

Composição do corpo: métodos para análise

Body composition: methods of assessment

ABSTRAC

CAMPANA, A.O.; PAIVA, S.A.R. Body composition: methods of assessment. *Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.= J. Brazilian Soc. Food Nutr.*, São Paulo, SP, v. 29, p. 99-120, jun. 2005.

Earlier studies of body composition are more than a century old. By the end of the 19th century, chemical analyses of human tissues provided the basis for the emerging of a new field of clinical investigation, which encompassed theoretical and practical knowledge focusing on the partition of the human body into various components. Significant contributions in this area were published in the middle of the last century. Further, in the last 30-40 years, the use of isotopes and techniques which allow to discriminate between anatomical structures resulted in marked progress in the knowledge of body composition components. This paper provides an overview of the present status of body composition methodologies. It begins by addressing the organization of body components into five distinct levels of increasing complexity: atomic, molecular, cellular, tissue system and organs and finally the entire body. The methods used for estimating the components at each one of the levels are mentioned. We next consider each one of the methods, taking into consideration their biological principles, technical relevant issues, clinical use and limitations. This review points out to recent remarkable progress in the field of body composition research. The importance of studies related to human body composition is based on the trend to increasing obesity that is currently observed, and of weight loss, sarcopenia and osteoporosis in the elderly, as well as in wasting and cachexia in chronic illnesses and various conditions, such as cancer, AIDS and chronic gastrointestinal and renal diseases. Some of the mentioned techniques require complex and costly equipments and the existence of a skilled group of investigators. In our country, investigations in this area include anthropometry, bioimpedance, X-ray absorptiometry and computerized tomography.

Keywords: anthropometry; bioimpedance; dual energy X-ray absorptiometry; computerized tomography; magnetic ressonance; hydrodensitometry.

**ÁLVARO OSCAR
CAMPANA¹; SÉRGIO
ALBERTO RUPP DE
PAIVA²**

^{1,2}Departamento de Clínica
Médica, Faculdade de
Medicina de Botucatu,
Universidade Estadual
Paulista - UNESP

**Endereço para
correspondência:**

Álvaro O. Campana
Departamento de
Clínica Médica
Faculdade de Medicina
de Botucatu
Rubião Júnior s/n,
Botucatu, SP, Brasil
CEP 18618-000
Fone: (14) 3882-2969,
Fax: (14) 3882-2238
e-mail:
alvaroc@fmb.unesp.br

RESUMEN

El interés por aspectos relacionados a la composición del cuerpo surgió a fines del siglo 19. El conocimiento inicial se basaba en la determinación de la composición química de tejidos, órganos y del cuerpo entero. Contribuciones significativas en el área fueron publicadas a mediados del siglo pasado. En los últimos 30 ó 40 años, el uso de isótopos, radioactivos o no, y de técnicas que permiten reparar imágenes de tejidos, así como la utilización de algunas propiedades físicas del cuerpo posibilitaron un gran progreso del conocimiento del organismo como un todo y sus componentes. Este trabajo aborda la composición del cuerpo en los cinco niveles de complejidad creciente: atómico, molecular, celular, tisular y corporal. Son citadas las técnicas que se utilizan en la determinación de los componentes a cada nivel. Enseguida, cada técnica es abordada, registrándose sus principios, fundamento de su uso, la técnica en sí, sus posibilidades y limitaciones. Finalizando, es evidente el marcado progreso reciente en el campo de la investigación de la composición del cuerpo. Actualmente, áreas específicas de interés incluyen estudios relacionados a la obesidad y el envejecimiento, como la osteoporosis y la sarcopenia, y las investigaciones acerca de las alteraciones en la composición del cuerpo en enfermedades crónicas y en varias enfermedades con alteraciones nutricionales, como cáncer, sida y enfermedades crónicas renales y gastrointestinales. Algunas técnicas utilizan instrumentos muy caros y son desarrolladas en centros de investigación de excelencia. En nuestro medio, las investigaciones usan técnicas como antropometría, bioimpedancia, absorciometría y tomografía computadorizada.

Palabras clave: antropometría; impedancia bioeléctrica; absorciometría dual por rayos X; tomografía computadorizada; resonancia magnética; hidrodensitometría.

RESUMO

O interesse por aspectos relacionados com a composição do corpo surgiu em fins do século 19. De início, o conhecimento sobre o assunto baseou-se em dosagens químicas de tecidos, órgãos e do corpo inteiro. Contribuições significativas, na área, foram publicadas em meados do século passado. Nos últimos 30 ou 40 anos, o uso de isótopos, radioativos ou não, e de técnicas que permitem separar imagens de tecidos, bem como o aproveitamento de algumas propriedades físicas do corpo possibilitaram acentuado progresso dos conhecimentos relacionados com o organismo como um todo e seus componentes. O presente trabalho aborda, de início, a composição do corpo em seus cinco níveis de complexidade crescente: atômico, molecular, celular, tecidual e o corpo inteiro. São citadas as técnicas que permitem a estimativa dos vários componentes em cada nível. A seguir, cada técnica é abordada, registrando-se seus princípios, a fundamentação do seu uso, a técnica em si, suas possibilidades e limitações. Finalizando, é evidente o marcado progresso recente no campo da pesquisa em composição do corpo. Áreas específicas de interesse, na atualidade, incluem estudos relacionados com a obesidade e o envelhecimento, como a osteoporose e a sarcopenia, e as investigações sobre as perturbações da composição do corpo em doenças crônicas e em várias doenças com alterações nutricionais, como câncer, AIDS e doenças crônicas renais e gastrintestinais. Algumas técnicas envolvem equipamentos muito caros e são desenvolvidas em centros de investigação de nível de excelência. Em nosso meio, as investigações têm usado técnicas como antropometria, bioimpedância, absorciometria e tomografia computadorizada.

Palavras-chave: antropometria; impedância bioeléctrica, absorciometria de raios-X de dupla energia; tomografia computadorizada; ressonância magnética; hidrodensitometria.

INTRODUÇÃO

Estudos relacionados com a composição química do corpo tiveram início na segunda metade do século 19 e incluíam análise química de cadáveres, dosagens em tecidos, determinação da concentração de substâncias no sangue e balanço metabólico (BERGSTRÖM, 1962; CAMPANA *et al.*, 1971; FORBES, 1999; HAMBURGER e MATHÉ, 1952; MOORE, 1959). Em meados do século passado, as possibilidades de investigação na área ampliaram-se com o uso de isótopos radioativos (MOORE, 1959). Nessa época, os trabalhos de MOORE *et al.*, 1963 tornaram disponível grande número de dados relacionados à água total do corpo e seus constituintes sólidos e permitiram a proposição de definições de importantes conceitos na área da composição do corpo, como a gordura total e sólidos totais do corpo, peso do corpo desprovido de gordura e massa celular do corpo (MOORE, 1959; MOORE *et al.*, 1963).

A aplicação dos conhecimentos relativos a esta área é de interesse tanto na saúde, por exemplo, na busca da proporção mais adequada de importantes constituintes do corpo, quanto nas doenças, para determinação de desvios que possam influir desfavoravelmente no seu prognóstico.

As considerações feitas, embora resumidas, justificam a dedicação dos investigadores para esse campo de estudo. Em adição, diferenças geográficas e étnicas entre populações de países diferentes tornam impróprio o emprego de diretrizes emanadas em centros de excelência, com maior experiência e mais possibilidades técnicas e econômicas. Desta maneira, é procedente abordar-se essa temática, visando expansão de conhecimentos a ela relacionados, em nosso meio.

Investigações sobre composição do corpo implicam em considerar o organismo como constituído em dois ou mais compartimentos, dependendo do critério escolhido para caracterização do compartimento: elemento químico, estrutura anatômica ou tipo de líquido (extra ou intracelular) (HEYMSFIELD e WAKI, 1991).

Análise compartimental - Compartimento pode ser definido como um espaço, no organismo, que tem características que são próprias e diferentes de outros espaços; o espaço pode ser fisiológico ou bioquímico; assim, vários órgãos ou partes de órgãos podem constituir um compartimento (GREEN e GREEN, 1990).

Cerca de 50 dos 106 elementos encontrados na natureza são também encontrados no corpo humano; quatro deles O, C, H e N correspondem a 95% da massa do corpo; estes, com sete elementos adicionais - Na, Mg, K, P, Cl, Ca e S - são responsáveis por 99,5% da massa do corpo (HEYMSFIELD *et al.*, 1997). Técnicas modernas permitem, atualmente, a quantificação *in vivo* de todos esses elementos. É o caso da análise da ativação por nêutrons (HEYMSFIELD e WAKI, 1991; HEYMSFIELD *et al.*, 1997), técnica que permite visualizar o corpo como constituído de vários compartimentos, cada um representado pelo elemento medido. Desta maneira, a análise da ativação por nêutrons permite o estabelecimento de um modelo multicompartimental de composição do corpo. Trata-se de técnica dispendiosa, que exige, para manipulação, um grupo de investigadores altamente habilitados.

Outro tipo de análise compartimental é a que toma em consideração as moléculas. Os compostos químicos presentes no corpo podem ser classificados em cinco grupos principais: água, proteínas, lipídios, carboidratos e minerais (HEYMSFIELD *et al.*, 1997).

As técnicas disponíveis para avaliar componentes em nível molecular são inúmeras, algumas ligadas a equipamentos modernos e bastante dispendiosos.

Para a água total do corpo, utilizam-se técnicas de diluição de isotópos. Entretanto, existem várias fórmulas para predição da água total do corpo e, também, para os volumes de água intracelular e extracelular, obtidas por meio do uso da impedância bioelétrica, utilizando frequências de corrente elétrica múltipla (BAUMGARTNER, 1996). A impedância bioelétrica de frequência simples permite o cálculo dos volumes de água intra e extra-celular em indivíduos saudáveis e não obesos, embora com menor exatidão e maior viés que a técnica de frequência múltipla (KYLE *et al.*, 2004; PATEL *et al.*, 1994).

O glicogênio pode ser avaliado, regionalmente, pela espectroscopia, por ressonância nuclear magnética.

A gordura total do corpo pode ser medida a partir do carbono total do corpo, utilizando-se fórmula que considera gordura, proteína, glicogênio e minerais ósseos (HEYMSFIELD *et al.*, 1997). Por outro lado, a gordura do corpo pode ser avaliada pela absorciometria de raios-X de dupla energia. A massa de gordura pode, ainda, ser estimada pela técnica da pesagem sob água (pesagem hidrostática) e por sistema pletismográfico, com deslocamento de ar (GOING, 1996). Nestas técnicas, a avaliação da composição do corpo é baseada na análise da densidade de seus componentes principais. Outro procedimento para a estimativa da gordura é o da impedância bioelétrica (BAUMGARTNER, 1996). Embora deva ser utilizada fundamentalmente para estimativa de massa magra e água total do corpo, esta técnica tem sido freqüentemente empregada para avaliação da gordura do corpo (KYLE *et al.*, 2004; ZHU *et al.*, 2003).

As proteínas totais do corpo podem ser medidas por ativação por nêutrons do nitrogênio do corpo.

O conteúdo de mineral ósseo tem sido avaliado pela absorciometria de raios-X de dupla energia ou, então, pela ativação do cálcio total do corpo. Quanto aos minerais dos tecidos moles, cite-se a contagem do ^{40}K do corpo inteiro.

Massa celular do corpo - Além da análise visando elementos e moléculas, a análise compartimental pode ter, como objetivo de estudo, as células e o meio que as cerca. Neste nível, devem ser consideradas as células do organismo, banhadas pelo líquido extracelular, tendo como suporte uma estrutura de sólidos extracelulares. Os sólidos extracelulares consistem, fundamentalmente, de minerais ósseos e fibras colágenas, reticulares e elásticas. Quanto à massa celular, esta corresponde às células epiteliais, nervosas, musculares e do tecido conectivo. Aspecto particular dos adipócitos é que estas células constituem depósito de gordura, que corresponde a 85-90% do peso da célula (WANG *et al.*, 1992).

MOORE *et al.* (1963) introduziram o conceito de “massa celular do corpo” (*body cell mass*, BCM) como a porção do corpo humano metabolicamente ativa, relacionada com trabalho e energia. De acordo com esta conceituação, a massa celular do corpo inclui o protoplasma das células gordurosas, mas não inclui a gordura nelas depositadas.

Quanto às técnicas para avaliação, o componente de maior interesse é a massa celular do corpo. Esta, de acordo com o estabelecido por MOORE *et al.* (1963), pode ser avaliada pela medida do potássio total, ou permutável, do corpo (por meio da contagem do ^{40}K do corpo inteiro ou por diluição de ^{42}K ou ^{43}K).

O líquido extracelular pode ser medido por técnicas de diluição de isótopos. Por outro lado, não há técnicas disponíveis para a medida de sólidos extracelulares; contudo, estes podem ser estimados, indiretamente, pelo teor total de cálcio do organismo, medido pela análise por ativação por nêutrons (WANG *et al.*, 1992).

Tecidos, órgãos e sistemas - Células, líquido extracelular e sólidos extracelulares são organizados em tecidos, órgãos e sistemas. Neste nível, os principais componentes a considerar são: tecido adiposo, musculatura esquelética, ossos, órgãos viscerais e cérebro. Atualmente, é de interesse considerar o tecido adiposo dividido em subcutâneo e visceral e tecido adiposo da medula óssea (HEYMSFIELD *et al.*, 1997).

Neste nível de investigação, as dificuldades, no que concerne a estudos *in vivo*, são maiores. Até há pouco tempo, boa parte da informação disponível era proveniente de estudos em cadáveres. Biopsias de tecidos e de órgãos forneciam, eventualmente, dados de interesse.

Atualmente, dois métodos parecem ter trazido contribuição significativa para este tipo de estudo; trata-se da tomografia axial computadorizada e a imagem de ressonância magnética. A tomografia axial computadorizada, por exemplo, pode determinar, diretamente, o volume do tecido adiposo subcutâneo e visceral (WANG *et al.*, 1992).

Por outro lado, outras técnicas podem ser úteis, como a estimativa da massa muscular esquelética por meio da excreção de creatinina na urina, colhida durante 24 horas, ou por meio da análise do potássio total do corpo ou pela análise da ativação por nêutrons.

Nível do corpo inteiro - Neste nível, interessa considerar o tamanho do corpo, sua forma, suas características exteriores e algumas características físicas específicas (WANG *et al.*, 1992). Aqui, estão incluídas as seguintes medidas: estatura, comprimento de segmentos do corpo, circunferências, pregas cutâneas, área de superfície do corpo, volume do corpo, peso do corpo, índice de massa do corpo e densidade do corpo.

Estes indicadores, na sua maioria, são simples e de fácil e econômica execução. Assim, são bastante adequados para estudos em larga escala e investigações de campo.

Técnicas utilizadas para estudo da composição do corpo - Várias técnicas estão atualmente em uso para estudo da composição do corpo.

a) **Composição do corpo analisada por meio de pregas cutâneas** - Pregas cutâneas correspondem a uma dupla camada de pele e tecido subcutâneo; são usualmente medidas

em pontos anatômicos específicos. Grande número de estudos antropométricos utiliza as pregas tricípital, bicípital, subescapular e suprailíaca. A técnica de medida das pregas encontra-se em vários artigos de periódicos científicos (ANSELMO *et al.*, 1992; BISHOP *et al.*, 1981; FRISANCHO, 1974; FRISANCHO, 1981; GODOY *et al.*, 2000; GODOY *et al.*, 1992; PAIVA *et al.*, 1992), em monografias (FRISANCHO, 1999) e em livros textos de nutrição (HEYMSFIELD *et al.*, 1994; MAHAN e ESCOTT-STUMP, 2000; ROMBEAU *et al.*, 1989).

A espessura das pregas cutâneas constitui um dos métodos mais comumente usados para estimar o teor de gordura do corpo e a distribuição do tecido adiposo subcutâneo (ELLIS, 2001).

Métodos que se destinam a fornecer estimativas do teor de gordura do corpo muito freqüentemente, baseiam-se na premissa de que o corpo pode ser constituído de dois compartimentos distintos, cuja composição é relativamente constante: a gordura do corpo (massa de gordura do corpo, representada, aqui, por MG) e a massa desprovida de gordura (massa sem gordura, MSG) (DAVIES, 1994; DURNIN e WOMERSLEY, 1974). Desta maneira tem-se: Peso do corpo = MG + MSG.

DURNIN e WOMERSLEY (1974) mostraram que existe associação entre pregas cutâneas e a densidade do corpo, medida por pesagem hidrostática, técnica considerada por diversos autores como padrão ouro para avaliação da composição do corpo fracionado em dois compartimentos. A regressão obtida é linear quando se procede à transformação logarítmica da soma de quatro pregas (bicípital, tricípital, subescapular e suprailíaca). Em um primeiro passo, calcula-se a densidade do corpo (D) a partir do valor do somatório (Σ) de quatro pregas. Para isso, utilizam-se fórmulas específicas para sexo e idade (HEYMSFIELD *et al.*, 1994). A seguir, utilizando a equação de Siri, calcula-se a porcentagem de gordura, a partir da densidade do corpo (DURNIN e WOMERSLEY, 1974):
 $\%Gordura = [(4,95/Densidade\ corporal) - 4,5] \times 100$.

Entretanto, à medida que o conteúdo de gordura do corpo aumenta, a equação de Siri fornece resultados de porcentagem de gordura mais altos que os derivados da equação de Brozek (BROZEK *et al.*, 1963; LOHMAN, 1981; YAO *et al.*, 2002). Desta maneira, em indivíduos que apresentam alto teor de gordura no corpo, é aconselhado utilizar-se a fórmula de BROZEK para cálculo da porcentagem da gordura do corpo (YAO *et al.*, 2002):
 $\%Gordura = [(4,57/Densidade\ corporal) - 4,142] \times 100$.

Paralelamente ao exposto, numerosas equações para predição do teor de gordura do corpo foram desenvolvidas a partir dos valores das pregas cutâneas (WANG *et al.*, 1992).

Note-se que as equações preditivas que estabelecem relação entre pregas cutâneas e teor total de gordura do corpo, partem da premissa de que a relação entre a gordura interna e a gordura do tecido subcutâneo, seja constante para qualquer nível de teor de gordura, o que pode não ser correto (DAVIES, 1994). Esta relação exhibe variação quando se consideram fatores como: sexo, idade, etnia, nível de prática de exercício físico e o próprio grau de obesidade (DURNIN e WOMERSLEY, 1974).

A variação da proporção de gordura situada no subcutâneo, em relação à visceral, tem sido apresentada como explicação para o fato de as equações preditivas, para estimação da gordura total do corpo, não serem aplicáveis indiscriminadamente (DAVIES, 1994). De fato, as equações de predição, envolvendo pregas cutâneas, têm sido consideradas específicas, isto é, válidas para a população específica estudada (JACKSON e POLLOCK, 1978; NORGAN e FERRO-LUZZI, 1985).

Por outro lado, a precisão dos dados obtidos pela medida das pregas cutâneas apresenta alta variabilidade e, quanto à acurácia da técnica aplicada para a estimativa do teor de gordura do corpo de indivíduos, esta tem sido questionada há muitos anos (ELLIS, 2001).

Entretanto, foi observado em pacientes desnutridos, com anorexia nervosa, com baixo conteúdo de gordura no corpo, que a medida simples de pregas cutâneas foi tão útil quanto medidas mais sofisticadas para a avaliação da composição do corpo (PROBST *et al.*, 2001). Na mesma linha, mais recentemente, YAO *et al.* (YAO *et al.*, 2002) verificaram, em indivíduos adultos, existir uma boa concordância entre as porcentagens de gordura corporal, calculadas pelas pregas cutâneas e pela técnica de diluição com H₂¹⁸O. Os autores concluíram que as pregas cutâneas podem fornecer valores confiáveis e exatos da gordura corporal, desde que medidas por pessoa treinada e que sejam utilizadas equações de predição apropriadas.

Finalizando, as vantagens desta técnica residem no seu baixo custo e no fato de não utilizar aparelhos grandes e complexos. Desta maneira, trata-se de técnica adequada para estudos populacionais e de campo.

Entretanto, é preciso considerar que os resultados desta técnica são afetados por alguns tipos de erros de medida. Para que estes sejam minimizados, os seguintes aspectos devem ser bem definidos: padronização da técnica da medida das pregas cutâneas, tipo do adipômetro utilizado e calibração do aparelho, treinamento do pessoal envolvido na medida das pregas e fatores ligados ao próprio indivíduo analisado. Assim, existem descrições detalhadas para identificação e medida das pregas cutâneas (LOHMAN, 1988). Quanto aos adipômetros, há instrumentos de alta qualidade, como os adipômetros “Harpenden” e “Lange”, cuja exatidão deve ser checada periodicamente. Adicionalmente, uma fonte de erros em medidas de pregas cutâneas é a variabilidade existente entre examinadores; este erro pode ser diminuído se os avaliadores forem submetidos a treinamento que inclui escolha do local apropriado da prega e medidas repetidas de pregas. A variabilidade das medidas de pregas cutâneas, entre indivíduos, pode depender da diferença da quantidade de gordura subcutânea local, mas, também, da espessura da pele e da compressibilidade maior ou menor da pele e do tecido subcutâneo. O estado de hidratação geral, traduzido por acúmulo de líquido no corpo, pode afetar a medida das pregas cutâneas (ABRAHAMSEN *et al.*, 1996). Em obesos, a variabilidade pode depender do fato de a espessura das pregas exceder a abertura máxima do adipômetro (HEYWARD e STOLARCZYK, 2000).

b) **Composição do corpo por meio da impedância bioelétrica** (FOSTER e LUKASKI, 1996; LUKASKI, 1996a; NITACS, 1996). O procedimento básico desta técnica consiste em fazer passar pelo corpo uma corrente elétrica alternada de intensidade pequena, cerca de 800 μ A, com frequência \geq 10kHz, usualmente de 50kHz (NITACS, 1996). Quatro eletrodos são utilizados, dois para introduzir a corrente (eletrodos transmissores) e dois para detectar as voltagens geradas (eletrodos receptores).

A corrente elétrica flui através de todo material condutor existente no corpo, ao longo do caminho entre eletrodos transmissores e receptores. Os principais condutores são representados pelos líquidos fisiológicos que contêm íons eletricamente carregados, como sódio e potássio. A condutividade do sangue e urina é alta, a dos músculos é intermediária e a de gordura, osso e ar é baixa.

O atributo medido pela técnica em discussão é a voltagem; especificamente, queda da voltagem. A medida é normalmente expressa como uma relação, que é a relação voltagem/intensidade (isto é, V/I), que é chamada de *impedância*. Por esta razão, o equipamento utilizado para as medidas é chamado de *analisador da impedância bioelétrica*.

Ao passar pelos condutores, a corrente sofre certo grau de oposição. À oposição do condutor ao fluxo da corrente elétrica alternada dá-se o nome de impedância (Z); a impedância tem dois componentes: a resistência (R) e a reatância (Xc). A resistência corresponde à oposição do condutor - os líquidos fisiológicos - ao fluxo da corrente elétrica; a reatância é associada a vários tipos de polarização que se estabelece nas membranas celulares e nas interfaces dos tecidos. No organismo humano, a resistência chega a 250Ohms e a reatância é menor, correspondendo a cerca de 10% desse valor; assim, o valor da impedância é bastante similar ao da resistência.

Aplicando-se a teoria básica dos condutores às observações resultantes do emprego desta técnica em seres humanos, pode-se escrever:

$$\text{Volume} = \text{estatura}^2 / \text{impedância}$$

Na fórmula acima, há que se estabelecer o que se deve entender por *volume*. Seria conveniente aceitar-se que a estimativa elétrica do condutor seria igual ao volume medido do condutor biológico: por exemplo, do volume do líquido extracelular ou do volume da água total do corpo. Entretanto, na realidade, a medida da impedância não dá informação direta sobre comprimento, áreas ou volume dos segmentos do corpo pelos quais passa a corrente elétrica. As relações entre impedância e variáveis como água total do corpo, massa livre de gordura ou massa de gordura, foram verificadas a partir da busca de correlações estatísticas entre os valores da impedância e os valores dessas variáveis, estabelecidos por meio de técnicas de referência em amostras populacionais específicas. Assim, no caso da água total do corpo, os valores da impedância devem ser correlacionados com valores da água total do corpo obtidos por técnicas de diluição isotópica, utilizando-se

deutério ou trício. Assumindo-se, a seguir, que o teor de água na massa livre de gordura (MLG) é de 73,2%, pode-se calcular o valor de massa de gordura do corpo (MG) e, então, a porcentagem de gordura do corpo.

Desta maneira, a impedância bioelétrica dá estimativas relacionadas às seguintes variáveis quanto à composição do corpo, esta entendida como constituída por dois compartimentos: volume da água total do corpo, massa livre de gordura e, indiretamente, a massa de gordura.

Devido ao custo relativamente baixo do equipamento, ao fato de ser transportável e de fácil manipulação, a impedância tem potencial importante como técnica de campo para estimativa da composição do corpo. A principal vantagem da impedância, quando comparada ao somatório das pregas cutâneas, é a capacidade de mensuração da água corporal e de apresentar menor erro intra e interobservador. Por outro lado, a principal limitação da técnica é a alteração do estado de hidratação do indivíduo; no caso de hiperhidratação, o valor da massa magra é superestimado (KAMIMURA *et al.*, 2004).

Os valores da massa sem gordura do corpo (MSG) e da massa de gordura (MG) podem ser determinados pelo uso das equações fornecidas pelo fabricante (CORCORAN *et al.*, 2000); contudo, existem numerosas fórmulas, publicadas, que foram validadas pelo uso de técnicas de referência, tanto para água total do corpo, quanto para MSG e MG (ELLIS, 2000; HOUTKOOPE *et al.*, 1996; KYLE *et al.*, 2004; PICHARD *et al.*, 1997). Nesse contexto, verificou-se que o índice estatura ao quadrado relacionada à resistência (H^2/R) geralmente foi o melhor preditor da composição do corpo.

Na obesidade acentuada, grande parte da massa gordurosa situa-se no tronco. O tronco contribui pouco para a impedância total do corpo. Nestas condições, os dados obtidos podem levar à hiperestimativa do teor de gordura corporal (USDHHS, 1994).

Os resultados levam a interpretações incorretas nos casos de assimetria do corpo, como em amputados, hemiplégicos e em condições neuromusculares com alteração local da perfusão ou com atrofia de tecidos (USDHHS, 1994).

Em doenças, podem ocorrer alterações da composição do corpo que tornam inaplicáveis as equações de predição (que são derivadas de adultos saudáveis com peso normal) (KOTLER *et al.*, 1996).

Os campos elétricos induzidos no corpo pela passagem da corrente elétrica estão muito abaixo dos limites de susceptibilidade de equipamentos como marcapassos e desfibriladores implantados; contudo, é prudente evitar a utilização desta técnica em indivíduos que portam tais aparelhos.

Modelos utilizando frequência múltipla de corrente elétrica e análise com espectroscopia (“multi-frequency bioelectrical impedance spectroscopy - BIS”) - quando a frequência da corrente elétrica introduzida é baixa, a impedância das membranas celulares e da interface dos tecidos é muito alta, o que impede que a corrente penetre nas

células; nesse caso, a corrente transita pelo líquido e eletrólitos que banham as células e pelo espaço vascular.

Usando o eixo x para registro da resistência e o eixo y para a reatância, na Figura 1, tem-se o ponto **a**, indicando alta resistência e muito baixa reatância. Quando o sinal de frequência é aumentado, o ponto desloca-se para cima e para a esquerda: a resistência diminui e a corrente penetra nas membranas celulares, o que causa aumento da reatância (ver ponto **b**). Unindo-se por retas os pontos **a** e **b** ao ponto **zero**, observam-se dois ângulos, os chamados “*ângulos de fase*” (LUKASKI, 1996a): o ângulo determinado pelo ponto **a** é menor que o determinado pelo ponto **b**.

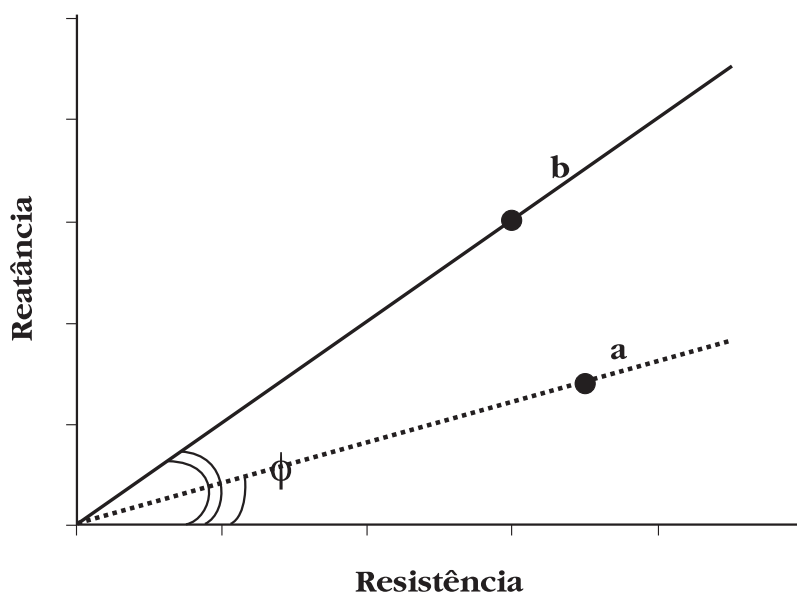


Figura 1 Diagrama da derivação gráfica do ângulo de fase; sua relação com resistência e reatância. **a**: ponto de alta resistência e baixa reatância; **b**: ponto de menor resistência e maior reatância. ϕ : ângulo de fase

O conhecimento desses fatos levou à suposição de que correntes elétricas de baixa frequência poderiam dar estimativas do volume de líquido extracelular e as de alta frequência, do volume de água total do corpo (LUKASKI, 1996a). Em homens saudáveis, por exemplo, observaram-se coeficientes de correlação altos e significantes entre valores de variáveis medidas, por essa técnica, e o volume do líquido extracelular, quando do uso de corrente elétrica de 5kHz e entre aqueles valores e o volume de água total do corpo, com corrente elétrica de 100kHz (SEGAL, 1994).

Esses achados impulsionaram a criação de modelos de impedância que operam com frequência múltipla, o que permitiu a estimativa dos volumes de água extracelular e

intracelular, da água total e da massa celular do corpo. Outra alternativa metodológica é a produção de uma larga faixa de frequências, de poucos kHz a 1Mhz, pela aplicação de uma corrente elétrica alternada; este processo corresponde à impedância bioelétrica por espectroscopia (bioelectrical impedance spectroscopy - BIS) (LUKASKI, 1996a; SARDINHA *et al.*, 1998).

As relações geométricas entre impedância, resistência e reatância introduziram o uso da variável “*ângulo de fase*” mencionado acima (LUKASKI, 1996a). O ângulo de fase indica a relação entre dois componentes vetoriais: a resistência e a reatância e, fisiologicamente, indica a distribuição de água entre os espaços intracelular e extracelular. Em adultos sadios, o ângulo de fase, na frequência de 50kHz, situa-se na faixa de 8° a 15° (ELLIS, 2000). Em casos de diminuição da água intracelular, com comprometimento da massa celular, os valores do ângulo de fase podem ser mais baixos (SHAH *et al.*, 2001).

c) Composição do corpo por meio de absorciometria de raios-X de dupla energia (HEYMSFIELD *et al.*, 1997) (DXA) - Esta técnica consiste na utilização de uma fonte de raios-X e na passagem dos raios-X através de filtro de terra rara (cério ou samário), com o que são obtidos fótons com dois níveis de energia (40 e 70keV). O feixe de fótons é dirigido para um tecido, ocorrendo interações atômicas entre os fótons e os elementos constituintes dos tecidos. As interações atenuam o feixe de fótons, do que resulta fluxo reduzido de fótons, que é medido em detector.

A atenuação dos raios-X é relacionada, principalmente, ao tipo e à proporção dos elementos presentes nos tecidos examinados e à energia dos fótons (HEYMSFIELD *et al.*, 1997). Elementos de números atômicos baixos (hidrogênio, carbono) atenuam pouco, ao passo que elementos de número atômicos altos (cálcio, fósforo) atenuam fortemente o feixe de fótons. Por outro lado, quanto maior a energia dos fótons, menor é a atenuação. A atenuação relacionada aos dois níveis de energia (40 e 70keV) é representada pelo valor R. No caso de uma área em que há predomínio de gordura, o valor de R é menor, porque a gordura tem quantidade relativamente maior de carbono. O tecido mole magro tem R maior, pela presença relativamente alta de oxigênio, nitrogênio, eletrólitos e minerais. Finalmente, minerais ósseos têm valor alto de R, devido à presença de cálcio e fósforo. Desta maneira, em função da atenuação do feixe de raios-X, podem-se distinguir o tipo e a quantidade dos tecidos que são analisados. Especificamente, a técnica permite distinguir o tecido magro, lípidos e minerais ósseos. Do ponto de vista prático, obtêm-se dados relativos: 1) à massa livre de minerais e de gordura (MLMG), em gramas; 2) à gordura total (MG), em gramas e 3) ao mineral ósseo (total [MOT], em gramas e densidade, em gramas/cm²). A técnica em pauta, portanto, permite a divisão do corpo em três compartimentos.

No tocante ao controle de qualidade, a precisão e a acurácia dos resultados desta técnica, quanto ao teor e à densidade mineral óssea e quanto ao tecido magro sem gordura, podem ser consideradas excelentes (HILDRETH *et al.*, 1997; LUKASKI, 1993). DXA permite obter-se informação sobre a distribuição regional de massa magra, massa de gordura e de mineral ósseo, pela análise das estimativas especificamente associadas aos

membros (em conjunto ou, separadamente, superiores e inferiores) e tronco (GRINSPON *et al.*, 2001; HUNTER *et al.*, 2001; MCDERMOTT *et al.*, 2001; SUN *et al.*, 2001). Embora o preço do equipamento seja relativamente alto, representam grandes vantagens da técnica o nível bastante baixo de radiação a que o paciente é submetido e a determinação direta da composição dos ossos e do tecido mole. Quanto às desvantagens da técnica, citem-se a necessidade de técnico especializado para realização do exame e a incapacidade de medir a água corporal.

d) **Interactância do infravermelho próximo** - Esta técnica baseia-se na absorção e reflexão do raio infravermelho para avaliar, indiretamente, o teor de gordura e água do corpo. O aparelho é portátil, e provido de sensor, que é aplicado sobre o bíceps, para a emissão de luz. A luz penetra nos tecidos e é refletida, pelo osso, a detector. A absorção da luz, em níveis diferentes para gordura e para tecido rico em água, permite a quantificação da gordura e, conseqüentemente, da massa magra.

Uma desvantagem do método é o fato de fornecer dados a partir do exame de apenas um ponto do corpo. Na comparação com outras técnicas, notou-se que a interactância tende a subestimar a gordura do corpo, principalmente em obesos e a superestimá-la, em indivíduos magros; quanto à massa magra, em um estudo, esta técnica forneceu resultados cujos valores foram maiores do que os obtidos com a medida do potássio total do corpo (LO *et al.*, 1994). Em nosso meio, em pacientes renais crônicos em hemodiálise, os resultados obtidos pela interactância também evidenciaram subestimação da gordura corporal, quando comparados aos fornecidos pela impedância bioelétrica e pelo método das pregas cutâneas (KAMIMURA *et al.*, 2003).

e) **Tomografia computadorizada** - A técnica tomográfica utiliza feixe de raios-X que é passado através do corpo, sendo a radiação transmitida para detectores posicionados no lado oposto do indivíduo examinado.

A imagem obtida, por esta técnica, é representada por um mapa bidimensional, correspondendo à secção transversal da área varrida pelos raios-X (GOODPASTER, 2002). Existe uma associação entre as propriedades físicas e químicas do tecido, incluindo sua densidade, e a intensidade da cor cinza da imagem obtida (GOODPASTER, 2002). Tecidos que têm densidades baixas (por exemplo, o tecido adiposo é menos denso que a água), provocam menor atenuação da imagem: a eles correspondem valores de atenuação menores. No caso do tecido adiposo, os valores de atenuação oscilam em faixa intermediária. O músculo é mais denso que a água, de maneira que a atenuação dos raios-X que provoca é maior. Tecidos de densidades diferentes darão imagens diferentes e isto permite que a tomografia possa separar gordura, músculo, víscera e osso (ELLIS, 2000).

Tendo sido previamente mostrado que a área de gordura visceral do abdome, obtida por um único corte, é altamente correlacionada com a gordura visceral total do abdome, tem sido utilizada a aplicação de um único corte de 5mm, ao nível da 4ª. ou 5ª. vértebra lombar, para estudo da gordura abdominal (HUNTER *et al.*, 2001). Delineando a

margem externa da parede muscular do abdome por meio de um cursor, pode-se obter o valor correspondente ao tecido adiposo intra-abdominal. Subtraindo-se este valor do valor da gordura abdominal, obtém-se a estimativa numérica do tecido adiposo subcutâneo abdominal. Assim, por meio da tomografia, estimam-se, no abdome: o tecido adiposo subcutâneo e o tecido adiposo intra-abdominal e sua soma, que corresponde ao tecido adiposo total do abdomen (HUNTER *et al.*, 2001).

Paralelamente, na coxa, um corte de 10mm, no ponto médio entre a crista ilíaca anterosuperior e a patela, permite a estimativa do tecido adiposo subcutâneo, do tecido adiposo subfascial e do tecido adiposo intermuscular e sua soma, correspondente ao tecido adiposo da coxa (GOODPASTER *et al.*, 2000).

Ao lado da estimativa da gordura em locais específicos e de sua distribuição regional, a tomografia pode ser utilizada para reconstrução da massa total do corpo e de órgãos. Então, os cortes são feitos ao longo do corpo, com intervalos de 10cm. Os dados indicam que estimativas dessa natureza têm acurácia (erro<1%) e precisão (erro<1%) excelentes (ELLIS, 2000).

No caso da massa magra, a tomografia pode separar músculo esquelético (JORDÃO JR *et al.*, 1996), vísceras e órgãos maciços. No caso do osso, separa seus componentes cortical ou trabecular (ELLIS, 2000).

Problemas desta técnica referem-se ao preço alto do aparelho e, ao fato de que pacientes com claustrofobia ou muito obesos não poderem ser submetidos a esse exame.

f) **Ressonância magnética** - A ressonância magnética, como a tomografia computadorizada e a absorptometria, permite a visualização direta e a estimativa de variáveis relacionadas à composição corporal, como o tecido gorduroso, o mineral ósseo e músculos (LUKASKI, 1996b).

A técnica da ressonância magnética fundamenta-se no mapeamento da intensidade do sinal que ocorre quando núcleos - principalmente de hidrogênio - em consequência de uma alteração do campo magnético, perdem seu alinhamento e liberam a energia retida. Este processo, denominado relaxamento nuclear, ocorre em tempos diferentes; o tempo de relaxamento dos prótons na gordura é muito mais curto do que o dos prótons na água (ELLIS, 2000). A distinção entre o tecido adiposo e o tecido magro pode ser baseada nas características da cor cinza da imagem correspondente a cada pixel ou por um filtro que identifica os limites dos tecidos (LEE *et al.*, 2000). Esta diferença é a que permite estabelecer o contraste, na imagem, entre o tecido gorduroso e o tecido muscular (que contém alto teor de água). Os dados coletados são transformados em imagens de alta resolução, o que permite a quantificação corporal total ou a composição corporal regional. A área, em cada imagem, é computada automaticamente, em cm². O volume, em cm³, de cada tecido, em cada corte, é calculado, multiplicando-se a área do tecido pela espessura do corte, que é de 1,0cm. Calcula-se, então, o volume do tecido em litros, sendo este valor

convertido em unidade de massa-kg- multiplicando o volume pela densidade que, no caso do músculo esquelético, por exemplo, é 1,04kg/litro (LEE *et al.*, 2000).

Para estudo do corpo inteiro, o indivíduo permanece deitado e inicia-se o exame a partir do espaço intervertebral entre a 4^a. e a 5^a. vértebra lombar. A partir daí, são obtidas imagens transversas (de 10mm de espessura) a cada 40mm, da mão até o pé, do que resultam em torno de 40 imagens para cada indivíduo. O tempo de exame é de cerca de 25 minutos (LEE *et al.*, 2000).

A técnica pode ser aplicada para estimativa do volume (em cm³) de músculos e do tecido subcutâneo correspondente. No caso do gastrocnêmio medial, por exemplo, 18 cortes podem ser feitos, com espessura de 10mm para cada corte; os resultados incluem os volumes do gastrocnêmio e do tecido subcutâneo da perna (BOUDEL-MARCHASSON *et al.*, 2001).

Imagens transversais do abdomen permitem a distinção, em nível regional, entre o tecido adiposo subcutâneo e o visceral (ELLIS, 2000). A monitoração das alterações do tecido adiposo visceral e do tecido adiposo subcutâneo é de grande interesse na atualidade, principalmente, tendo em vista o problema do risco aumentado do acréscimo de gordura abdominal, associado a determinadas condições clínicas (ELLIS, 2000).

São válidas, para a ressonância, algumas ressalvas, semelhantemente ao que foi referido no caso da tomografia computadorizada.

g) **Hidrodensitometria** (ELLIS, 2000; ELLIS, 2001) - Esta técnica foi desenvolvida no final da década de 40 do século passado. É fundamentada na premissa de que o corpo humano consiste de dois componentes químicos, a gordura e a massa magra, cada um com densidade conhecida e constante. O objetivo da técnica é a determinação da densidade do corpo, o que implica na completa submersão do indivíduo na água. O volume de água deslocado e/ou o peso do indivíduo aferido sob a água, combinados com o peso do corpo previamente verificado, são utilizados para a determinação da densidade do corpo. A partir deste valor, calcula-se, por equação, a porcentagem de gordura do corpo e, então, o teor total de gordura e a massa magra do corpo.

A técnica inclui a medida do volume de ar residual do pulmão, que pode ser determinado pela diluição do oxigênio com um sistema espirométrico de circuito fechado. Mesmo com este cuidado, existe um erro de cerca de 1% na aferição dos resultados. Se o volume residual não for medido, existe um acréscimo de erro de 3 a 4% na estimativa da porcentagem de gordura do corpo.

As limitações desta técnica incluem: 1) aceitar as premissas da constância da densidade da gordura e, principalmente, da massa magra do corpo; 2) a exigência de submersão sob água, que impossibilita o uso da técnica em crianças, idosos e doentes.

h) **Pletismografia** (FIELDS *et al.*, 2002) - A pletismografia com deslocamento de ar foi desenvolvida para medir o volume do corpo sem que seja necessário recorrer à submersão da pessoa examinada. O aparelho consiste de duas câmaras: a câmara para medida, onde a pessoa fica sentada e, contígua, a câmara de referência. Entre as duas câmaras, há um diafragma, controlado eletronicamente. O diafragma produz alterações de volume e flutuação de pressão em ambas as câmaras. As flutuações de pressão são utilizadas para a avaliação do volume do corpo do indivíduo examinado. O teste inclui quatro etapas: 1) estima-se, em primeiro lugar, o volume da câmara vazia; 2) introduz-se um cilindro de 50 litros, para verificação da relação entre um dado volume e a amplitude da variação da pressão em ambas as câmaras; 3) então, o indivíduo que será testado entra na câmara, usando roupa especial para natação; o volume do corpo é determinado; 4) finalmente, o indivíduo é conectado a um circuito de respiração, localizado na câmara posterior; os volumes respiratórios são medidos, com determinação do volume de ar respiratório residual. O volume final do corpo é baseado no volume inicial do corpo, corrigido pelos valores correspondentes às alterações produzidas pelo efeito térmico do ar em torno da superfície da pele e pelos valores do volume de gás dos pulmões. A partir do peso e do volume corrigido do corpo, é calculada a densidade do corpo (FIELDS *et al.*, 2002).

A vantagem desta técnica consiste no fato de não haver necessidade da submersão em água; entretanto, o método tem limitações similares à da hidrodensitometria.

i) **Condutividade elétrica total do corpo** (ELLIS, 2000)- Por esta técnica, mede-se a condutividade total do corpo (*total body electrical conductivity - TOBEC*). A pessoa examinada é colocada em um tubo em que é gerado um campo eletromagnético. Com isso, são induzidas correntes elétricas que transitam pelos tecidos condutores do corpo. O procedimento resulta em alteração do campo eletromagnético e absorção, pelo corpo, de pequena quantidade de energia, que é dissipada como calor. O volume do corpo é calculado a partir da energia liberada, considerando-se o comprimento da pessoa examinada. Desta maneira, a técnica tem, como finalidade, a medida do volume da água total do corpo, o que permite, indiretamente, estimarem-se o teor e a porcentagem de gordura e a massa sem gordura do corpo (BARDEN *et al.*, 2002).

j) **Técnicas de diluição** - *Estimativa do valor da água total do corpo* - As técnicas de diluição consistem na administração, por boca ou pela veia, de quantidade conhecida de um traçador, que vai diluir-se no compartimento a que ele tem acesso. O traçador adequado é uma substância que se distribui homoganeamente no compartimento de interesse e, durante o período do teste, não é metabolizado. Decorrido o tempo de equilíbrio, colhe-se amostra de sangue, urina ou saliva, material em que é determinada a concentração do traçador. O valor do volume do compartimento a ser estudado é calculado por equação que se baseia: 1) na dose do traçador; 2) na quantidade excretada durante o período de equilíbrio; 3) na concentração do traçador na amostra coletada após o tempo de equilíbrio e 4) no tempo zero, antes da introdução do traçador (ELLIS, 2000).

Em adultos sadios e adolescentes, o teor de água da massa sem gordura é relativamente constante: 0,732L por kg (WANG *et al.*, 1999). Desta maneira, a medida da água total do corpo fornece, indiretamente, uma estimativa da massa sem gordura. Atualmente, a medida da água total do corpo é baseada nos isótopos estáveis deutério (^2H) e oxigênio-18 (^{18}O), segundo os princípios da técnica de diluição. Em ambos os casos, a análise é realizada pela espectroscopia de massa (ELLIS, 2000).

Quanto ao líquido extracelular, o traçador mais comumente empregado é o Br não radioativo, sendo as amostras (de plasma) analisadas pela cromatografia líquida de alta eficiência (ELLIS, 2000).

Para estimativa do volume de líquido intracelular, atualmente têm sido usadas as duas técnicas anteriores, sendo o valor da água intracelular obtido pela diferença entre a água total do corpo e a água extracelular (ELLIS, 2000).

k) **Determinação do potássio total do corpo** (ELLIS, 2000)- O ^{40}K representa um pequena porcentagem do potássio natural e emite radiação γ de alta energia. A radiação existente no corpo é de nível que permite a contagem externa. Detectores de raios γ são utilizados para obter medidas bastante exatas do teor de ^{40}K no homem. Para este procedimento, utilizam-se contadores corporais totais.

O teor de potássio total do corpo foi, de início, utilizado como um marcador para a massa celular (MOORE *et al.*, 1963) e, também, para estimativa da massa sem gordura do corpo. Valores das estimativas de potássio total do corpo para a massa sem gordura, em mEq/kg, oscilam entre 52,0 a 64,0 no caso de mulheres e entre 60,0 e 67,8 para homens (ELLIS, 2000).

l) **Análise de ativação por nêutrons** (ELLIS, 2000)- Esta metodologia trouxe importante contribuição para estudos da composição do corpo, porque ela permite a análise direta de praticamente todos os elementos do corpo humano *in vivo*. Baseia-se no fato de que, quando os átomos são expostos a nêutrons, eles passam a liberar o excesso de energia sob a forma de radiação γ , que pode ser detectada usando um aparelho de monitoração equivalente àquele usado para a contagem do ^{40}K (ELLIS, 2000). Os elementos mais freqüentemente medidos são o cálcio e o nitrogênio total do corpo (ELLIS, 2000).

O nitrogênio pode ser utilizado para calcular a proteína corporal total; o cálcio, o sódio, o cloro e o fósforo podem ser utilizados para cálculo da massa mineral óssea e o volume do líquido extracelular. O carbono, por sua vez, é útil em modelo para estimativa da gordura total do corpo. Uma técnica utilizada para medir a gordura do corpo a partir do carbono é a dispersão inelástica por nêutrons (*neutron-inelastic-scattering method*). Nesta técnica, nêutrons, necessários para a irradiação do carbono, são produzidos por um gerador de nêutrons. Os nêutrons, por sua vez, levam à produção de raios gama a partir da dispersão de nêutrons dos núcleos de ^{12}C do corpo da pessoa examinada (KEHAHYIAS *et al.*, 1997).

A aparelhagem envolvida é representada por instrumentos de alta complexidade técnica e bastante onerosos. Problema associado importante é a exposição à radiação.

m) **Metabólitos urinários** (HEETDERKS-COX, 1997) - Dois metabólitos urinários, a creatinina e a 3-metil-histidina têm sido utilizados para estimar a musculatura esquelética e a massa magra. Isto se baseia no fato de que ambos os metabólitos são produtos finais do metabolismo muscular esquelético. A creatina, distribuída principalmente nas células musculares, é convertida em creatinina e é excretada inalterada na urina. A 3-metil-histidina é produto final catabólico da destruição da actinmiosina. Verificou-se existir boa correlação entre a excreção urinária de ambas as substâncias, em 24 horas, e a massa muscular esquelética.

O índice creatinina-altura (*creatinine height index*: CHI) estima a massa muscular por comparação do valor encontrado, com aquele normal para a mesma altura, idade e sexo, expresso em porcentagem. Resultado de 100% indica massa muscular normal; resultados menores que 80% indicam depleção da musculatura esquelética e de 60% ou menos, depleção muscular grave. Há requisitos para que a interpretação do exame seja válida. Assim: 1) é preciso que se tenha certeza de que toda a urina foi coletada no período de 24 horas; 2) levar em consideração que a ingestão de alimentos que contêm carne aumentam a excreção urinária de creatinina; 3) que o indivíduo não esteja em uma fase catabólica, situação em que pode haver degradação protéica muscular; 4) que a função renal seja normal. Note-se que a excreção da creatinina decresce com a idade, podendo em idosos fornecer valores de interpretação sujeita a erros.

Considerações semelhantes podem ser feitas quanto à 3-metil-histidina. Há também críticas relacionadas ao fato de existirem outras fontes de 3-metil-histidina, que não o músculo esquelético. Resultados obtidos em situações de inanição, em traumatismos, queimaduras e estresse também levam à interpretação não inteiramente confiável.

COMENTÁRIOS FINAIS

Esta revisão trata, de maneira sumária, de aspectos teóricos relacionados com o estudo dos compartimentos constituintes do corpo humano e, especialmente, das técnicas utilizadas para sua análise.

HEYMSFIELD *et al.* (1997) dividiram as técnicas para análise da composição do corpo em dois grupos: de um lado, há técnicas cujos dados específicos têm de ser calibrados com dados da mesma natureza, obtidos por técnicas adequadas para sua obtenção. Um exemplo corresponde aos volumes de água total do corpo estimados pela impedância, correlacionados com os resultados da água total do corpo, obtidos por técnica de diluição de isótopos (USDHHS, 1994).

O segundo grupo é constituído pelas melhores técnicas disponíveis para feitura de determinada mensuração; são denominadas técnicas de referência ou padrão ouro. Exemplos são a análise por ativação por nêutrons e a pesagem sob água (hidrostática). A absorciometria de raios-X de dupla energia é freqüentemente citada como técnica de referência para uso em seres humanos e em trabalhos experimentais em animais (ELOWSSON *et al.*, 1998; HEYMSFIELD *et al.*, 1997; PICAUD *et al.*, 1996).

Em nosso meio, os trabalhos desenvolvidos na área da composição do corpo abordam estudos que empregam, mais freqüentemente, a medida das pregas cutâneas e a impedância bioelétrica e, mais raramente, técnicas como absorptometria de raios-X de dupla energia e a tomografia computadorizada. O somatório de pregas cutâneas fornece indicação bastante confiável da gordura do corpo em indivíduos que não apresentam obesidade pronunciada. Importante característica da impedância bioelétrica é sua capacidade de estimar a água total do corpo e, então, a massa magra, quando não há perturbação da hidratação. Quanto à absorptometria, trata-se de técnica que permite obter resultados confiáveis de massa magra, da gordura corporal e do teor de mineral ósseo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS/REFERENCES

- ABRAHAMSEN, B.; HANSEN, T.B.; HOGSBERG, I.M.; PEDERSEN, F.B.; BECK-NIELSEN, H. Impact of hemodialysis on dual X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance measurements, and anthropometry. *Am. J. Clin. Nutr.* v.63, n.1, p.80-86, 1996.
- ANSELMO, M.A.C.; BURINI, R.C.; ANGELELI, A.Y.O.; MOTA, N.G.S.; CAMPANA, A.O. Avaliação do estado nutricional de indivíduos adultos saudáveis de classe média. Ingestão energética e protéica, antropometria, exames bioquímicos do sangue e testes de imunocompetência. *Rev. Saúde Públ.*, São Paulo. v.26, n.1, p.46-53, 1992.
- BARDEN, E.M.; KAWCHAK, D.A.; OHENE-FREMONG, K.; STALLINGS, V.A.; ZEMEL, B. Body composition in children with sickle cell disease. *Am. J. Clin. Nutr.* v.76, p.218-225, 2002.
- BAUMGARTNER, R.N. In A.F. Roche, S.B. Heymsfield, & T.G. Lohman, Eds. *Human Body Composition Human Kinetics*, Champaign, IL. 1996, p 79-107.
- BERGSTRÖM, J. Muscle electrolytes in man. Determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens. A study on normal subjects, kidney patients, and patients with chronic diarrhoea. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* v. 14, Suppl. 68, p.1-100, 1962.
- BISHOP, C.W.; BOWEN, P.E.; RITCHEY, S.J. Norms for nutritional assessment of American adults by upper arm anthropometry. *Am. J. Clin. Nutr.* v.34, n.11, p.2530-2539, 1981.
- BOUDEL-MARCHASSON, I.; JOSEPH, P.A.; DEHAIL, P.; BIRAN, M.; FAUX, P.; RAINFRAY, M.; EMERIAN, J.P.; CANIONI, P.; THIANDIÈRE, E. Functional and metabolic early changes in calf muscle occurring during nutritional repletion in malnourished elderly patients. *Am. J. Clin. Nutr.* v.73, n.4, p.832-838, 2001.
- BROZEK, J.; GRANDE, F.; ANDERSON, J.T.; KEYS, A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* v.110, n. Sep 26, p.113-140, 1963.
- CAMPANA, A.O.; ANDRADE, D.R.; GAZONI, E.; BURINI, R.C.; NEVES, D.P. Water, fat, sodium, potassium and chloride content of skeletal muscle in "normal" subjects. *Rev. Bras. de Pesquisas Med. e Biol.* v.4, n.6, p.409-415, 1971.
- CORCORAN, C.; ANDERSON, E.J.; BURROWS, B.; STANLEY, T.; WALSH, M.; POULOS, A.M.; GRINSPOON, S. Comparison of total body potassium with other techniques for measuring lean body mass in men and women with AIDS wasting. *Am. J. Clin. Nutr.* v.72, n.4, p.1053-1058, 2000.

DAVIES, P.S.W. Anthropometry and body composition. In S.J. Ulijaszek, & C.G.N. Mascie-Taylor, Eds. *Anthropometry: the individual and the population*, Cambridge University Press, Cambridge. 1994, p.130-140.

DURNIN, J.V.G.A.; 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.* v.32, n.1, p.77-97, 1974.

ELLIS, K.J. Human body composition: in vivo methods. *Physiol. Rev.* v.80, n.2, p.649-680, 2000.

ELLIS, K.J. Selected body composition methods can be used in field studies. *J. Nutr.* v.131, n.5, p.1589S-1595S, 2001.

ELWSSON, P.; FORSLUND, A.H.; MALLMIN, H.; FEUK, U.; HANSSON, I.; CARLSTEN, J. An evaluation of dual-energy X-ray absorptiometry and underwater weighing to estimate body composition by means of carcass analysis in piglets. *J. Nutr.* v.128, n.9, p.1543-1549, 1998.

FIELDS, D.A.; GORAN, M.I.; MCCRORY, M.A. Body-composition assessment via air displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* v.75, n.3, p.453-467, 2002.

FORBES, G.B. Body composition: overview. *J. Nutr.* v.129, n.1S, p.270S-272S, 1999.

FOSTER, K.R.; LUKASKI, H.C. Whole-body impedance – what does it measure? *Am. J. Clin. Nutr.* v.64, n.3 Suppl, p.388S-396S, 1996.

FRISANCHO, A.R. *Anthropometric standards for the assessment of growth and nutritional status*. The University of Michigan Press, Michigan. 1999. 189p.

FRISANCHO, A.R. New norms of upper limb fat and muscle areas for assessment of nutritional status. *Am. J. Clin. Nutr.* v.34, n.11, p.2540-2545, 1981.

FRISANCHO, A.R. Triceps skin fold and upper arm muscle size norms for assessment of nutrition status. *Am. J. Clin. Nutr.* v.27, n.10, p.1052-1058., 1974.

GODOY, I.; CASTRO E SILVA, M.H.; TOGASHI, R.H.; GERALDO, R.C.C.; CAMPANA, A.O. Is chronic hypoxemia in patients with chronic obstructive pulmonary disease associated with more marked nutritional deficiency? A study of fat free mass evaluated by anthropometry and bioelectrical impedance methods. *J. Nutr. Health Aging.* v.4, n.2, p.102-108, 2000.

GODOY, I.; PAIVA, S.A.R.; CAMPANA, A.O. Estado nutricional de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica: estudo longitudinal de 1 ano. *J. Pneumol.* v.17, n.4, p.159-165, 1992.

GOING, S.B. Densitometry. In A.F. Roche, S.B. Heymsfield, & T.G. Lohman, Eds. *Human Body Composition Human Kinetics*, Champaign IL. 1996, p.3-23.

GOODPASTER, B.H. Measuring body fat distribution and content in humans. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* v.5, n.5, p.481-487, 2002.

GOODPASTER, B.H.; THAETE, F.L.; KELLEY, D.E. Thigh adipose tissue distribution is associated with insulin persistence in obesity and in type 2 diabetes mellitus. *Am. J. Clin. Nutr.* v.71, n.4, p.885-892, 2000.

GREEN, M.H.; GREEN, J.B. The application of compartmental analysis to research in nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* v.10, p.41-61, 1990.

GRINSPOON, S.; THOMAS, L.; MILLER, K.; PITTS, S.H.D.; KLIBANSKI, A. Changes in regional fat redistribution and the effects of strogen during spontaneous weight gain in women with anorexia nervosa. *Am. J. Clin. Nutr.* v.73, n.5, p.865-869, 2001.

HAMBURGER, J.; MATHÉ, G. *Physiologie normale et pathologique du métabolisme de l'eau*. Paris. Médicales Flammarion, Ed. 1952. 502p.

HEETDERKS-COX, J.E. The comprehensive nutritional assessment. In S.A. Shikora, & G.L. Blackburn, Eds. *Nutrition support. Theory and therapeutics* Chapman & Hall, New York. 1997, p.30-53.

- HEYMSFIELD, S.B.; TIGHE, A.; WANG, Z.M. Nutritional assessment by anthropometric and biochemical methods. In M. Shils, J.A. Olson, & M. Shike, Eds. *Modern Nutrition in Health and Disease* Philadelphia. Lea & Febiger, 1994, p.812-841.
- HEYMSFIELD, S.B.; WAKI, M. Body composition in humans: advances in the development of multicompartiment chemical models. *Nutr. Rev.* v.49, n.4, p.97-108, 1991.
- HEYMSFIELD, S.B.; WANG, Z.M.; BAUMGARTNER, R.N.; ROSS, R. Human body composition: advances in models and methods. *Annu. Rev. Nutr.* v.17, p.527-558, 1997.
- HEYWARD, V.H.; STOLARCZYK, L.M. Método de dobras cutâneas. In V.H. Heyward, e L.M. Stolarczyk, Eds. *Avaliação da composição corporal aplicada*. Manole, São Paulo, SP. 2000, p.23-46.
- HILDRETH, H.G.; JOHNSON, R.K.; GORAN, M.I.; CONTOMPASIS, S.H. Body composition in adults with cerebral palsy by dual-energy X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance analysis and skinfold anthropometry compared with ¹⁸O isotope-dilution technique. *Am. J. Clin. Nutr.* v.66, n.6, p.1436-1442, 1997.
- HOUTKOOPER, L.B.; LOHMAN, T.G.; GOING, S.B.; HOWELL, W.H. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am. J. Clin. Nutr.* v.64, n.3 Suppl, p.436S-448S, 1996.
- HUNTER, G.R.; WEINSIER, R.L.; GOWER, B.; WETZSTEIN, C. Age-related decrease in resting energy expenditure in sedentary white women: effects of regional differences in lean and fat mass. *Am. J. Clin. Nutr.* v.73, n.2, p.333-337, 2001.
- JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Generalized equations for predicting body density of man. *Br. J. Nutr.* v.40, n.3, p.497-504, 1978.
- JORDÃO JR, A.A.; BELLUCI, A.D.; VANNUCCHI, H.; DUTRA DE OLIVEIRA, J.E.; MARCHINI, J.S. Determinação direta da composição corporal: tomografia computadorizada. *Cadernos de Nutrição* v.11, n.1, p.1-9, 1996.
- KAMIMURA, M.A.; AVESANI, C.M.; FERNANDES CANZIANI, M.E.; DRAIBE, S.A.; CUPPARI, L. SANTOS, N.S.J. Comparison of three methods for the determination of body fat in patients on long-term hemodialysis therapy. *J. Am. Diet. Assoc.* v.103, n.2, p.195-199, 2003.
- KAMIMURA, M.A.; DRAIBE, S.A.; SIGULEM, D.M.; CUPPARI, L. Métodos de avaliação da composição corporal em pacientes submetidos à hemodiálise. *Rev. Nutr.* v.17, n.1, p.97-105, 2004.
- KEHAYIAS, J.J.; FIATARONE, M.A.; ZHUANG, H.; ROUBENOFF, R. Total body potassium and fat: relevance to aging. *Am. J. Clin. Nutr.* v.66, n.4, p.904-910, 1997.
- KOTLER, D.P.; BURASTERO, S.; WANG, J.; PIERSON JR, R. Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effects of race, sex, and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* v.64, n.3 Suppl, p.489S-497S, 1996.
- KYLE, U.G.; BOSAEUS, I.; DE LORENZO, A.D.; DEURENBERG, P.; ELIA, M.; GOMEZ, J.M.; HEITMANN, B.L.; KENT-SMITH, L.; MELCHIOR, J.C.; PIRLICH, M.; SCHARFETTER, H.; SCHOLS, A.M.; PICHARD, C. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin. Nutr.* v.23, n.5, p.1226-1243, 2004.
- LEE, R.C.; WANG, Z.; HEO, M.; ROSS, R.; JANSSEN, I.; HEYMSFIELD, S.B. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am. J. Clin. Nutr.* v.72, n.3, p.796-803 Erratum in: *Am. J. Clin. Nutr.* 77, n.3, p.795-995, 2001.
- LO, W.K.; PROWANT, B.F.; MOORE, H.L.; GAMBOA, S.B.; NOLPH, K.D.; FLYNN, M.A.; LONDEREE, B.; KESHAVIAH, P.; EMERSON, P. Comparison of different measurements of lean body mass in normal individuals and in chronic peritoneal dialysis patients. *Am. J. Kidney Dis.* v.23, n.1, p.74-85, 1994.
- LOHMAN, T.G. *Anthropometric stadardization reference manual*, Champaign, IL.1988. 177p.

LOHMAN, T.G. Skinfolds and body density and their relation to body fatness: a review. *Hum. Biol.* v.53, n.2, p.181-225, 1981.

LUKASKI, H.C. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* v.64, n.3 Suppl, p.397S-404S, 1996a.

LUKASKI, H.C. Estimation of muscle mass. In A.F. Roche, S.B. Heymsfield, & T.G. Lohman, Eds. *Human body composition Human Kinetics*, Champaign, IL. 1996b, p.109-128.

LUKASKI, H.C. Soft tissue composition and bone mineral status: evaluation by dual-energy X-ray absorptiometry. *J. Nutr.* v.123, n.2 Suppl, p.438-443, 1993.

MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. *Krause's food, nutrition, and diet therapy*. Philadelphia. W.B. Saunders Company, 2000. 1194p.

MCDERMOTT, A.Y.; SHEVITZ, A.; KNOX, T.; ROUBENOFF, R.; KEHAYIAS, J.; GORBACH, S. Effect of highly active antiretroviral therapy on fat, lean, and bone mass in HIV-seropositive men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* v.74, n.5, p.679-686, 2001.

MOORE, F.D. *Metabolic care of the surgical patient*. Philadelphia. W.B. Saunders Co., 1959. 1011p.

MOORE, F.D.; OLESEN, K.H.; MCMURREY, J.D.; PARKER, H.V.; BALL, M.R.; BOYDEN, C.M. *The body cell mass and its supporting environment—body composition in health and disease*. Philadelphia. WB Saunders Co., 1963. 535p.

NITACS. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. *Am. J. Clin. Nutr.* v.64, n.3 Suppl, p.524S-532S, 1996.

NORGAN, N.G.; FERRO-LUZZI, A. The estimation of body density in men: are general equations general? *Ann. Hum. Biol.* v.12, n.1, p.1-15, 1985.

PAIVA, S.A.R.; GODOY, I.; PADOVANI, C.R.; GERALDO, R.R.; CAMPANA, A.O. O uso das pregas cutâneas e da circunferência muscular do braço no diagnóstico de desnutrição energético-proteica em pacientes adultos: estudo crítico. *Rev. Hosp. Clin. Fac. Med. S. Paulo*, v.47, n.5, p.223-230, 1992.

PATEL, R.V.; MATTHIE, J.R.; WITHERS, P.O.; PETERSON, E.L.; ZAROWITZ, B.J. Estimation of total body and extracellular water using single- and multiple-frequency bioimpedance. *Ann. Pharmacother* v.28, n.5, p.565-569, 1994.

PICAUD, J.C.; RIGO, J.; NYAMUGABO, K.; MILET, J.; SENTERRE, J. Evaluation of dual-energy X-ray absorptiometry for body composition assessment in piglets and term human neonates. *Am. J. Clin. Nutr.* v.63, n.2, p.157-163, 1996.

PICHARD, C.; KYLE, U.G.; JANSSENS, J.P.; BURDET, L.; ROCHAT, T.; SLOSMAN, D.O.; FITTING, J.W.; THIEBAUD, D.; ROULET, M.; TSCHOPP, J.M.; LANDRY, M.; SCHUTZ, Y. Body composition by X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance in chronic respiratory insufficiency patients. *Nutrition* v.13, n.11-12, p.952-958, 1997.

PROBST, M.; GORIS, M.; VANDEREYCKEN, W.; COPPENOLLE, H.V. Body composition of anorexia nervosa patients assessed by underwater weighing and skinfold-thickness measurements before and after weight gain. *Am. J. Clin. Nutr.* v.73, n.2, p.190-197, 2001.

ROMBEAU, J.L.; CALLWELL, M.D.; FORLAW, L.; GUENTER, P.A. *Atlas of nutritional support techniques*. Boston. Little, Brown and Co., 1989. 331p.

SARDINHA, L.B.; LOHMAN, T.G.; TEIXEIRA, P.J.; GUEDES, D.P.; GOING, S.B. 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.* v.68, n.4, p.786-793, 1998.

SEGAL, K.R. Use of bioelectrical impedance measurement for estimation of extracellular water in normal adult males. *Age Nutr.* v.5, p.97-101, 1994.

SHAH, S.; WHALEN, C.; KOTLER, D.; MAYANJA, H.; NAMALE, A.; MELIKIAN, G.; MUGERVA, R.; SEMBA, R.D. Severity of human immunodeficiency virus infection is associated with decreased phase angle, fat mass and body cell mass in adults with pulmonary infection in Uganda. *J. Nutr.* v.131, n.11, p.2843-2847, 2001.

SUN, M.; GOWER, B.A.; BARTOLUCCI, A.A.; HUNTER, G.R.; FIGUEROA-COLON, R.; GORAN, M.I. A longitudinal study of resting energy expenditure relative to body composition during puberty in African American and white children. *Am. J. Clin. Nutr.* v.73, n.2, p.308-315, 2001.

USDHHS *Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. National Institute of Health. Technology Assessment Conference Statement.* U.S. Department of Health and Human Services, Bethesda, 1994. 35p.

WANG, Z.; DEURENBERG, P.; WANG, W.; PIETROBELLI, A.; BAUMGARTNER, R.N.; HEYMSFIELD, S.B. Hydration of fat-free mass. Review and critique of a classic body composition constant. *Am. J. Clin. Nutr.* v.69, n.5, p.833-841, 1999.

WANG, Z.M.; PIERSON JR, R.N.; HEYMSFIELD, S.B. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am. J. Clin. Nutr.* v.56, n.1, p.19-28, 1992.

YAO, M.; ROBERTS, S.B.; MA, G.; PAN, H.; MCCRORY, M.A. Field methods for body composition assessment are valid in healthy Chinese adults. *J. Nutr.* v.132, n.2, p.310-317, 2002.

ZHU, S.; WANG, Z.; SHEN, W.; HEYMSFIELD, S.B.; HESHKA, S. Percentage body fat ranges associated with metabolic syndrome risk: results based on the third National Health and Nutrition Examination Survey (1988-1994). *Am. J. Clin. Nutr.* v.78, n.2, p.228-235, 2003.

Recebido para publicação em 01/03/04.
Aprovado em 22/10/04.