indivíduos mais magros (54). Apesar da forte correlação entre os dois métodos, foi observada uma diferença significativa de 1,8% no PGC entre os dois métodos e uma variação intra-individual do PGC entre 2,6 e 7,3%. Apesar das limitações da DXA, é inquestionável o seu papel na avaliação da composição corporal e como técnica para avaliar mudanças na composição corporal tanto total como regional (55).

A Ressonância Magnética (RM) e a Tomografia Computadorizada (TC) são métodos de imagem para avaliação quantitativa de gordura intra-abdominal e sua diferenciação entre gordura visceral e subcutânea e que fornecem resultados muito semelhantes (56). Juntamente com TC, a RM de cortes múltiplos são consideradas padrão ouro para esta finalidade (57), com a vantagem de que a RM não expõe o indivíduo a radiação. Entretanto o movimento de tecidos na cavidade intra-abdominal é um grande problema para a avaliação por RM em relação à TC (56). Outro fator ainda limitante é a falta de critérios ainda bem definidos de gordura intra-abdominal, através destes métodos, que definam riscos metabólicos. Alguns estudos vem sendo realizados com a população japonesa utilizando a TC para avaliação do conteúdo de gordura na região abdominal (58, 59, 60). Em estudo que avaliou o risco de desenvolvimento para síndrome metabólica a partir da adiposidade abdominal, encontrou como pontos de corte para determinar o risco de desenvolvimento de síndrome metabólica  $51,5\text{cm}^2$  para mulheres com idade  $\leq 56$  e de  $83,6\text{cm}^2$  para mulheres com idade maior que 56 anos. Já nos homens as medidas foram  $88,6\text{cm}^2$  e  $90,0\text{cm}^2$  para idade  $\leq 57$  anos e para maior do que 57 anos, respectivamente (59).

O modelo de 4 Compartimentos (4C) também tem sido muito utilizado como critério de referência para a avaliação da composição corporal. Este modelo divide a composição corporal em gordura, água, mineral e proteína, e é estimado através da combinação de métodos. Nestes, a gordura e massas residuais (proteínas, minerais e glicogênio) são avaliadas através da fórmula de densidade corporal pela hidrodensitometria ou pesagem hidrostática, a água corporal total é avaliada pela

diluição isotópica (deutério), a massa mineral óssea através da DXA (61, 54) e mais recentemente a proteína pode ser avaliada isoladamente pela análise de ativação de nêutrons (48).

A Bioimpedância (BIA) é um método rápido, não invasivo, com boa reprodutibilidade e relativamente barato, que mede a composição corporal através da variação de resistência encontrada através dos tecidos por uma corrente elétrica de baixa intensidade (52). Os componentes corporais avaliados são principalmente a água corporal total, gordura corporal total e massa livre de gordura (62). A precisão do método pode sofrer influências de vários fatores: temperatura do ambiente da avaliação, estado de hidratação do indivíduo, o ciclo menstrual, alimentação, prática de atividade física e consumo de álcool. Para evitar a interferência destas variáveis, um protocolo pré-avaliação deve ser seguido (63).

Outro fator que também pode interferir na acurácia da BIA é o estado nutricional. Alguns autores sugerem que a BIA é válida para IMC até  $34\text{Kg/m}^2$ , e que para indivíduos com IMC acima, a avaliação deverá ser realizada com cautela (64). Shafer et al (65) avaliou 132 adultos saudáveis e comparou o viés da BIA em relação à DXA entre as categorias de IMC (normal, sobrepeso e obesidade). Os autores observaram que o viés aumentou conforme as categorias de IMC aumentaram. Isto provavelmente se deve a uma desproporção entre a massa corporal e a condutividade corporal que diminui a acurácia da BIA em obesos, uma vez que o tronco corresponde a cerca de 50% da massa corporal e a somente 10% da condutividade corporal total (66). Ainda, a circunferência da cintura pode explicar 36% da diferença entre BIA e DXA quando analisado homens e mulheres (65).

Por outro lado, outros autores encontraram resultados opostos. Völgyi E. et al. (67) avaliaram o desempenho de 2 equipamentos de BIA (InBody 720 and Tanita BC 418 MA) usando como padrão de referência a DXA em adultos de 37 a 81 anos eutróficos, com sobrepeso e obesos e com diferentes níveis de atividade física. Os autores observaram que a diferença entre o PGC avaliado pela BIA e pela DXA foi menor entre os pacientes obesos em comparação aos pacientes eutróficos, Sun G et al. (68), por sua vez, ao analisar indivíduos saudáveis com média de idade de 42 anos observaram que a BIA superestimou o PGC naqueles com menor PGC e subestimou naqueles com maior PGC, quando comparado à DXA. Esta divergência

entre os estudos pode se dever a vários fatores como diversidade das etnias e das características clínicas dos indivíduos estudados (saudáveis ou doentes), preparo para o exame (jejum, uso de medicações), tipo de equipamento utilizado, etc. Outro aspecto a ressaltar seria a alteração das propriedades elétricas no tecido adiposo, que requerem frequências maiores do que 50kHz, ou seja, aparelhos de BIA com frequências maiores podem evitar a subestimativa decorrente disto (66).

Além destes métodos de avaliação da composição corporal, as medidas antropométricas são instrumentos importantes, úteis e de fácil aplicabilidade na prática clínica. A antropometria avalia as medidas de tamanho do corpo que são o peso, altura, circunferências e espessuras das dobras cutâneas. A partir de algumas destas medidas se obtém o índice de massa corporal (IMC), relação cintura e quadril (RCQ) e índice de conicidade (IC).

O IMC é um índice criado no século XIX por um matemático estatístico chamado Lambert Adolphe Jacques Quételet. Obtido dividindo peso pela altura ao quadrado ( $\text{Peso}/\text{Altura}^2$ ) e por isso é facilmente aplicável na prática clínica. Considerado um bom indicador de estado de saúde, o IMC possui pontos de corte bem definidos usados para classificar magreza (até  $18,4 \text{ Kg/m}^2$ ), eutrofia ( $18,5$  a  $24,9 \text{ Kg/m}^2$ ), sobrepeso ( $25,0$  a  $29,9 \text{ Kg/m}^2$ ), e níveis de obesidade que vão de 1 a 3 (a partir de  $30,0 \text{ Kg/m}^2$ ) (69). No entanto, este índice não diferencia a composição corporal no que se refere a quantidade de gordura e músculo (70).

A Circunferência da Cintura (CC) é considerada um forte preditor de DCV e seu local de medida tem variado substancialmente. No entanto, os locais mais utilizados são o ponto médio entre a última costela e a crista ilíaca e na altura da cicatriz umbilical (71). Os pontos de corte de CC que predizem risco aumentado de complicações metabólicas são 94cm para homens e 80 cm para mulheres e risco substancialmente aumentado são 102cm para homens e 88cm para mulheres (72).

A Relação Cintura Quadril (RCQ) é obtida dividindo a circunferência da cintura pela circunferência do quadril, tomada no ponto mais protuberante do quadril (72). É um índice aceitável de gordura intra-abdominal além de ser um forte preditor de DCV, uma vez que a cada 0,01 de aumento de RCQ aumenta em 5% o risco de



desenvolver DCV (73). Os pontos de corte que predizem riscos de complicações metabólicas são 0,90 e 0,85 para homens e mulheres respectivamente (72).

O índice de Conicidade é uma medida antropométrica que tem o potencial de avaliar a distribuição de gordura. Este índice se baseia na ideia de que o corpo humano tem a forma de um cilindro com acúmulo de gordura na região da cintura (74). É calculado através da seguinte equação:  $CC / 0,109 (PC / AL)$  onde CC = circunferência da cintura (m), PC = peso corporal (kg), AL = altura (m). Possui uma faixa teórica que vai de 1,00 a 1,73. Como vantagens este índice permite comparações diretas de adiposidade abdominal entre indivíduos ou mesmo entre as populações uma vez que possui um ajuste que leva em consideração a CC em relação a altura e o peso corporal (75).

O método de Dobras cutâneas (DC) é aceito como método de medida de gordura subcutânea (76). Tem sido muito utilizado para avaliar o PGC em situações clínicas, pois possui baixo custo (77). No entanto, existe a necessidade de um avaliador treinado. Existem mais de 19 lugares para se medir as dobras cutâneas e cerca de 50 equações para predizer MLG e PGC (76). Para população brasileira as equações mais utilizadas são a de Petroski (78, 79) que avaliou adultos de 18 a 61 anos e Guedes (80) que avaliou universitários de 17 a 30 anos. Outras fórmulas internacionais bastante utilizadas são as fórmulas de Jackson e Pollock (81, 82) que avaliou adultos americanos de 18 a 61 anos com variados tipos de composição corporal, estrutura corporal e nível de atividade física, e Durnin & Womersley (83) que avaliou adultos escocesses de 17 a 72 anos. Os pontos de corte de PGC pelo método das DC variam conforme a equação utilizada. Os pontos de corte mais utilizados são de 14,5 a 16% para homens e 22 a 27% para mulheres como indicativos de normalidade (84). No entanto, este método pode apresentar grande variabilidade, mesmo em indivíduos saudáveis. Um estudo que utilizou a fórmula de Durnin & Womersley, utilizando como método de referência o modelo de 4C em uma população com idade de 18 a 55 anos, mostrou que o PGC foi subestimado em cerca de 3,1% nos homens e 2,4% nas mulheres (85). No entanto, em estudo realizado por Davidson et al (86) em indivíduos saudáveis de diferentes grupos raciais, observou-se que as equações de Durnin & Womersley superestimaram o PGC tanto nos homens como nas mulheres caucasianos, quando comparadas à DXA.

## Conclusão

A presente revisão abordou os fatores que influenciam a composição corporal, a sua associação com algumas situações de risco de saúde bem como as técnicas de medida disponíveis. Alguns fatores não-modificáveis influenciam a composição corporal, como a idade e o sexo. Já a atividade física e a alimentação estão entre os fatores dependentes do indivíduo. No entanto, independentemente do fator ser ou não modificável pelo indivíduo, todos eles possuem interações. A adiposidade abdominal aumentada está claramente associada ao risco de desenvolvimento de Diabetes e DCV. Outros parâmetros utilizados na avaliação da composição corporal, como o PGC, parecem também estar associados ao desenvolvimento destas co-morbidades, mas ainda existe controvérsia. A divergência entre os resultados observados pode ser devido a variedade de populações analisadas e equipamentos/técnicas utilizados para aferir estas medidas. Várias são as técnicas de avaliação da composição corporal e todas possuem alguma limitação, cabendo ao profissional o entendimento de cada uma para que a mesma possa ser clinicamente efetiva. Apesar de muitas destas técnicas já terem sido bem validadas, muitas ainda precisam ser avaliadas em populações específicas.

## Referências

1. Lee SY and Gallagher D. Assessment methods in human body composition. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2008; 11:566–572.
2. Wang ZM, Pierson RN Jr, Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*. 1992;56:19-28.
3. Buchholz et al. Bioelectrical Impedance Models in Clinical Populations. *Nutrition in Clinical Practice*. 2004;19:433–446.
4. Rattarasarn C, Leelawattana R, Soonthornpun S, Setasuban W, Thamprasit A, Lim A, Chayanunnukul W, Thamkumpee N, Daendumrongsub T. Chayanunnukul W, Thamkumpee N, Daendumrongsub T. Regional abdominal fat distribution in lean and obese Thai type 2 diabetic women: relationships with insulin sensitivity and cardiovascular risk factors. *Metabolism*. 2003;52(11):1444-7.

5. Singh RB, Niaz MA, Beegom R, Wander GS, Thakur AS, Rissam HS. Body Fat Percent by Bioelectrical Impedance Analysis and Risk of Coronary Artery Disease Among Urban Men with Low Rates of Obesity: The Indian Paradox Journal of the American College of Nutrition. 1999;18(3): 268–273.
6. Rexrode KM. Abdominal and total adiposity and risk of coronary heart disease in men. International Journal of Obesity. 2001;25:1047-1056.
7. Tseng CH. Body Composition as a Risk Factor for Coronary Artery Disease in Chinese Type 2 Diabetic Patients in Taiwan. Circ J. 2003;67:479 –484.
8. Kyle UG, Genton L, Pichard C. Body composition: what's new? Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care. 2002;5:427-433
9. Abernathy RP and Black DR. Healthy body weights: an alternative perspective. Am J Clin Nutr. 1996;63(suppl):448S-51S.
10. Kyle UG, Genton L, Slosman DO, Pichard C. Fat-Free and Fat Mass Percentiles in 5225 Healthy Subjects Aged 15 to 98 Years. Nutrition. 2001;17:534–541.
11. Horber FF, Gruber B, Thomi F, Jensen EX, Jaeger P. Effect of sex and age on bone mass, body composition and fuel metabolism in humans. Nutrition. 1997; 13:524.
12. Júnior JCF. Associação entre Nível de Atividade Física, Composição da Dieta e Gordura Corporal em Adultos. Atividade Física e Saúde. 2001; 6(3):34-42.
13. Kuk JL, et al. Influence of sex on total and regional fat loss in overweight and obese men and women. Int J Obes (Lond). 2009;33(6):629-34.
14. Marie-Pierre S, Gallagher D. Body composition changes with aging: The cause or the result of alterations in metabolic rate and macronutrient oxidation? Nutrition. 2010;26(2):152–155.
15. Bjorntorp P. Hormonal control of regional fat distribution. Human Reproduction. 2012;12(S1):21-25.

16. Li C, Ford ES, Zhao G, Balluz LS, Giles WH. Estimates of body composition with dual-energy X-ray absorptiometry in adults. *Am J Clin Nutr.* 2009;90:1457–65.
17. Schuit AJ. Physical activity, body composition and healthy ageing. *Science & Sports.* 2006;21:209–213.
18. Kyle UG, Zhang FF, Morabia A, Pichard C. Longitudinal study of body composition changes associated with weight change and physical activity. *Nutrition.* 2006;22:1103–1111.
19. Wolfgang K, Stengel SV, Engelke K, Haberle L, Mayew JL, Kalender WA. Exercise, Body Composition, and Functional Ability: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Preventive Medicine.* 2010;38:279-287.
20. Blankson H, Stakkestad JA, Fagertun H, Thom E, Wadstein J, Gudmundsen O. Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *J Nutr.* 2000;130(12):2943-8.
21. Risérus U, Berglund L, Vessby B. Conjugated linoleic acid (CLA) reduced abdominal adipose tissue in obese middle-aged men with signs of the metabolic syndrome: a randomised controlled trial. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2001;25(8):1129-35.
22. Tapsell LC; Batterham MJ; Teuss G; Tan S-Y; Dalton S; Quick CJ; Gillen LJ and Charlton KE. Long-term effects of increased dietary polyunsaturated fat from walnuts on metabolic parameters in type II diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2009;63:1008–1015.
23. Krachler B, Eliasson M, Stenlund H, Johansson I, Hallmans G, Lindahl B. Reported Food Intake And Distribution Of Body Fat: A Repeated Cross-Sectional Study. *Nutr J.* 2006;22(5):34.
24. Bailey Bw, Sullivan Dk, Kirk Ep, Donnelly Je. Dietary Predictors Of Visceral Adiposity In Overweight Young Adults. *Br J Nutr.* 2010;103(12):1702-5.

25. Mckeown NM, Yoshida M, Shea MK, Jacques PF, Lichtenstein AH, Rogers G, Booth SL, Satzman E. Whole-grain intake and cereal fiber are associated with lower abdominal adiposity in older adults. *J Nutr.* 2009;139(10):1950-5.
26. Whitlock G, Lewington S, Sherliker P, Clarke R, Emberson J, Halsey J, et al. Body-mass index and cause-specific mortality in 900,000 adults: collaborative analyses of 57 prospective studies. *Lancet.* 2009; 373:1083-1096.
27. Shang S, Beason TS, Hunleth JM, Colditz GA. A systematic review of body fat distribution and mortality in older people. *Maturitas.* 2012;72:175–191.
28. Vague J. The Degree of Masculine Differentiation of Obesities: a factor determining predisposition to diabetes, atherosclerosis, gout, and uric calculous disease. *Am J Clin Nutr.* 1956;4(1):20-34.
29. Ohlson LO, Larsson B, Svärdsudd K, Welin L, Eriksson H, Wilhelmsen L, Björntorp P, Tibblin G. The influence of body fat distribution on the incidence of diabetes mellitus. 13.5 years of follow-up of the participants in the study of men born in 1913. *Diabetes.* 1985; 34(10):1055-8.
30. Miyazaki Y, Defrozo R. Visceral fat dominant distribution in male type 2 Diabetic patients is closely related to hepatic insulin resistance, irrespective of body type. *Cardiovascular Diabetology.* 2009;8:44.
31. Duc Son LNT, et al. Anthropometric Characteristics, Dietary Patterns and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus in Vietnam. *Journal of the American College of Nutrition.* 2005;24:229–234.
32. Mackay MF, Haffner SM, Wagenknecht LE, D’Agostino RB. Prediction of Type 2 Diabetes Using Alternate Anthropometric Measures in a Multi-Ethnic Cohort: The Insulin Resistance Atherosclerosis Study. *Diabetes Care.* 2009;32:956–958.
33. Biggs ML, Mukamal KJ, Luchsinger JA, Ix JH, Carnethon MR, Newman AB, Boer IH, Strotmeyer ES, Mozaffarian D, Siscovick DS. Association Between Adiposity in Midlife and Older Age and Risk of Diabetes in Older Adults. *JAMA.* 2010;303(24): 2504–2512.

34. Menke A, Muntner P, Wildman RP, Reynolds K, He J. Measures of Adiposity and Cardiovascular Disease Risk Factors. *Obesity*.2007;15(3):785-795.
35. Rattarasarn C, Leelawattana R, Soonthornpun S, et al. Regional abdominal fat distribution in lean and obese Thai type 2 diabetic women: relationships with insulin sensitivity and cardiovascular risk factors. *Metabolism*. 2003;52(11):1444-7.
36. Kahn HS. The “lipid accumulation product” performs better than the body mass index for recognizing cardiovascular risk: a population-based comparison. *BMC Cardiovasc Disord*. 2005;5:26.
37. Zeng Q, Dong SY, Sun XN, Xie J, Cui Y. Percent body fat is a better predictor of cardiovascular risk factors than body mass index. *Braz J Med Biol Res*. 2012; 45(7): 591-600.
38. Kim CH, Park HS, Park M, Kim H, Kim C. Optimal cutoffs of percentage body fat for predicting obesity-related cardiovascular disease risk factors in Korean adults. *Am J Clin Nutr*. 2011;94:34–9.
39. Ricciardi R, Metter EJ, Cavanaugh EW, Ghambaryan A, Talbot LA. Predicting cardiovascular risk using measures of regional and total body fat. *Applied Nursing Research*. 2009; 22:2–9.
40. Renehan AG, Tyson M, Egger M, Heller RF, Zwahlen M. Body-mass index and incidence of cancer: a systematic review and meta-analysis of prospective observational studies. *Lancet* 2008;371:569–78.
41. Calle EE, Kaaks R. Overweight, Obesity and Cancer: Epidemiological Evidence and Proposed Mechanisms. *Nature Reviews*. 2004;4:579-91.
42. Calle EE, Rodriguez C, Walker-Thurmond K, Thun MJ. Overweight, Obesity, and Mortality from Cancer in a Prospectively Studied Cohort of U.S. Adults. *N Engl J Med*. 2004;348(17):1625-1638.
43. Murphy RA, Bureyko TF, Miljkovic I, Cauley JA, Satterfield S, Hue TF, Klepin HD, Cummings SR, Newman AB, Harris TB. Association of total adiposity and computed

tomographic measures of regional adiposity with incident cancer risk: a prospective population-based study of older adults. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2014;39:687–692.

44. Behnke AR Jr, Feen BG, Welham WC. The specific gravity of healthy men. *J Am Med Assoc.* 1942;118:495–498.

45. Heyward VH, Stolarczyk LM. *Applied body composition assessment.* Champaign, IL.: Human Kinetics, 1996.

46. Woodrow G. Body composition analysis techniques in the aged adult: indications and limitations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2009;12:8–14.

47. Brodie D, Moscrip V, Hutcheon R. *Body Composition Measurement: A Review of Hydrodensitometry, Anthropometry, and Impedance Methods.* *Nutrition.* 1998;14(3): 296-310.

48. Ellis KJ. Human Body Composition: In Vivo Methods. *Physiological Reviews.* 2000; 80(2):649-680.

49. Ho-Pham LT. More on Body Fat Cutoff Points. *Mayo Clin Proc.* 2011;86(6):584-587.

50. Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med. Sci. Sports Exercise.* 1995;27:1692–1697.

51. Sardinha LB, Lohman TG, Teixeira PJ, Guedes DP, Going SB. Comparison of air displacement plethysmography with dual-energy x-ray absorptiometry and 3 field methods for estimating body composition in middle-aged men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1998;68:786 –793.

52. Bray GA, Pi-Sunyer FX, Mulder JE. Determining body composition in adults. Last literature review version 18.1: Janeiro 2010. This topic last updated: Outubro 16, 2009.

53. Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, Evans EM, Sloniger MA, Saunders M, Lewis RD. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol.* 1997;83:623-630.

54. Van Der Ploeg GEVD, Withers RT, Laforgia J. Percent body fat via DEXA: comparison with a four-compartment model. *J Appl Physiol*. 2003;94:499–506.
55. Plank LD. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin in Clin Nutr Metab Care*. 2005;8:305–309.
56. Seidell JC, Bakker CJG, Kooy K. Imaging techniques for measuring adipose-tissue distribution-a comparison between computed tomography and 1.5-T magnetic resonance. *Am J Clin Nutr* .1990;5(1):953-7.
57. Shuster A, Patlas M, Pinthus JH, Mourtzakis M. The clinical importance of visceral adiposity: a critical review of methods for visceral adipose tissue analysis. *The British Journal of Radiology*. 2012;85:1–10.
58. Tong J, Boyko EJ, Utzschneider KM, McNeely MJ, Hayashi T, Carr DB, Wallace TM, Zraika S, Gerchman F, Leonetti DL, Fujimoto WY, Kahn SE. Intra-abdominal fat accumulation predicts the development of the metabolic syndrome in non-diabetic Japanese-Americans. *Diabetologia*. 2007;50(6):1156-60.
59. Hayashi T, Boyko EJ, McNeely MJ, Leonetti DL, Kahn SE, Fujimoto WY. Minimum waist and visceral fat values for identifying Japanese Americans at risk for the metabolic syndrome. *Diabetes Care*. 2007;30(1):120-7.
60. Hayashi T, Boyko EJ, Leonetti DL, McNeely MJ, Newell-Morris L, Kahn SE, Fujimoto WY. Visceral adiposity is an independent predictor of incident hypertension in Japanese Americans. *Ann Intern Med*. 2004;140(12):992-1000.
61. Friedl KE, DeLuca JP, Marchiteii LJ, Vogel JA. Reliability of body-fat estimations from a four-compartment model by using density, body water, and bone mineral measurements. *Am J Clin Nutr*. 1992;55:764-70.
62. Kyle UG, Bosaeus I, Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, MelchiorJ, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AMWJ, Pichard C. Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*. 2004;23:1226–1243.



63. Heyward VH, & Stolarczyk LM. Avaliação da composição corporal. SP: Manole, 2000.
64. Kyle UG, Bosaeus I, Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, Melchior J, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AMWJ, Pichard C. Bioelectrical impedance analysis—part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*. 2004;23:1430–1453.
65. Shafer KJ, Siders WA, Johnson LK, Lukaski HC. Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition*. 2009;25:25–32.
66. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr*. 1996;64:449S–52.
67. Völgyi E, Tylavsky FA, Lyytikäinen A, Suominen H, Alén M, and Cheng S. Assessing Body Composition With DXA and Bioimpedance: Effects of Obesity, Physical Activity, and Age. *Obesity*. 2008;16:700–705.
68. Sun G, French CR, Martin GR, Younghusband B, Green RC, Xie Y, Mathews M, Barron JR, Fitzpatrick DG, Gulliver W, Zhang H. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population. *Am J Clin Nutr*. 2005;81:74–8.
69. WHO Expert Committee on Physical Status: the Use and Interpretation of Anthropometry. *Physical status: the use and interpretation of anthropometry: report of a WHO expert committee*. Geneva, 1995.
70. Cezar C. Alguns aspectos básicos para uma proposta de taxionomia no estudo da composição corporal, com pressupostos em cineantropometria. *Rev Bras Med Esporte*. 2000;6(5):188-193.
71. Ross R, Berentzen T, Bradshaw AJ et al. Does the relationship between waist circumference morbidity and mortality depend on measurement protocol for waist circumference? *Obesity Reviews*. 2008; 9(4):312-325.

72. WHO. Waist circumference and waist-hip ratio: report of a WHO expert consultation, Geneva, 2008.
73. Koning L, Merchant AT, Pogue J, Anand SS. Waist circumference and waist-to-hip ratio as predictors of cardiovascular events: meta-regression analysis of prospective studies. *European Heart Journal*. 2007; 28:850–856.
74. Costa, RF ; Caranti, DA ; Bohme, MTS. Conicity index of the adult population of Santos city, Brazil. *International Journal Of Obesity*. 2008;32:S206-S206.
75. Valdez, R., et al. A new index of abdominal adiposity as na indicator of risk for cardiovascular disease. A cross-population study. *International Journal of Obesity*. 1993;17:77-82.
76. Wang J, Thornton JC, Kolesnik S, Pierson RN Jr. Anthropometry in body composition. An overview. *Ann N Y Acad Sci*. 2000;904:317-26.
77. Monteiro AB, Fernandes Filho JF. Análise da composição corporal: uma revisão de métodos. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*. 2002; 4(1):80-92.
78. Petroski EL, Pires-Neto CS. Validação de equações antropométricas para a estimativa da densidade corporal em mulheres. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde*. 1995;2(1):65-73.
79. Petroski EL, Pires-Neto CS. Validação de equações antropométricas para a estimativa da densidade corporal em homens. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde*. 1996;1(3):5-14.
80. GUEDES DP. Estudo de gordura corporal através da mensuração de valores da densidade corporal e da espessura de dobras cutâneas em universitários. *Kinesis*. 1985;1(2):183-212.
81. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*. 1978; 40(3):497-504.
82. Jackson AS, Pollock ML, Ward ANN. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*. 1980;12(3):175-82.

83. Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 1974;32(1): 77-97.
84. Lohman, TG. *Advances in Body Composition Assessment. Current Issues in Exercise Science.* Champaign, Illinois: Editora Human Kinetics Publishers, 1992.
85. Peterson MJ, Czerwinski SA, Siervogel RM. Development and validation of skinfold-thickness prediction equations with a 4-compartment model. *Am J Clin Nutr.* 2003; 77:1186-91.
86. Davidson LE, Wang J, Thornton JC, Kaleem Z, Silva-Palacios F, Pierson RN, Heymsfield SB, Gallagher D. Predicting Fat Percent by Skinfolds in Racial Groups: Durnin and Womersley Revisited. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(3):542–549.

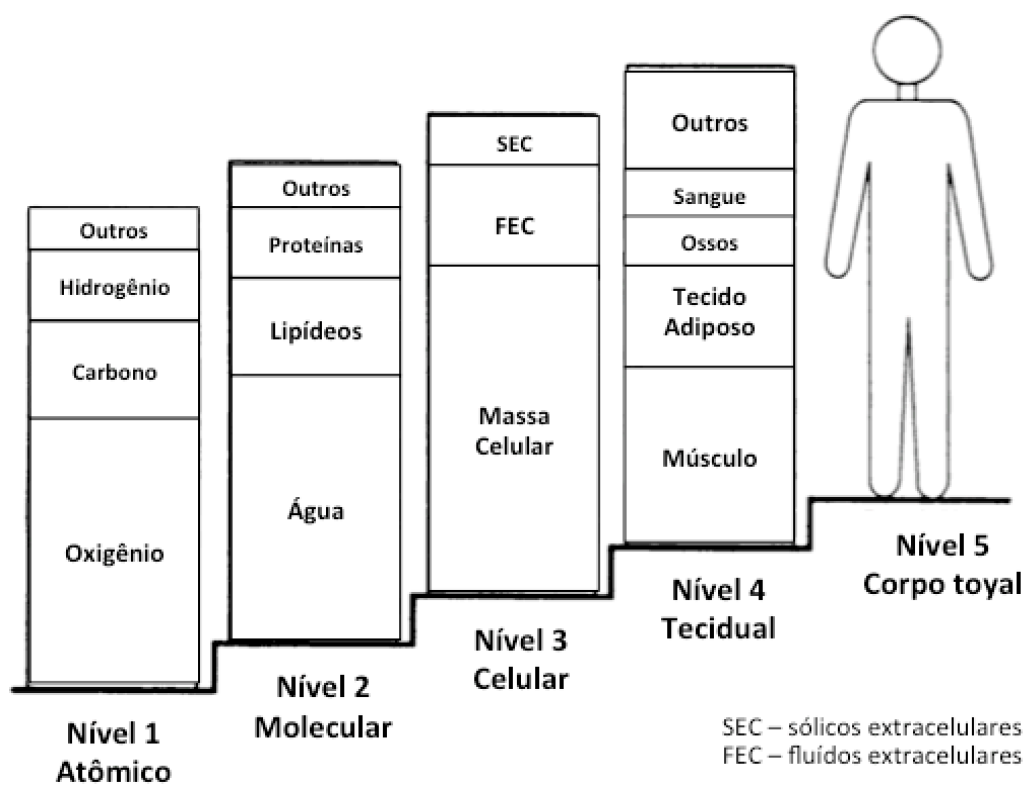


Figura 1. Os 5 níveis de composição corporal. Adaptado de Wang,1992 (2)

## **Capítulo II**

### **Artigo Original**

**Evaluation of Body Composition by Bioimpedance and Skinfold Thickness in Patients with Type 2 Diabetes: a study of diagnostic accuracy.**

**EVALUATION OF BODY COMPOSITION BY BIOIMPEDANCE AND SKINFOLD THICKNESS IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: A STUDY OF DIAGNOSTIC ACCURACY.**

Running title: Body Composition Methods in Type 2 Diabetes

Gabriela B Bello,

Cristina Pavinatto,

Camila Kummel,

Pamela Graciano,

Mirela Jobim de Azevedo,

Themis Zelmanovitz

**Address for correspondence and reprint requests:** Themis Zelmanovitz, Serviço de Endocrinologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Rua Ramiro Barcelos, 2350/ Prédio 12 - 4º andar CEP 90035-003 - Porto Alegre - RS, Brazil.

Phone/Fax: (55-51) 3359.8127 / 3331.3312

E-mail: [themis.voy@terra.com.br](mailto:themis.voy@terra.com.br)

## Abstract

**Objective.** To evaluate the performance of bioimpedance (BIA) and skinfold thickness as methods to estimate percentage body fat (PBF) in patients with Type 2 diabetes, comparing them to Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA), as a reference standard. **Research Design and Methods.** In this study of diagnostic accuracy, the patients were submitted to evaluation of body composition with BIA (InBody 230, Biospace, Korea), skinfold thickness (Lange caliper) and DXA (Lunar - iDXA). PBF estimated by skinfold thickness was calculated with three equations: Petroski, Durnin & Womersley (DW) gender-adjusted and DW age-adjusted. Clinical evaluation consisted of the metabolic (glycemic and lipid profile) and blood pressure control, as well as the search for diabetic chronic complications. **Results.** One hundred and thirty-three patients were evaluated (76 women; age:  $63.6 \pm 9.1$  years, duration of diabetes:  $15.5 \pm 10.3$  years; body mass index [BMI]:  $29.2 \pm 3.6$  kg/m<sup>2</sup>). PBF estimated by DXA was  $42.4 \pm 4.8\%$  in women and  $31.1 \pm 4.7\%$  in men ( $p < 0.001$ ). The correlation of the PBF estimated by BIA and by skinfold thickness with that estimated by DXA was, respectively, 0.93 ( $p < 0.001$ ) and 0.81 ( $p < 0.001$ ). BIA underestimated the PBF at  $1.4 \pm 3.2$  ( $p < 0.05$ ) in women and  $2.3 \pm 3.3\%$  ( $p < 0.05$ ) in men, compared to DXA, and these differences were less pronounced in patients with BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> (Bland-Altman Plots). PBF calculated by Petroski's equations was underestimated in  $3.7 \pm 4.0\%$  [ $p < 0,05$ ] in women and  $1.55 \pm 3.8\%$  [ $p < 0,05$ ] in men; and overestimated in  $1.8 \pm 4.5\%$  [ $p < 0,05$ ] when calculated using DW equations age-adjusted only in women. The area under the ROC curves for BIA as a method to identify patients with increased PBF was 0.945 ( $p < 0.001$ ) in women and 0.897 ( $p < 0.001$ ) in men. The area under the ROC curves for skinfold thickness varied from 0.611 to 0.673 (all  $p > 0.05$ ) in women and was 0.960 (all  $P < 0,05$ ) in men. **Conclusion.** In patients with type 2 diabetes, both BIA and skinfold thickness underestimated PBF, when compared to DXA, at values that ranged from 1.4 to 2.3% and 1.5 to 4.5%, respectively. BIA was accurate in both sexes as a method to estimate PBF and to identify patients with increased PBF. On the other hand, PBF estimated by skinfold thickness was similarly accurate, but only in males.

**keywords:** Body fat, Type 2 Diabetes, Bioelectrical Impedance, percentage body fat

## Introduction

Diabetes is currently one of the most common non-transmissible diseases, and is one of the main causes of death in developed countries (1). Despite the advances of pharmacological treatment and the aggressive and multifactorial approach in patients with Type 2 Diabetes, the incidence of cardiovascular disease (CVD) continues to be high (2), and it is the cause of most deaths in these patients (3). The development of diabetes (4) and of CVD (5) have been associated with anthropometric characteristics, including the increase in body fat and waist circumference, the latter reflecting the abdominal fat accumulation.

Regarding anthropometric measures, BMI has been recommended by World Health Organization (WHO) because it is fast and with no cost (6). However its use to estimate body fat is limited (7). Skinfold thickness appears to be correlated with Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA, as a reference method) to estimate body fat in healthy non-obese individuals (8). However, it presents many limitations like the inter-observer variability, not advisable for use in individuals with a BMI greater than  $35\text{Kg/m}^2$  and to measure only the thickness of subcutaneous fat, but does not evaluate visceral adiposity.

Among the available methods to evaluate body composition, bioimpedance (BIA) has often been used in clinical practice, especially because it is a quick and non-invasive method, with good reproducibility and relatively cheap. It measures body composition through the variation of resistance found by a low intensity electric current (9). This technique has already been validated previously in normal individuals (10,11,12). However, in patients with type 2 diabetes, little has been studied regarding its accuracy (13). Previously, Tsui et al observed a strong correlation between estimation of body fat using BIA and DXA. Despite this, the authors observed that BIA overestimated the percentage body fat (PBF) by 5% in women, and underestimated it in men by about 10% (13).

Depending on the technique used, the estimation of body fat may present an intra-individual variability which could be 0.3-4.1% (BIA) (14,15), 2.2% (DXA) (14), and up to 5% (skinfold thickness) (16) in normal individuals. Furthermore, the measurement of PBF is influenced by various factors. In the case of BIA, it can be



influenced by the excessive accumulation of abdominal fat (12), change in hydration, prior consumption of alcoholic beverages and food (17).

Patients with type 2 diabetes present some peculiarities regarding body composition that distinguish them from patients without diabetes, like a greater accumulation of fat mass and lean mass in the abdominal region and a smaller amount of these two tissues in the legs (18). Furthermore, the frequent use of diuretics and hyperglycemia are factors that can potentially interfere in the state of hydration and compromise the accuracy of the BIA as a method to estimate body fat in these patients. Therefore, this study aimed to evaluate BIA and skinfold thickness as methods to estimate body fat in patients with type 2 diabetes, comparing them to DXA as a reference standard.

## **Patients and Methods**

This is a study of diagnostic accuracy to evaluate two methods of body composition (bioimpedance and skinfolds thickness) comparing them to DXA, as a reference method. The STARD (Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy) Protocol (19) was followed to perform the study.

### Patients

Consecutive type 2 diabetic patients attending the Diabetic outpatient clinic from Southern Brazil at Hospital de Clínicas de Porto Alegre were recruited from 2012 to 2013. Patients above the age of 75 years, with BMI  $\geq 40$  kg/m<sup>2</sup>, serum creatinine values  $> 1.5$  mg/dl or glomerular filtration rate  $< 30$  ml/min/m<sup>3</sup> (Stage 3 Chronic Kidney Disease) and uncompensated heart failure were excluded from the study. Informed consent was obtained from each patient and the Ethics Committee approved the protocol.

### Clinical and Anthropometric Evaluation

The clinical evaluation consisted of analyzing metabolic (glycemic and lipid profile) and blood pressure control and detecting diabetic chronic complications. The kidney function was evaluated by serum creatinine and measurement of urinary albumin concentration in a random sample of sterile urine (20). Glomerular Filtration Rate (GFR) was estimated by the CKD-EPI (*Chronic Kidney Disease Epidemiology*

*Collaboration*) equation (21).

The anthropometric evaluation consisted in measuring weight (in light clothes and without shoes), height, abdominal circumference (measured at the mid point between the last rib and the iliac crest), and the hips (measured at the site of greatest prominence of the gluteal region) (22), and skinfolds thickness to evaluate the PBF. For these measures a balance beam scale calibrated in kilograms, stadiometer, non-elastic meter and scientific skinfold caliper, manufactured by Lange (Cambridge Scientific Industries, Cambridge, Maryland), were used.

Blood samples were collected after a 12-hour overnight fast. Plasma glucose and serum lipids were determined by enzymatic methods and creatinine by the Jaffe reaction traceable to IDMS.9 (Advia® 1800, Siemens Healthcare, Munich, Germany). Low-density lipoprotein (LDL) cholesterol was calculated using the Friedewald formula. Glycated hemoglobin was determined by HPLC method (Variant II Turbo HbA1c, BioRad Laboratories, Hercules, CA, USA). This method is a National Glycohemoglobin Standardization Program (NGSP) certified method (<http://www.ngsp.org/prog/index.html>) and it is aligned to the International Federation of Clinical Chemistry reference method. Urinary albumin was measured in sterile urine samples by immunoturbidimetry (Advia® 1800, Siemens Healthcare, Munich, Germany).

#### Body Composition Evaluation

The patients' body composition was evaluated by 3 methods: DXA, BIA and skinfold thickness. The patients were submitted to all 3 exams on the same day, in the visit to the hospital. DXA was adopted as the reference standard. This method is based on attenuating signals from two energy sources, providing a model with three body composition compartments. It presents an intra-individual variability of approximately 3 to 4% (23). The equipment used in the study was Lunar iDXA (General Electric) of the Radiology Service at Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA). Calibrations of this equipment are part of the quality routine at HCPA. The information supplied in the exam is: body mineral composition, lean mass, total mass and percentage of body fat, all of them measured by segment (Right and Left arms, Right and Left legs, trunk and total value). The exam was performed by the trained

radiology technician, who did not know the BIA and skinfold thickness results. The cutoff points of PBF estimated by DXA method were based on the study of Li et al (24). In this study the PBF was defined as adequate based on a corresponding BMI < 25Kg/m<sup>2</sup> and the values were determined according to sex and age: 23.6 % and 25.9% for men aged 40 to 59 and 60 to 79 years respectively; and 34.4% and 36.9% for women aged 40 to 59 and 60 to 79 years, respectively.

BIA was performed using the Inbody 230 (Biospace Co. Ltd., Seoul, Korea) that operated at frequencies of 20 kHz and 100KHz. The patients positioned themselves standing on a platform with 8 points of tactile electrodes in contact with the bare feet and with the hands. The analyses lasted on average 30 seconds. The body was analyzed in five segments: arms (right and left), legs (right and left) and trunk. BIA was performed by the researchers CP and CKD, who were blind to the results of DXA. In order to perform the BIA, the patients fasted for 8 hours, spent 24 hours without performing any physical activity and without drinking any caffeinated beverages, 48 hours without alcoholic beverages and urinated 30 min before the test. The patients were asked to take the day's medications after the test.

The skinfold thickness were measured by a trained researcher (GB) who was blind to the BIA and DXA results, using the Lange caliper (Cambridge Scientific Industries, Cambridge, Maryland). Two non-consecutive measurements of the following skinfolds were performed: triceps, biceps, subscapular, supra-iliac, supra-spinal, abdomen, thigh and calf, according to previously standardized procedures (25). If there was more than 2mm difference between the first and the second measurement, a third one was performed. The Siri equation was adopted to estimate the PBF by skinfold thickness ( $PBF = [495/D] - 450$ ) (26), and to determine body density three equations were adopted, the Durnin & Womersley (DW) gender-adjusted equation, the DW age-adjusted equation (27), and the Petroski equation (28, 29) described below:

#### Durning & Womersley gender-adjusted equation

$$D_{\text{men}} = 1.1765 - 0.0744 \times \text{Log}_{10}(X4)$$

$$D_{\text{women}} = 1.1567 - 0.0717 \times \text{Log}_{10}(X4)$$

X4 = total sum of skinfolds: Subscapular, Tricipital, Biceps and Supra-iliac

### Durning & Womersely age-adjusted equation

$$D_{\text{men}} \text{ 30 to 39 years} = 1.1422 - 0.0544 \times \text{Log}_{10} (X4)$$

$$D_{\text{men}} \text{ 40 to 49 years} = 1.1620 - 0.0700 \times \text{Log}_{10} (X4)$$

$$D_{\text{men}} >50 \text{ years} = 1.1715 - 0.0779 \times \text{Log}_{10} (X4)$$

$$D_{\text{mulheres}} \text{ 30 to 39 years} = 1.1423 - 0.0632 \times \text{Log}_{10} (X4)$$

$$D_{\text{women}} \text{ 40 to 49 years} = 1.1333 - 0.0612 \times \text{Log}_{10} (X4)$$

$$D_{\text{women}} >50 \text{ years} = 1.1339 - 0.0645 \times \text{Log}_{10} (X4)$$

X4 = total sum of skinfolds: Subscapular, Tricipital, Biceps and Supra-iliac

### Petroski equation

$$D_{\text{men}} = 110726863 - 000081201 (X4) + 00000212 (X4)^2 - 000041761 (\text{Age})$$

$$D_{\text{women}} = 102902361 - 000067159 (X4) + 000000242 (X4)^2 - 000026073 (\text{Age}) - 000056009 (\text{Weight}) + 000054649 (\text{Height})$$

X4 = total sum of skinfolds: Subscapular, Tricipital, Supra-iliac and Calf

### Statistical Analysis

Pearson or Spearman correlation coefficients were used for testing the relationships between estimated PBF by BIA and skinfold thickness and PBF by DXA. The Student t or Mann-Whitney test for independent continuous variables and the Exact Fisher or Chi-Square test for categorical variables were applied as indicated. Bland-Altman plots demonstrated general agreement among methods for estimated PBF (30).

In order to analyze the performance of BIA and skinfolds thickness to determine an increased PBF, ROC curves were constructed. The reference standard used was PBF estimated by DXA adopting cutoff points already previously described. The areas under the ROC curve of the plots that determine the accuracy of tests that are being studied were calculated. The estimated area ranges from 0.5 (no apparent accuracy) to 1.0 (perfect accuracy) as the ROC curve moves toward the left and top boundaries of the ROC graph. The cutoff point chosen for each test was the diagonal point closest to the 100% - 100% intersection which represents the best balance between sensibility and specificity.

*P* values < 0.05 were considered significant. Results were expressed as mean  $\pm$  SD or median (range). SPSS software (version 18.0; SPSS, Chicago, IL) was used for the analyses. To compare ROC curves, MEDCALC software (Version 13.1.2, Ostend, Belgium) was used.

## Results

### Clinical and anthropometric characteristics

One hundred and thirty-three patients with type 2 diabetes were evaluated, 57 men and 76 women, mean age  $63.6 \pm 9.1$  years. The clinical characteristics of the patients are described in **Table 1**. The women had longer diabetes duration, and had higher total cholesterol, HDL and triglyceride values, worse glycemic control and higher GFR compared to the men.

The anthropometric characteristics of the patients are shown in **Table 2**. The women presented a higher BMI and greater proportion of patients with Grade I obesity compared to the men. When the body fat was evaluated, women presented higher absolute and percentage values compared to the men, as already expected.

### Comparison between PBF estimation methods

When the PBF was analyzed using the three techniques, it was observed that BIA presented significantly lower values than DXA, both in men and in women. The mean difference of the PBF between the two techniques was  $2.3 \pm 3.3\%$  in the men and  $1.4 \pm 3.2\%$  in the women. As to PBF measured by skinfold thickness, it was observed that the values estimated by the Petroski and DW gender-adjusted equations were also significantly lower than DXA, both in men and in women. However, PBF estimated by the DW age-adjusted equation were significantly higher than the DXA values in women (**Table 2**).

The correlation between the PBF estimated by BIA and by DXA was significant in the entire group ( $r=0.93$ ;  $p<0.001$ ), and also when analyzed in men ( $r=0.81$ ;  $p<0.001$ ) and in women ( $r=0.87$ ;  $p=0.001$ ) separately (**Table 3 and Figure 1**). The same was observed as to the correlation between PBF estimated by skinfold thickness and that estimated by DXA in the entire group (Petroski:  $r=0.806$ ;  $p<0.001$ ; DW gender-adjusted:  $r=0.813$ ;  $p<0.001$ ; DW age-adjusted:  $r=0.813$ ;  $p<0.001$ )

(Figure 1). When the patients are separated according to gender, the correlations remained significant, but became weak, especially in the women. The respective values are expressed in Table 3.

Figure 2 shows the Bland-Altman plots for comparison between the values of PBF estimated by BIA and DXA. When the patients were separated according to BMI (BMI < and  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>), it was observed that the mean bias between the values of PBF estimated by BIA and DXA was 2.6%  $\pm$  3.3 (p<0.001) in all patients with BMI < 30 kg/m<sup>2</sup>. This bias was 2.7%  $\pm$  2.4 (p<0.001) in men and 2.5%  $\pm$  3.1 (p<0.001) in women, without a difference between them (p=0.8). In the patients with BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>, the bias between BIA and DXA was not significant, and it was 0.6%  $\pm$  2.8 (p=0,1) in all the patients, 1.1  $\pm$  2.8 (p=0.1) in men and 0.4  $\pm$  2.9 (p=0.4) in women (men vs. women: p=0.4). When men with a BMI < 30 kg/m<sup>2</sup> were compared to those with BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>, no difference was observed in the bias between BIA and DXA (p=0.1). On the other hand, among women the bias was significantly different between those with BMI < 30 Kg/m<sup>2</sup> and >30 Kg/m<sup>2</sup> (p=0.004).

Figures 3, 4 and 5 show the Bland-Altman plots for comparison between the values of PBF estimated by skinfold thickness and DXA. It was observed that in men, the equation with the least bias was DW age-adjusted for the patients with BMI < 30 kg/m<sup>2</sup> (p<0.001) and Petroski's equation for patients with BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> (p<0.001). In women with BMI < 30 kg/m<sup>2</sup> the equation with the least bias was DW gender-adjusted (p<0.001). On the other hand, for those with BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>, it was the DW equation age-adjusted.

#### Analysis of the ROC Curves

Figures 6 and 7 show the ROC curves of BIA and of the three skinfold thickness equations to determine an increased PBF. The area under the ROC curve of BIA was 0.897 (p<0.001) in the men and 0.945 (p<0.001) in the women. The cutoff point of equilibrium between sensitivity and specificity in the men was 26.5% (sensitivity=81.3%; specificity=88.9%) and in the women, 35.7% (sensitivity=89.6%; specificity=88.9%).

When the performance of the three skinfold thickness equations was evaluated to determine an increased PBF, it was observed that the three equations

presented an area under the ROC curve of 0.960 in the men. In women, the Petroski's, DW gender-adjusted and DW age-adjusted equations presented, respectively, the following area under the ROC curves: 0.673, 0.633, 0.611.

#### Factors associated with the bias between Bioimpedance and Densitometry

When the association of the bias between BIA and DXA and the clinical, laboratory and anthropometric characteristics were analyzed, it was found that the former was positively correlated with the time of duration of the diabetes ( $r= 0.280$ ;  $p=0.01$ ) and negatively with the BMI ( $r= -0.439$ ;  $p<0.001$ ) only in the women. There was also a tendency to inversely correlate with the PBF measured by DXA ( $r= -0.216$ ;  $p=0.061$ ) and with the abdominal circumference ( $r= -0.221$ ;  $p=0.077$ ). No correlation was found with age, glycemia, glycated hemoglobin or GFR. In men no correlation was found with any of the variables analyzed. Also, no difference was found in the bias between BIA and DXA when patients using diuretics or not were compared, both in men and in women. In a multiple linear regression analysis, the negative association of the bias between BIA and DXA (dependent variable) with the BMI ( $r^2$  of model=0.3;  $p<0.001$ ; standardized coefficient  $\beta=-0.731$ ;  $p<0.001$ ) was confirmed, adjusting for the time of duration of the diabetes and for the abdominal circumference in the women. In another model, including PBF instead of BMI, the association with the bias between BIA and DXA was not confirmed.

#### **Discussion**

In the present study it was observed that the BIA presented a strong correlation with DXA and had an excellent accuracy to detect an increased PBF in patients with Type 2 diabetes. However, the BIA underestimated the PBF by approximately 2.3% in the men and 1.4% in the women, compared to DXA. This underestimation was greater among the normal and overweight patients and was attenuated among obese ones. Although it was significant, this difference between BIA and DXA is considered acceptable according to Lohmann's criteria (classified as excellent difference  $\leq 2.5\%$ ) (31).

Several studies evaluated the accuracy of BIA to determine PBF in normal individuals, using DXA (14, 32, 33) or the model of 4 compartments (34) as reference methods. However, there were some divergences. Völgyi E. et al (14) evaluated the

performance of 2 BIA devices (InBody 720 and Tanita BC 418 MA) in adults from 37 to 81 years who were normal, overweight and obese, and with different levels of physical activity. The authors observed that the two BIA devices underestimated the PBF values in men with a normal BMI and overweight and in women with all categories of BMI from 2 to 6%. In addition, the difference between PBF evaluated by BIA and DXA was lower among obese individuals compared to the-normal weight ones, a result similar to that shown in the present study. When evaluating the performance of BIA using the InBody 720 and 320 equipment, Gibson AL et al (34) also observed that the PBF was underestimated by 2.5-3.0% in the women. However, Ling et al (32) found different results. When evaluating the accuracy of BIA with similar equipment (InBody 720) to that used in this study, these authors observed that BIA overestimated PBF by 1.2% in the women and 2.6% in the men. Further, this overestimation was greater in individuals with higher BMI. Sun G et al (33), in turn, on analyzing healthy individuals with a mean age of 42 years, observed that BIA overestimated PBF in those with a lower PBF and underestimated those with a higher PBF, compared to DXA. This divergence between the studies may be due to several factors such as different ethnicities, the clinical characteristics of the studied individuals (healthy or not), preparation for the exam (fasting, use of medications), type of equipment used, etc. Another aspect to be highlighted would be the change in the electrical properties of the adipose tissue that require higher frequencies than 50kHz, ie., BIA equipment with higher frequencies may prevent the resulting underestimation (35).

There are few data about BIA as a method to estimate PBF in patients with diabetes. A previous study that evaluated the performance of BIA compared with DXA in patients with type 2 diabetes, found that BIA underestimated the PBF ~ 10% in men and overestimated it ~ 5% in women, with a correlation of 0.89 between the PBF estimated by BIA compared to DXA (13). The patients in this study were younger, but presented a BMI and glycemic control similar to that of the patients in our study. Possibly the greatest bias between BIA and DXA observed in the study compared to ours can be explained because it was done with a device containing only 2 electrodes in each of the feet and applied only 1 current frequency (50Hz).

The bias between the PBF estimated by BIA compared to DXA in patients with type 2 diabetes could be explained by a possible change in the hydration conditions,



associated with bad glycemic control or the use of diuretics (9, 17). However, in this study the patients presented reasonable glycemic control and no association was found between the use of diuretics and the difference observed between BIA and DXA. In addition, these situations would probably be associated with overestimation and not underestimation, as observed in the present study.

In this study it was observed that the underestimation of PBF by BIA was smaller in both male and female patients with obesity. Further, the main factor associated with the bias between BIA and DXA was BMI, ie., the higher the BMI the smaller the bias. A similar finding was described in a study that evaluated the performance of BIA in 103 healthy patients with overweight and obesity, and showed that this method had a good predictive value to classify obese subjects compared to DXA (36). On the other hand, Shafer et al (12), evaluating 132 healthy adults and comparing the bias of BIA in relation to DXA among the categories of BMI (normal, overweight and obesity), found that the bias increased as the BMI categories did, but the lowest bias was found among the patients who were overweight. Besides, an important review published by Kyle et al (17) concluded that BIA is valid for BMI up to 34 Kg/m<sup>2</sup>, and that for individuals with a BMI above this, the evaluation must be cautiously performed. This is probably due to a disproportion between the body mass and body conductivity which diminishes the accuracy of BIA in the obese, since the trunk corresponds to about 50% of the body mass but to only 10% of the total body conductivity (37). Moreover, the abdominal circumference may explain for 36 % of the difference between BIA and DXA when men and women are analyzed (12).

Although variations of less than 2.5% between DXA and BIA are considered acceptable, and the BIA itself has an intra-individual coefficient of variation of 0.3-4.1% (14,15), it should be emphasized that some studies suggest that a 1% increment in PBF may be associated with an increase in the risk of developing CVD in about 2% in special populations (38). Thus, the adoption of measures that can minimize this variability is important to optimize the accuracy of the method, as for instance, to follow the pre-test protocol adequately, use the same equipment and perform the measurements always under the same environmental conditions including the same time of day (17).

Regarding the skinfold thickness equations to estimate PBF in this study, all of them had a good performance and accuracy in men to identify increased PBF (area under the ROC curves of approximately 0.9), but not in women (area under the ROC curves of approximately 0.6 and not significant). Both the Petroski's and the DW gender-adjusted equations underestimated the PBF of 1.6 % to 4.5 % in men and in women, while the DW age-adjusted equation had an overestimation of 1.8% in women. Other studies that evaluated the skinfold thickness equations, comparing them to DXA or the model of 4C, were performed only on healthy individuals and found varied results. A study that compared the DW age-adjusted equation with the model of 4C as a reference method, in individuals aged 18 to 55 years, showed that PBF was underestimated by about 3.1% in men and 2.4% in women (39). On the other hand, in a study performed by Davidson et al (40) on individuals from different racial groups, it was observed that the DW equations overestimated the PBF in Caucasian men and women, especially the DW age-adjusted equation, compared to DXA. Furthermore, the authors observed that the DW equations do not estimate PBF uniformly in all racial groups. The discrepancy in the findings may be explained by the differences in the studied populations (ethnicity, age, etc.) and also in the reference methods among the studies. Concluding, one might consider that the equations with skinfold thickness can be used to estimate PBF in men with type 2 diabetes, but one must better evaluate the choice of equation according to patient ethnicity, age and BMI.

One possible limitation of the present study was the use of DXA as a reference method, since the evaluation using this method can vary according to the device brand and the variation of PBF (the higher the PBF, the smaller the difference between DXA and the model of 4C, progressively underestimating PBF in thinner individuals) (41). Furthermore, some authors suggest that DXA can overestimate PBF. Besides variations in hydration, lean mass and body thickness may contribute to the variability of DXA results (42).

The number of skinfold thickness performed may have been another limitation of this study, because if skinfold thickness were measured at more anatomical points we might have been able to use other equations and maybe increasing the accuracy of this method, especially in women.

## Conclusion

This study evaluated BIA and skinfold thickness as methods to estimate PBF in patients with type 2 diabetes, comparing them to DXA. BIA presented a good accuracy to identify patients with increased PBF. Comparing to DXA, it significantly underestimated PBF (up to 2.7%) but with an acceptable difference. Interestingly, this underestimation seems to be attenuated with increasing weight. Regarding skinfold thickness, they proved adequate only for men. There are a great variety of equations and anatomical points to measure the skinfolds and, therefore, further studies using different equations could be valid.

## Disclosure

All authors have no conflict of interest to declare.

**Sources of Support:** FIPE- Hospital de Clínicas de Porto Alegre; CAPES; CNPq; Propesq- Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## References

1. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 6th ed. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation, 2013. <http://www.idf.org/diabetesatlas>. Acessado em 05 de abril de 2014.
2. Gaede P, Lund-Andersen H, Parving HH, Pedersen O. Effect of a multifactorial intervention on mortality in type 2 diabetes. *N Engl J Med*. 2008;358:580-591.
3. Solano MDP, Goldberg RB. Management of Diabetic Dyslipidemia. *Endocrinol Metab Clin N Am*. 2005;34:1-25.
4. Koh-Banerjee P. Changes in Body Weight and Body Fat Distribution as Risk Factors for Clinical Diabetes in US Men. *Am J Epidemiol*. 2004;159:1150-1159.
5. Winter Y et al. Contribution of Obesity and Abdominal Fat Mass to Risk of Stroke and Transient Ischemic Attacks. *Stroke*. 2008;39:3145-3151.

6. WHO Expert Committee on Physical Status: the Use and Interpretation of Anthropometry Physical status: report of a WHO expert committee. Geneva, 1995.
7. Frankenfield DC, Rowe WA, Cooney RN, Smith SJ, Becker D. Limits of body mass index to detect obesity and predict body composition. *Nutrition*. 2001;17:26-30.
8. Erselcan T, Candan F, Saruhan S, Ayca T. Comparison of Body Composition Analysis Methods in Clinical Routine. *Ann Nutr Metab*. 2000;44:243-248.
9. Stolarczyk, LM, Heyward VH. Assessing Body Composition of Adults with Diabetes. *Diabetes Technology & Therapeutics*. 1999;1(3):289-96.
10. Nunez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z, Heymsfield SB. Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1997;29:524–531.
11. Sakamoto Y, Miura J, Yamaguchi Y, Ohno M, Ikeda Y. Usefulness of bioelectrical impedance analysis for measurement of body fat. *Int J Obesity*. 1994;18(suppl 2): 501.
12. Shafer KJ, Siders WA, Johnson LK, Lukaski HC. Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition*. 2009;25:25–32.
13. Tsui EYL, Gao XJ, Zinman B. Bioelectrical impedance analysis (BIA) using bipolar foot electrodes in the assessment of body composition in type 2 diabetes mellitus. *Diabetic Med*. 1998;15:125-128.
14. Völgyi E, Tylavsky FA, Lyytikäinen A, Suominen H, Alén M, and Cheng S. Assessing Body Composition With DXA and Bioimpedance: Effects of Obesity, Physical Activity, and Age. *Obesity*. 2008;16:700–705.
15. Pichard C, Kyle UG, Bracco D, Slosman DO, Morabia A, and Schutz Y. Reference Values of Fat-Free and Fat Masses by Bioelectrical Impedance Analysis in 3393 Healthy Subjects. *Nutrition*. 2000;16:245–254.
16. Wilmore JH, Stanforth PR, Domenick MA, Gagnon J, Daw EW, Leon AS, Rao

DC, Skinner JS and Bouchard C. Reproducibility of anthropometric and body composition measurements: the HERITAGE Family Study. *International Journal of Obesity*. 1997;21:297-303.

17. Kyle UG, Bosaeus I, Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, Melchior J, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AMWJ, Pichard C. Bioelectrical impedance analysis—part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*. 2004;23:1430–1453.

18. Heshka S; Ruggiero A; Bray GA; Foreyt J; Kahn SE; Lewis CE; Saad M; Schwartz AV. Altered body composition in type 2 diabetes mellitus. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32(5):780-7.

19. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig LM, et al. The STARD statement for reporting studies of diagnostic accuracy: explanation and elaboration. *Clin Chem*. 2003;49:7–18

20. Gross JL, Zelmanivitz T, Oliveira J, Azevedo MJ. Screening for diabetic nephropathy: is measurement of urinary albumin-to-creatinine ratio worthwhile? *Diabetes Care*. 1999;22:1599-600.

21. Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, Zhang YL, Castro AF, Feldman HI, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate. *Ann Intern Med*. 2009;150(9):604-12.

22. World Health Organization. Waist circumference and waist–hip ratio: report of a WHO expert consultation, Geneva, December 2008.

23. LaForgia, J, Dollman, J, Dale, MJ, et al. Validation of DXA body composition estimates in obese men and women. *Obesity*. 2009;17:821.

24. Li C, Ford ES, Zhao G, Balluz LS, Giles WH. Estimates of body composition with dual-energy X-ray absorptiometry in adults. *Am J Clin Nutr*. 2009;90:1457–65.

25. Harrison, GG.; Buskirk, ER.; Carter, JEL., et al. Skinfold thicknesses and measurement technique. In: Lohman, TG.; Roche, AF.; Martorell, R., editors.

Anthropometric Standardization Reference Manual. Champaign (IL): Human Kinetics; 1988. p. 55-70.

26. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of method. In: Brozek J, Henschel A, eds. Techniques for measuring body composition. Washington, DC: National Academy of Sciences. 1961:223–44.

27. Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 1974;32(1):77–97.

28. Petroski EL, Pires-Neto CS. Validação de equações antropométricas para a estimativa da densidade corporal em mulheres. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde.* 1995;2(1):65-73.

29. Petroski EL, Pires-Neto CS. Validação de equações antropométricas para a estimativa da densidade corporal em homens. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde.* 1996;1(3):5-14.

30. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307–10.

31. Kim CH, Park HS, Park M, Kim H, Kim C. Optimal cutoffs of percentage body fat for predicting obesity-related cardiovascular disease risk factors in Korean adults. *Am J Clin Nutr.* 2011;94:34–9.

32. Ling CHY, Craen AJM, Slagboom PE, Gunn DA, Stokkel MPM, Westendorp RGJ, Maier AB. Accuracy of direct segmental multi-frequency bioimpedance analysis in the assessment of total body and segmental body composition in middle-aged adult population. *Clinical Nutrition.* 2011;30:610-615.

33. Sun G, French CR, Martin GR, Younghusband B, Green RC, Xie Y, Mathews M, Barron JR, Fitzpatrick DG, Gulliver W, Zhang H. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population. *Am J Clin Nutr.* 2005;81:74–8.

34. Gibson AL, Holmes JC, Desautels RL, Edmonds LB, Nuudi L. Ability of new octapolar bioimpedance spectroscopy analyzers to predict 4-component-model percentage body fat in Hispanic, black, and white adults. *Am J Clin Nutr.* 2008;87:332–8.
35. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:449S–52.
36. Donini LM, Poggiogalle E, Balzo V, Lubrano C, Faliva M, Opizzi A, Perna S, Pinto A, Rondanelli M. How to Estimate Fat Mass in Overweight and Obese Subjects. *International Journal of Endocrinology.* 2013:1-9.
37. Bracco D, Baud DT, Chioleró RLC, Landry M, Burckhardt P, Schutz Y. Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans. *American Physiological Society.* 1996:2580-87.
38. Tseng CH. Body Composition as a Risk Factor for Coronary Artery Disease in Chinese Type 2 Diabetic Patients in Taiwan. *Circ J.* 2003;67:479 – 484.
39. Peterson MJ, Czerwinski SA, Siervogel RM. Development and validation of skinfold-thickness prediction equations with a 4-compartment model. *Am J Clin Nutr.* 2003; 77:1186-91.
40. Davidson LE, Wang J, Thornton JC, Kaleem Z, Silva-Palacios F, Pierson RN, Heymsfield SB, Gallagher D. Predicting Fat Percent by Skinfolts in Racial Groups: Durnin and Womersley Revisited. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(3):542–549.
41. Van Der Ploeg GEVD, Withers RT, Laforgia J. Percent body fat via DEXA: comparison with a four-compartment model. *J Appl Physiol.* 2003;94:499–506.
42. Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, Evans EM, Sloniger MA, Saunders M, Lewis RD. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol.* 1997;83:623-630.

Table 1. Clinical Characteristics of the patients.

	All participants (n=133)	Men (n=57)	Women (n=76)	P #
Age (years)	63.6 ± 9.1	64.1 ± 9.5	63.1 ± 8.7	0.50
Duration of diabetes (years)	15.5 ± 10.3	13.3 ± 8.9	17.1 ± 11.0	0.03
Ethnicity				
White	73.2%	70.9%	75%	
Black	14.2%	10.9%	16.7%	
Mulatto	7.9%	10.9%	5.6%	0.35
Others	4.7%	7.3%	2.8%	
Use of Diuretics (Yes)	57.6%	60.4%	55.7	0.70
Total Cholesterol (mg/dL)	174 ± 38	166 ± 39	181 ± 36	0.02
HDL Cholesterol (mg/dL)	45 ± 10	43 ± 9	47 ± 10	0.04
Triglycerides (mg/dL)	129 (19 – 942)	113 (19 – 942)	140 (33 – 901)	0.02
Fasting glycemia (mg/dL)	157 ± 61	161 ± 60	153 ± 61	0.50
HbA1c (%)	8.1 ± 1.8	7.8 ± 1.6	8.4 ± 1.9	0.05
Creatinine (mg/dL)	0.88 ± 0.24	1.0 ± 0.19	0.80 ± 0.23	<0.001
GFR - CKD-EPI (mL/min)	94.9 ± 10.1	92.8 ± 9.5	96.4 ± 10.4	0.046

Values described as mean ± standard deviation or median and interquartile intervals between parentheses. # Comparison between men and women



Table 2. Anthropometric measurements of the patients.

	All (n=133)	Men (n=57)	Women (n=76)	P #
Body weight (kg)	76.0 ± 10.5	79.8 ± 10.0	73.2 ± 9.8	<0.001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	29.2 ± 3.6	28.3 ± 2.7	29.9 ± 4.0	0.004
Patient distribution in the BMI categories:				
Normal	14 (10.5%)	7 (12.3%)	7 (9.2%)	
Overweight	65 (48.9%)	35 (61.4%)	30 (39.5%)	0.014
Grade I obesity	54 (40.6%)	15 (26.3%)	39 (51.3%)	
Abdominal circumference (cm)	101.8 ± 8.5	102.7 ± 8.8	101.0 ± 8.3	0.3
Body fat according to DXA (kg)	27.6 ± 6.8	24.2 ± 5.7	30.1 ± 6.4	<0.001
Body fat according to BIA (Kg)	27.3 ± 8.0	23.1 ± 6.0	30.3 ± 7.8	<0.001
PBF estimated by DXA (%)	37.6 ± 7.3	31.1 ± 4.7	42.4 ± 4.8	<0.001
PBF estimated by BIA (%)	35.8 ± 8.5*	28.9 ± 5.7*	41.0 ± 6.3*	<0.001
Difference of DXA vs BIA	1.8 ± 3.3	2.3 ± 3.3	1.4 ± 3.2	0.1
PBF estimated by Petroski (%)	35.2 ± 5.7*	30.5 ± 4.5*	38.8 ± 3.4*	<0.001
Difference of DXA vs Petroski	2.8 ± 4.0	1.55 ± 3.8	3.7 ± 4.0	0.005
PBF by DW gender-adjusted (%)	35.1 ± 7.7*	27.6 ± 4.2*	40.7 ± 3.9*	<0.001
Difference of DXA vs DW	3.0 ± 4.5	4.5 ± 3.7	1.8 ± 4.7	0.002
PBF by DW age-adjusted (%)	39.3 ± 7.0*	32.7 ± 4.4	44.3 ± 3.6*	<0.001
Difference of DXA vs DW	- 1.3 ± 4.2	- 0.62 ± 3.7	-1.8 ± 4.5	<0.001

BIA: Bioimpedance; DXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry DW: Durnin & Womersley. Values described as mean ± standard deviation or number and frequency between parentheses. # Comparison between men and women; \* p < 0.05 concerning DXA.

Table 3. Correlation coefficient between the different methods to measure percentage body fat and DXA as the reference method.

	All		Men		Women	
	r	p	r	p	r	p
BIA	0.93	<0.001	0.81	<0.001	0.87	0.001
Petroski equation	0.806	<0.001	0.64	<0.001	0.52	<0.001
DW gender-adjusted equation	0.813	<0.001	0.63	<0.001	0.37	0.004
DW age-adjusted equation	0.813	<0.001	0.65	<0.001	0.38	0.003

BIA: Bioimpedance; DXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry DW: Durnin & Womersley

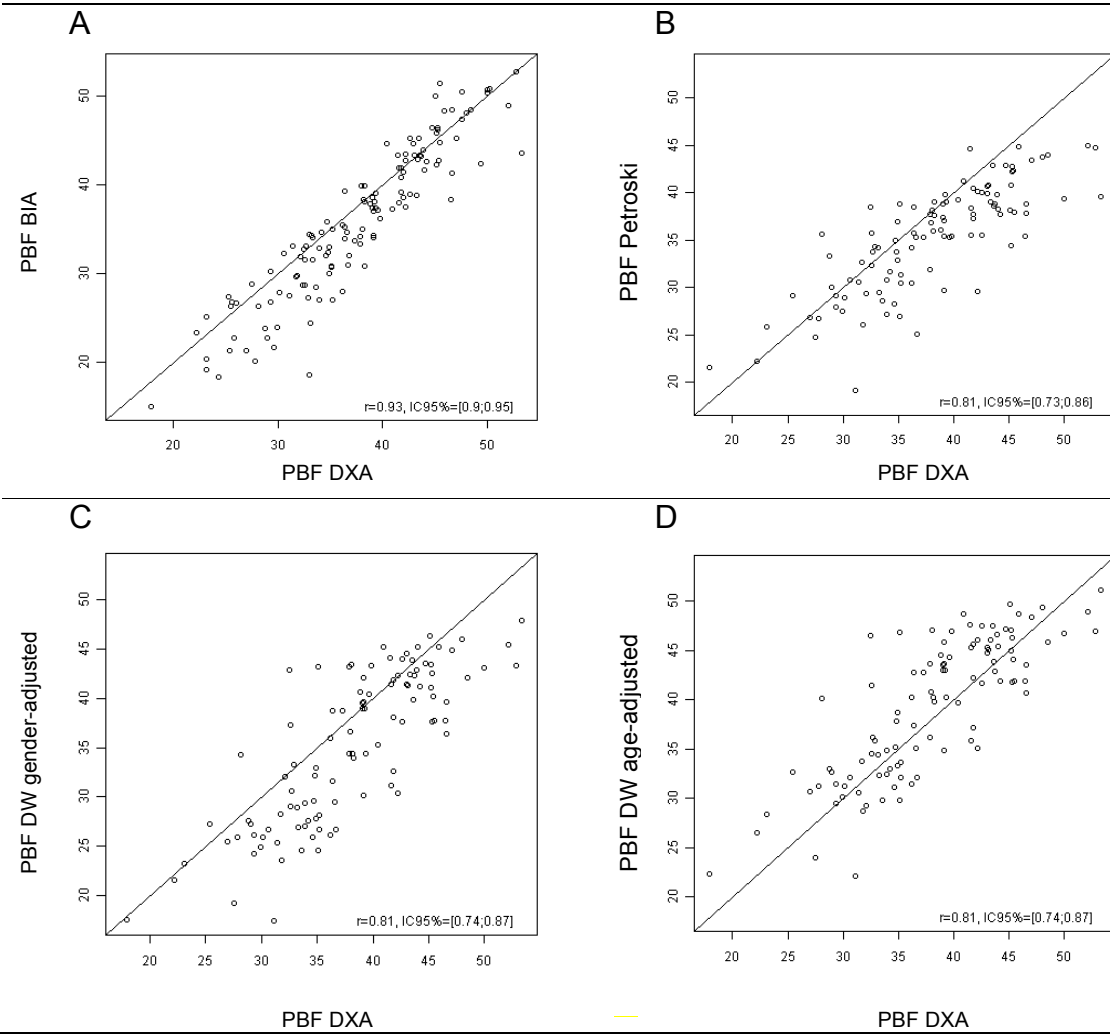


Figure 1. Correlation between Percentage Body Fat (PBF) estimated by the Bioimpedance and skinfolds thickness and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA). A – BIA versus DXA; B – Petroski equation versus DXA; C – DW gender-adjusted equation versus DXA; D- DW age-adjusted equation versus DXA

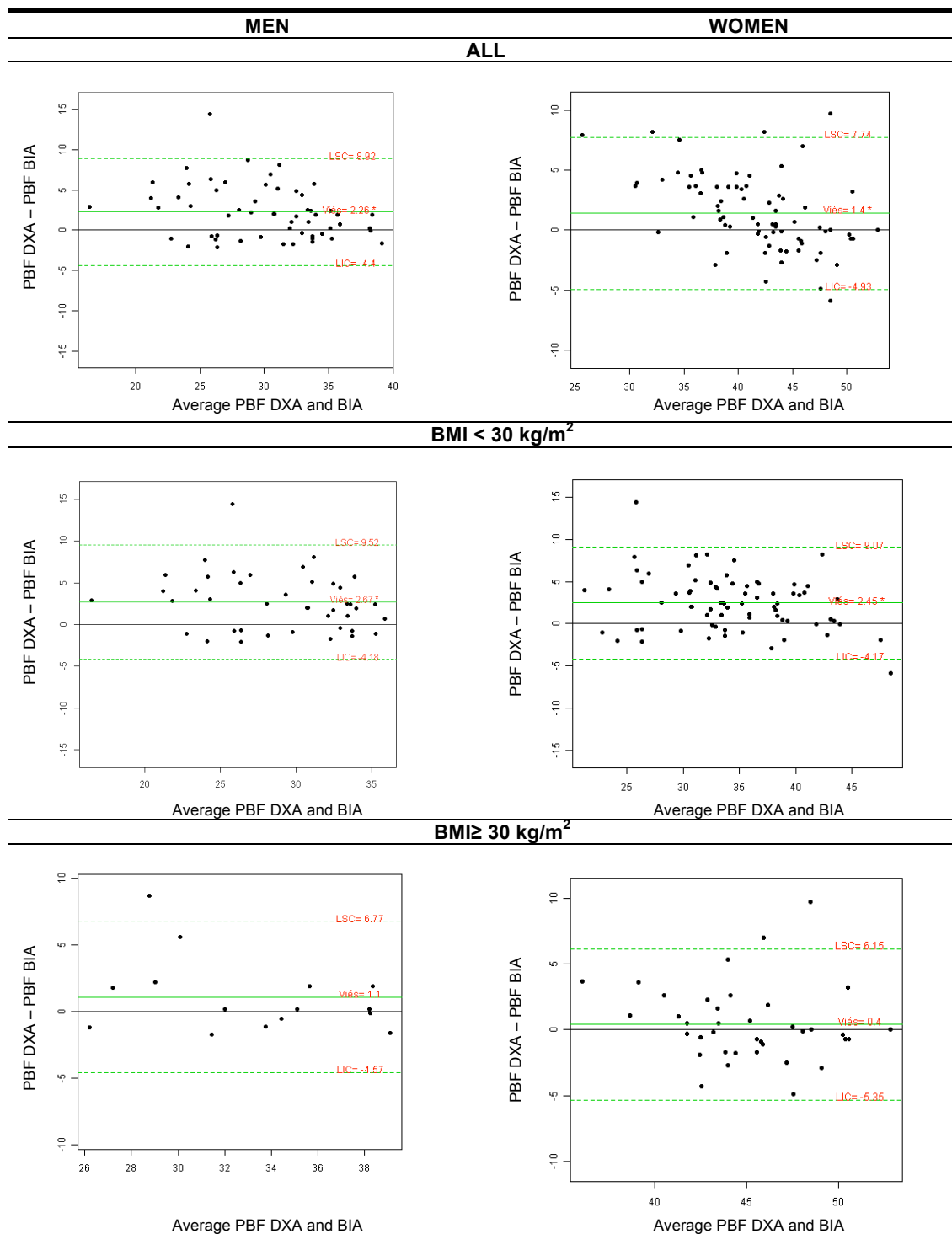


Figure 2. Bland-Altman plots for comparing percentage body fat evaluated by Bioimpedance and DXA in men and women, divided according to the body mass index. BMI: Body Mass Index; PBF: Percentage Body Fat; BIA: Bioimpedance; DXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry; LSC: upper limit; LSI: lower limit. The solid line represents the mean and the broken line the 2 SD.

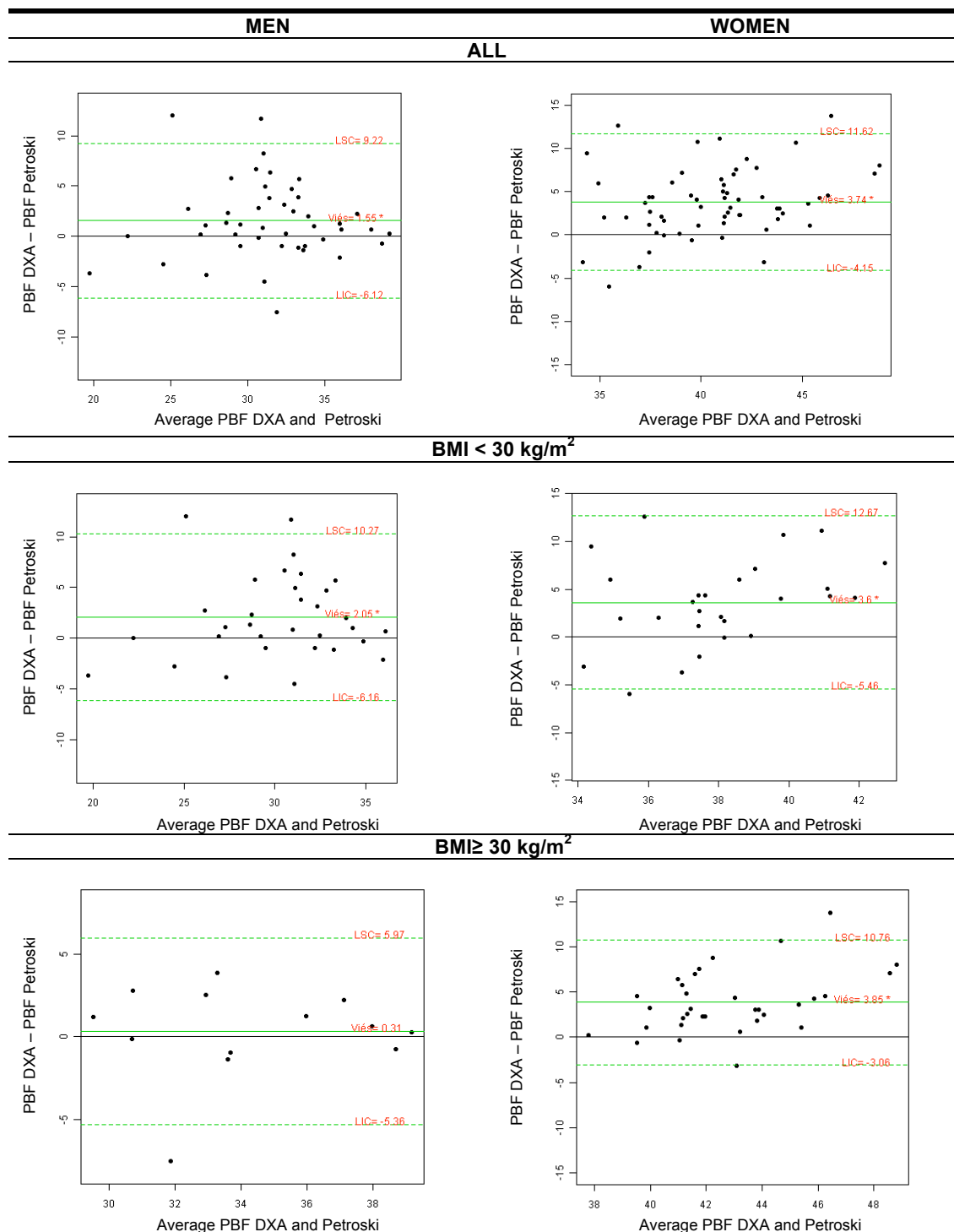


Figure 3. Bland-Altman plots for comparison between percentage body fat estimated by the Petroski Equation and DXA for men and women, divided according to body mass index. BMI: Body Mass Index; ; PBF: Percentage Body Fat; DXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry; LSC: upper limit; LSI: lower limit. The solid line represents the mean and the broken line the 2 SD.

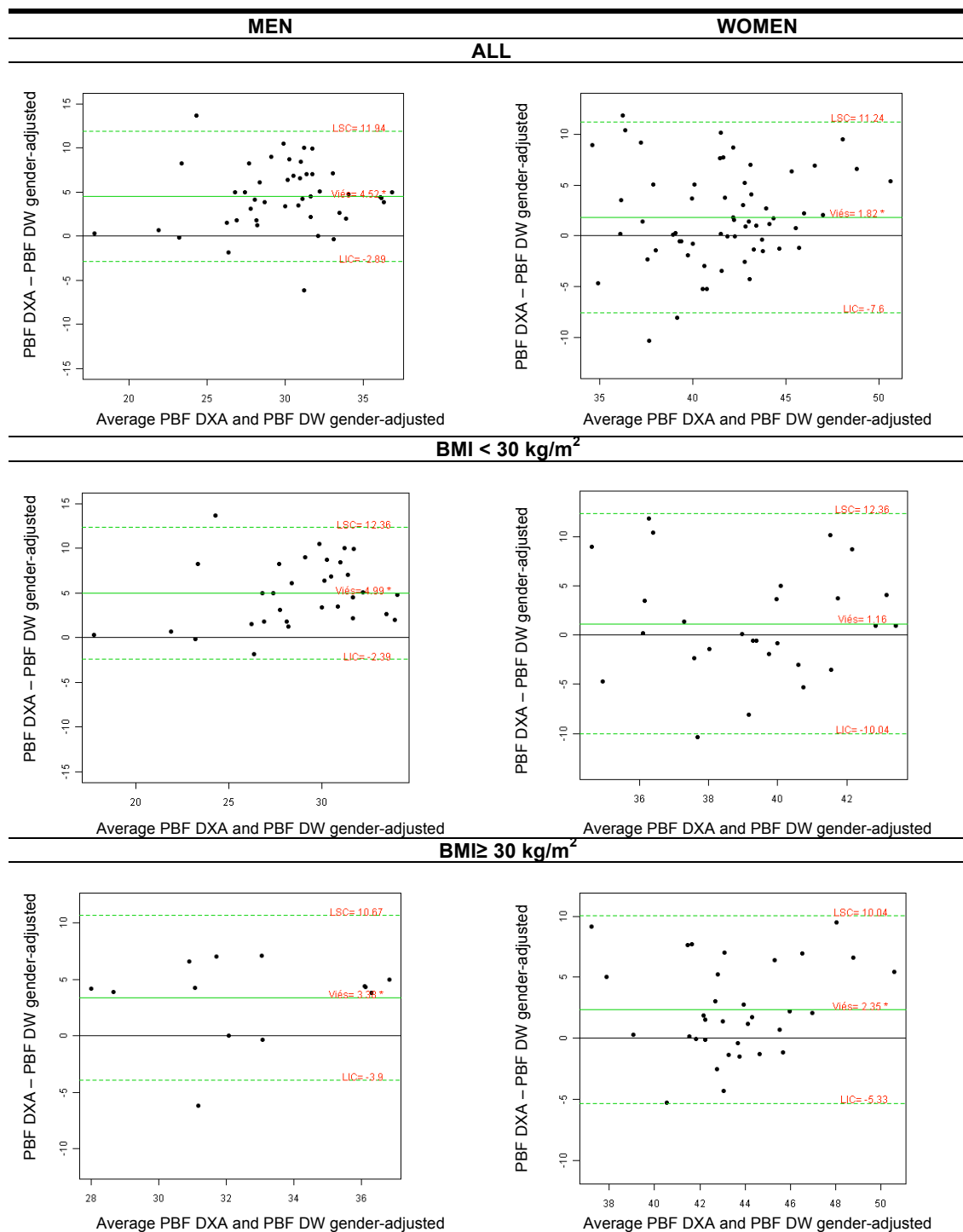


Figure 4. Bland-Altman plots to compare the percentage body fat evaluated by the Durning & Womersley gender-adjusted equation and DXA for men and women and divided according to the body mass index. BMI: Body Mass Index; ; PBF: Percentage Body Fat; DXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry; DW: Durnin & Womersley; LSC: upper limit; LSI: lower limit. The solid line represents the mean and the broken line the 2 SD.

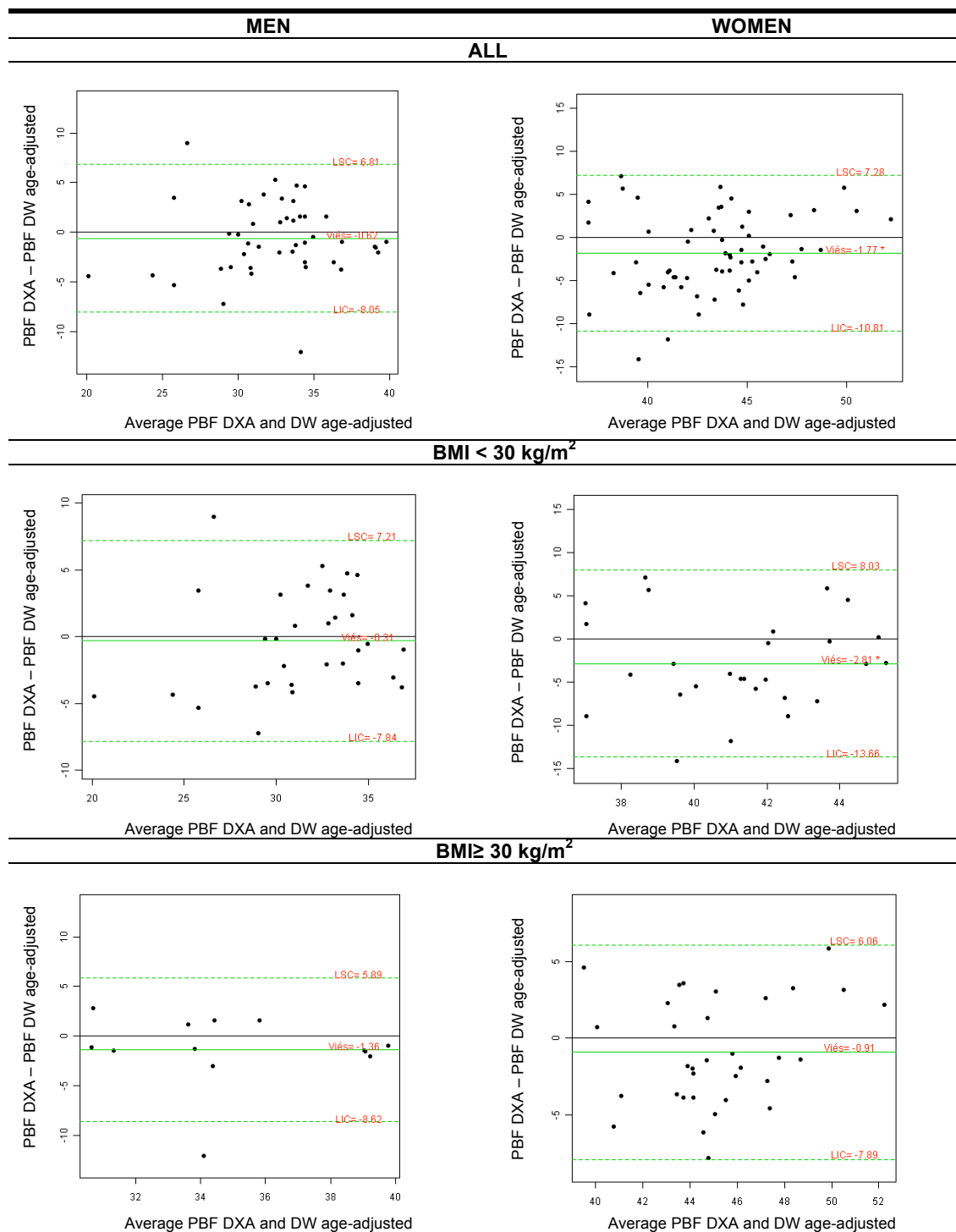


Figure 5: Bland-Altman Plots to compare the Percentage Body Fat evaluated by the Durnin & Womersley age-adjusted equation and DXA for men and women divided according to the body mass index. BMI: Body Mass Index; ; PBF: Percentage Body Fat; DXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry; DW: Durnin & Womersley; LSC: upper limit; LSI: lower limit. The solid line represents the mean and the broken line the 2 SD.

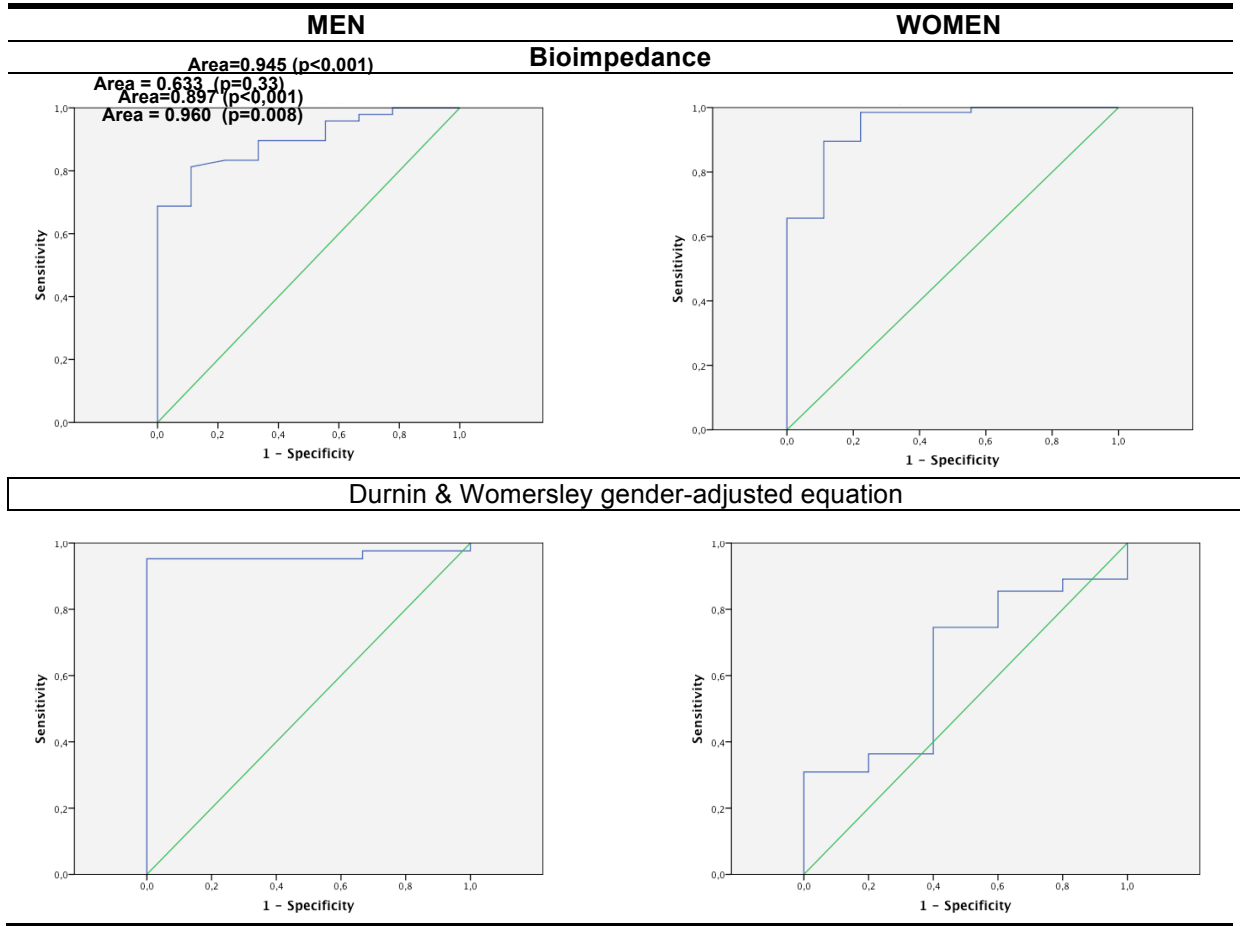


Figure 6: ROC curves of BIA and Durnin & Womersley gender-adjusted equation to determine an increased PBF, separately constructed for men and women.



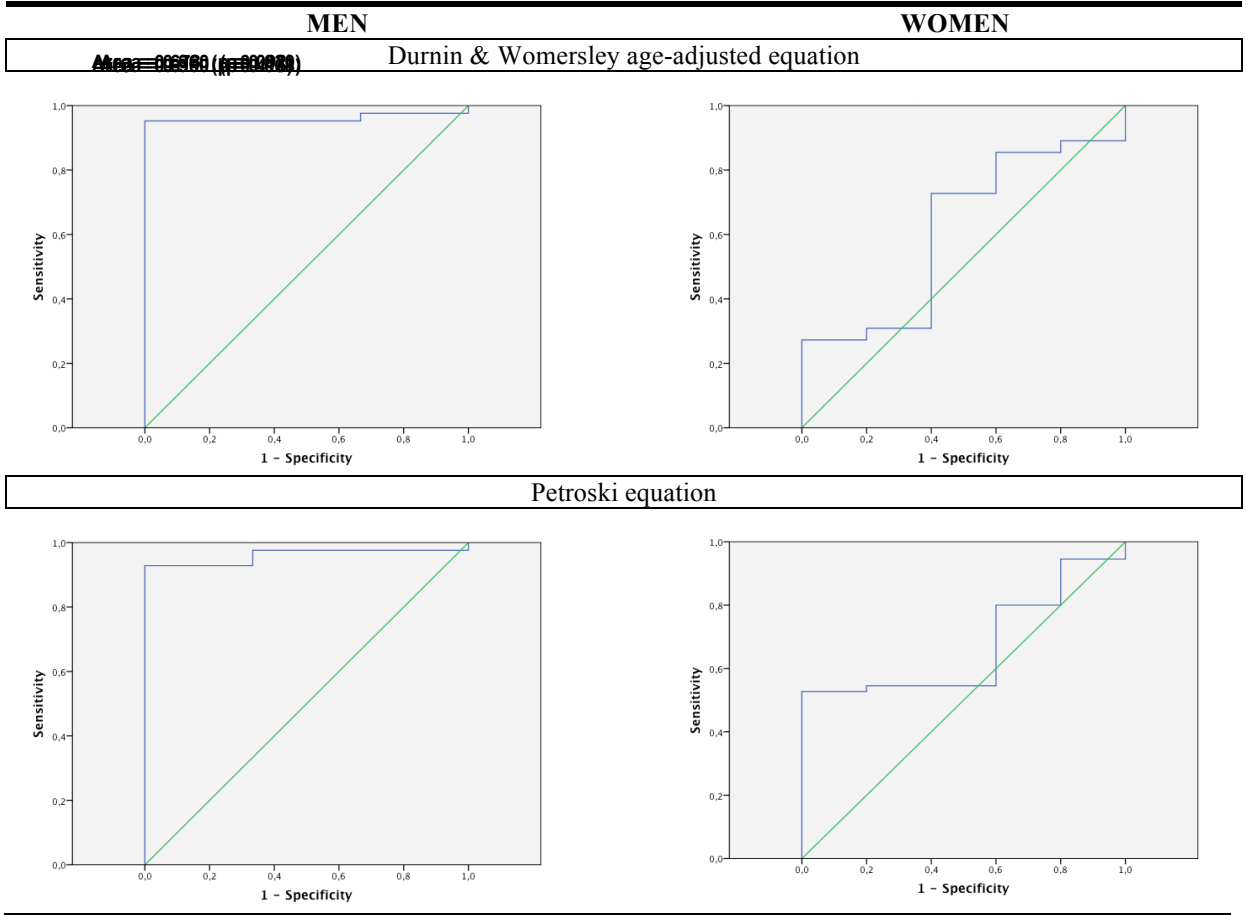


Figure 7: ROC curves of Durnin & Womersley age-adjusted equation and Petroski equation to determine an increased PBF, separately constructed for men and women.