



ELSEVIER

Revista da
ASSOCIAÇÃO MÉDICA BRASILEIRA

www.ramb.org.br



Artigo original

Validade dos métodos para avaliação da gordura corporal em crianças e adolescentes por meio de modelos multicompartimentais: uma revisão sistemática[☆]

Danilo R.P. Silva^{a,*}, Alex S. Ribeiro^a, Fernando H. Pavão^a, Enio R.V. Ronque^a, Ademar Avelar^a, Analiza M. Silva^b e Edilson S. Cyrino^a

^a Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil

^b Exercise and Health Laboratory, CIPER, Fac Motricidade Humana, Univ Tecn Lisboa, Cruz-Quebrada, Portugal

INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

Histórico do artigo:

Recebido em 16 de janeiro de 2013

Aceito em 23 de março de 2013

On-line em 10 de outubro de 2013

Palavras-chave:

Adiposidade

Validade

Jovens

R E S U M O

Objetivo: Analisar a validade de métodos para avaliação de gordura corporal em crianças e adolescentes.

Métodos: A busca foi realizada por dois pesquisadores independentes, nas bases eletrônicas MEDLINE, BioMed Central, SciELO e LILACS. Como critérios de inclusão, os artigos deveriam ser escritos nas línguas inglesa ou portuguesa, ter utilizado como medida critério modelos multicompartimentais, com medida de gordura corporal em crianças e adolescentes não atletas.

Resultados: A busca preliminar resultou em 832 artigos, e após todas as etapas de seleção 12 compuseram esta revisão. Os trabalhos selecionados foram publicados entre 1997 e 2010, com amostras formadas por crianças e adolescentes com níveis de gordura corporal relativa de 20,7-41,4%. Os métodos utilizados foram: absorptometria radiológica de dupla energia (58,3%), diluição de isótopos (41,6%), espessura de dobras cutânea (33,3%), pesagem hidrostática (25%), impedância bioelétrica (25%), pletismografia por deslocamento de ar (16,6%) e condutividade elétrica corporal total (8,3%).

Conclusão: A partir da análise dos estudos, concluímos que os métodos diluição de isótopos e pletismografia por deslocamento de ar foram os que se apresentaram mais confiáveis, apesar do número reduzido de investigações. Já para a utilização clínica e em estudos populacionais, a equação de Slaughter et al., que utiliza a espessura das dobras cutâneas tricipital e subescapular, foi a que apresentou melhores resultados para avaliação da gordura corporal nessa população.

© 2013 Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

[☆] Trabalho realizado na Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

* Autor para correspondência.

E-mail: danilorpsilva@hotmail.com (D.R.P. Silva).

0104-4230/\$ – see front matter © 2013 Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ramb.2013.03.006>

Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review

A B S T R A C T

Keywords:
Adiposity
Validity
Youth

Objective: To analyze the validity of methods to assess body fat in children and adolescents using a systematic review.

Methods: The search was conducted by two independent researchers using the MEDLINE, BioMed Central, SciELO and LILACS electronic databases. For inclusion, the articles should be written in English or Portuguese, and must have used multi-compartment models as the criterion measure of the model, with body fat measurement of whole body in non-athlete children and adolescents.

Results: A preliminary search resulted in 832 studies. After all selection steps were performed, 12 articles were included. The selected studies were published between 1997 and 2010, whose samples consisted of children and adolescents with levels of relative body fat ranging from 20.7% to 41.4%. The methods used were: dual energy X-ray absorptiometry (58.3%), isotope dilution (41.6%), skinfold thickness (33.3%), hydrostatic weighing (25%), bio-electrical impedance analysis (25%), air displacement plethysmography (16.6%), and total body electrical conductivity (8.3%).

Conclusions: Based on the analysis of the studies, isotope dilution and air displacement plethysmography methods were the most reliable, despite the limited number of studies. As for clinical use or for population-based studies, the equation of Slaughter et al. (1998), which uses the triceps and subscapular skinfolds thickness, showed the best results for assessment of body fat in this population.

© 2013 Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

Introdução

Com os avanços nos métodos e nas técnicas de avaliação da composição corporal, em conjunto com o desenvolvimento de novos equipamentos que permitem a identificação mais precisa dos diferentes componentes corporais, a utilização de modelos multicompartmentais tem se destacado no campo da pesquisa. Entretanto, apesar da elevada qualidade das informações produzidas, modelos multicompartmentais (quatro ou mais compartimentos) ainda apresentam algumas desvantagens frente aos modelos bi- ou tricompartmentais, tais como a necessidade da utilização de equipamentos sofisticados, de alto custo e com grande complexidade operacional, limitando sua aplicação em diferentes campos de atuação profissional, no ambiente clínico e em estudos populacionais.

Nesse sentido, métodos relativamente simples e de menor custo financeiro e operacional têm recebido a preferência de profissionais nas áreas de saúde e do esporte para a avaliação da composição corporal em diferentes populações. Todavia, para obtenção de diagnósticos mais confiáveis e menos suscetíveis a equívocos de interpretação, é necessário que esses métodos sejam validados a partir de modelos confiáveis, com análise baseada em procedimentos estatísticos adequados.

Em crianças e adolescentes a avaliação da composição corporal parece ser um desafio ainda maior, uma vez que de acordo com a fase de crescimento e maturação biológica existe uma grande variação nos diversos componentes corporais (água, proteínas, minerais etc.) desde o nascimento até a idade adulta. Essa variação pode afetar de forma significativa a estimativa da massa de gordura (MG) e da massa livre de gordura (MLG), sobretudo em modelos bicompartimentais. Além

disso, outros fatores, tais como sexo e etnia, podem favorecer o aumento dos erros de estimativa desses componentes.¹ Assim, a proposta do presente estudo foi analisar a validade dos métodos utilizados para a estimativa de gordura corporal em crianças e adolescentes não atletas, por meio de uma revisão sistemática.

Métodos

Em dezembro de 2012, a partir do registro mais antigo, as seguintes bases de dados foram pesquisadas: MEDLINE, BioMed Central, SciELO e LILACS. Além disso, as referências dos artigos identificados foram pesquisadas manualmente. As seguintes palavras-chave foram utilizadas na busca das informações desejadas: “avaliação”, “validade”, “validação”, “acurácia”, “gordura corporal”, “adiposidade” e “adolescentes” e suas respectivas traduções para o inglês. Os operadores booleanos utilizados foram AND e OR. Como critérios de inclusão os artigos deveriam ser escritos na língua inglesa ou portuguesa; ter delineamento transversal; ter adotado como medida de referência modelos multicompartmentais; apresentar medida de gordura corporal em crianças e adolescentes não atletas. Dois revisores independentes avaliaram, selecionaram e encaminharam os artigos a um terceiro revisor. Este último foi responsável por verificar concordâncias, resolver discordâncias e, conseqüentemente, estabelecer os artigos que fariam parte da presente revisão.

A busca preliminar resultou em 832 artigos. Após a seleção inicial por meio da análise de títulos e resumos, 591 trabalhos não eram relacionados à temática da revisão, 153 não atendiam à faixa etária de interesse e 45 não adotaram

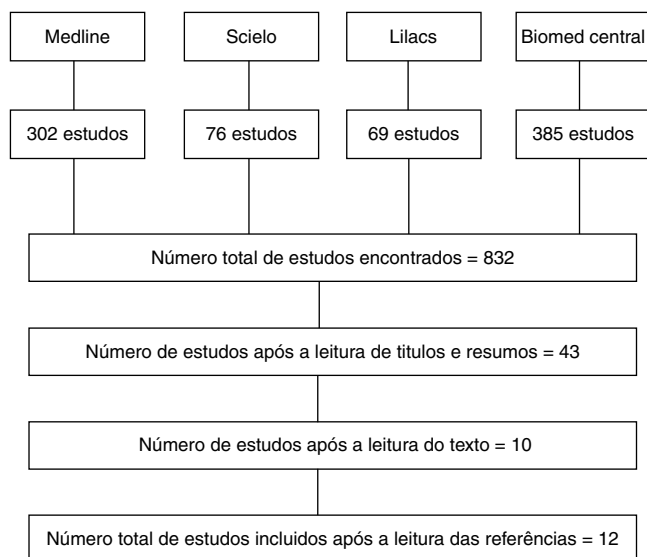


Figura 1 – Estratégia de busca dos estudos de validação de métodos para estimativa de gordura corporal em crianças e adolescentes (dezembro/2012).

o modelo multicompartmental como método de referência. Dessa forma, 43 artigos foram selecionados para leitura completa. Desses, 7 foram realizados com atletas e 26 não adotaram o método de referência estabelecido, totalizando 10 artigos que atendiam todos os critérios de inclusão previamente selecionados. Posteriormente, a partir da análise das referências desses artigos, mais dois trabalhos que atendiam a todos os critérios estipulados foram identificados, estabelecendo o número final de 12 artigos. O processo de seleção dos estudos, de acordo com a base de dados, está apresentado esquematicamente na figura 1.

Resultados

A tabela 1 apresenta a descrição dos estudos que testaram a validade de métodos para estimativa de gordura corporal em crianças e adolescentes e foram incluídos nesta revisão.

De acordo com os resultados, os 12 estudos incluídos e analisados foram publicados entre os anos de 1997 e 2010. De maneira geral, esses estudos têm características distintas sob vários aspectos, desde as especificidades da população estudada até os procedimentos metodológicos e as técnicas de avaliação da composição corporal. As amostras variaram de 20 a 411 sujeitos e, exceto três estudos que investigaram apenas jovens do sexo feminino,²⁻⁴ todos os demais foram desenvolvidos com indivíduos de ambos os sexos. Devido à heterogeneidade entre os sujeitos, constatou-se a preocupação de controlar as possíveis variáveis de confusão na interpretação das informações. As principais são apresentadas na figura 2.

Com relação à faixa etária trabalhada, as idades variaram de 5 a 21 anos. Apenas cinco estudos tiveram suas amostras compostas apenas por adolescentes (10 a 19 anos). Ampla variação também foi observada quanto aos níveis de gordura corporal dos jovens (20,7% a 41,4%).

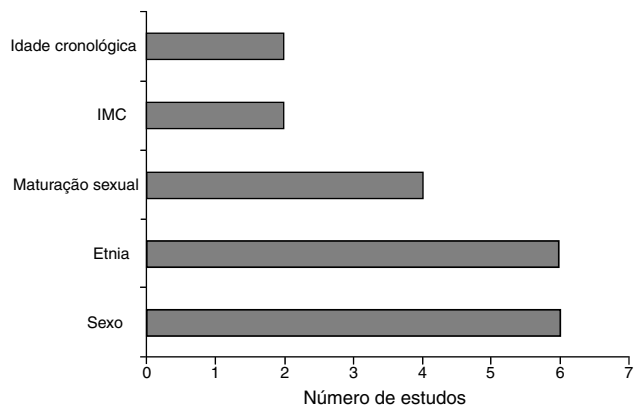


Figura 2 – Principais fatores de confusão adotados pelos 12 estudos selecionados nesta revisão.

Seis diferentes modelos a quatro compartimentos (4C) foram adotados como medida de referência, dos quais 50% adotaram os modelos de Fuller et al.⁵ ou Boileau et al.⁶ Em três estudos,⁷⁻⁹ outros modelos de três e quatro compartimentos foram utilizados para o confronto com os de referência.

Entre os métodos testados destacam-se absorptometria radiológica de dupla energia (DEXA) (58,3%), diluição de isótopos (41,6%), espessura de dobras cutâneas (EDC) (33,3%), pesagem hidrostática (PH) (25%), impedância bioelétrica (BIA) (25%), pletismografia por deslocamento de ar (ADP) (16,6%) e condutividade elétrica corporal total (TOBEC) (8,3%). Em alguns casos, diferentes técnicas e fórmulas foram adotadas para a obtenção da gordura corporal relativa (GCR).

Quanto aos procedimentos estatísticos empregados, todos os estudos realizaram análise de concordância proposta por Bland-Altman¹⁰ entre as medidas e apenas quatro não utilizaram os parâmetros obtidos na análise de regressão múltipla. Pôde-se observar que houve ampla variação nos valores de inclinação (-4,80 a 4,13) e intercepto (-8,33 a 19,26), dependendo do método analisado. Para os valores de coeficiente de determinação (R^2), 27% se mostraram maiores que 0,95, 58% maiores que 0,89 e 79% maiores que 0,80. Além disso, apenas 48% dos EPEs podem ser considerados excelentes.¹¹ Os vieses variaram de próximos de zero (3C - Fuller et al.)⁷ a 23 pontos percentuais (TOBEC - equação 2),² ao passo que, dos limites de concordância (LC) (2DP) analisados, apenas 20% foram menores que 5%. Com relação às principais variáveis de confusão, observou-se que a tendência à distorção nas medidas variou muito ($r = -0,77$ a $r = 0,69$) dependendo da variável em questão, bem como a ordem adotada (método referência/alternativo) na análise de concordância.

Discussão

Ao longo do tempo inúmeras diferenças podem ser observadas nos estudos de validação de métodos para estimativa confiável dos diferentes componentes da composição corporal, seja com relação à amostra estudada, métodos e técnicas empregadas, bem como no tratamento das informações. Assim, ao se analisar os dados disponíveis na literatura é fundamental checar o método utilizado, a qualidade das medidas

Ramirez et al. ²¹	60 (30M)	Sobrepesos e obesos	6 a 14	34,7%	4C (Lohman e Chen 2005)	ADP (Siri 1961)	M=0,98	M=-0,77	M=0,97	M=1,61%	M=-1,80	NR	NR								
							F=0,84	F=5,58	F=0,93	F=1,86%	F=1,80										
							T=0,94	T=1,02	T=0,96	T=1,74	T=1,80										
Roemmich et al. ⁸	47 (24M)	Diferentes estágios maturacionais	10,4 ± 0,4 a 13,4 ± 0,5	21,0%	4C (Lohman 1992)	ADP (Lohman 1989)	M=0,99	M=0,00	M=0,97	M=1,67%	M=0,20	NR	NR								
							F=0,81	F=8,33	F=0,94	F=1,68%	F=-0,40										
							T=0,94	T=2,45	T=0,95	T=1,81%	T=-0,04										
Sopher et al. ¹⁴	411 (236M)	Heterogênea	6 a 18	21,7%	4C (Lohman 1992)	Diluição de ² H ₂ O (Pace e Rathbun 1945)	M=0,94	M=3,99	M=0,95	M=2,06%	M=-1,60	NR	NR								
							F=1,09	F=-0,97	F=0,91	F=2,03%	F=-2,70										
							T=0,97	T=3,06	T=0,93	T=2,12%	T=-2,00										
Wells et al. ⁷	30 (16M)	Praticantes de Natação	8 a 12	20,7%	4C (Fuller et al., 1992)	Diluição de ² H ₂ O (Lohman 1986)	M=0,95	M=1,98	M=0,96	M=1,89%	M=-0,10	NR	NR								
							F=1,14	F=-5,26	F=0,92	F=1,93%	F=-0,60										
							T=0,99	T=0,65	T=0,95	T=1,95%	T=-0,30										
Roemmich et al. ⁸	47 (24M)	Diferentes estágios maturacionais	10,4 ± 0,4 a 13,4 ± 0,5	21,0%	4C (Lohman 1992)	PH (Siri 1961)	NR	NR	0,78	NR	-5,15*	NR	0,39								
							PH (Lohman 1989)	NR	NR	0,78	NR	-1,14*	NR	0,28							
								3C (Lohman 1992)	NR	NR	0,81	NR	-0,40*	6,06	0,20						
								3C (Siri 1961)	NR	NR	0,99	NR	-0,75*	0,99	0,14						
							DEXA	NR	NR	0,71	NR	-1,88*	8,30	0,28							
								EDC (Slaughter et al., 1988) TR + PM	NR	NR	0,61	NR	-0,31*	8,10	0,14						
								EDC (Slaughter et al., 1988) TR + SE	NR	NR	0,62	NR	-0,09*	9,88	0,14						
							Sopher et al. ¹⁴	411 (236M)	Heterogênea	6 a 18	21,7%	4C (Lohman 1992)	BIA (Houtkooper et al., 1982)	NR	NR	0,43	NR	0,68*	11,04	0,47	
														BIA (Boileau 1984)	NR	NR	0,40	NR	2,18*	12,02	0,37
														DEXA	4,13	0,77	0,85	3,66%	-1,01kg*	8,89	NR
							Wells et al. ⁷	30 (16M)	Praticantes de Natação	8 a 12	20,7%	4C (Fuller et al., 1992)	EDC (Slaughter et al., 1988)	NR	NR	NR	NR	-3,50	8,00	-0,55	
														EDC (Johnston et al., 1988)	NR	NR	NR	NR	-7,80	8,60	-0,33
EDC (Deurenberg et al., 1990)	NR	NR	NR	NR	1,40	8,40								-0,59							

Tabela 1 (Continuação)

Referência	N	Amostra	Idade	GCR	Método referência	Método testado	Resultados						
							Análise de regressão			Análise de concordância			
							Inclinação	Intercepto	R ²	EPE	Viés (p.p.)	LC (ZDP) (%)	Tendência
Wells et al. ¹⁵	153 (96F)	Sobrepeso	5 a 21	40,8%	4C (Fuller et al., 1992)	EDC (Brook 1971)	NR	NR	NR	NR	5,20	10,50	-0,06
						BIA (Deurenberg et al., 1989)	NR	NR	NR	NR	5,90	8,60	-0,77
						BIA (Davies et al., 1988)	NR	NR	NR	NR	13,70	8,50	0,29
						BIA (Houtkooper et al., 1989)	NR	NR	NR	NR	-2,70	7,90	0,43
						BIA (Danford et al., 1992)	NR	NR	NR	NR	6,70	7,20	-0,45
						PH (Weststrate e Deurenberg 1989)	NR	NR	NR	NR	-2,00	5,60	-0,07
						PH (Lohman 1989)	NR	NR	NR	NR	-1,15	5,20	-0,04
						DEXA	NR	NR	NR	NR	-0,20	6,50	0,08
						Diluição de ² H ₂ O	NR	NR	NR	NR	0,60	4,90	0,30
						3C (Fuller et al., 1992)	NR	NR	NR	NR	0,00	0,90	-0,30
Williams et al. ¹⁶	89 (48F)	OB e NO	5 a 18	OB = 41,4% NO = 22,0%	4C (Fuller et al., 1992)	DEXA	NR	NR	NR	NR	M = 0,69kg F = 0,96kg T = 0,86kg	M = 3,07 F = 4,74 T = 4,10	M = -0,19 F = 0,30 T = 0,17
						EDC	NR	NR	NR	NR	MNO = -1,74 FNO = 3,51 MO = 1,41	MNO = 3,52 FNO = 3,51 MO = 2,59	MNO = 0,09 FNO = 0,44 MO = -0,54
						EDC (Durmin e Womersley 1974)	CAU = 0,30 AA = -0,29	CAU = 10,05 AA = 10,62	NR	NR	CAU = 2,80 AA = 3,80	CAU = 15,70 AA = 16,10	CAU = 15,70 AA = 16,10
						EDC (Brook 1971)	CAU = 0,16 AA = 0,01	CAU = -1,28 AA = 2,55	NR	NR	CAU = 2,60 AA = 4,60	CAU = 18,80 AA = 19,60	CAU = 18,80 AA = 19,60
Wong et al. ⁴	112F	CAU e AA	9 a 17	23,9%	4C (Boileau et al., 1985)	EDC (Durmin e Rahaman 1967)	CAU = -0,40 AA = -0,48	CAU = 13,83 AA = 17,35	NR	NR	CAU = 4,40 AA = 5,80	CAU = 14,30 AA = 14,90	NR
						EDC (Slaughter et al., 1988)	CAU = -0,09 AA = 0,04	CAU = 2,25 AA = 0,04	NR	NR	CAU = 5,10% AA = 4,50%	CAU = 20,40 AA = 17,70	CAU = 20,40 AA = 17,70

Wong et al. ²	114F	CAU e AA	12,7 ± 1,9 a	23,7%	4C (Boileau et al., 1985)	Conductividade elétrica	EDC (Jackson et al., 1980)	CAU = -0,003 AA = 0,01	CAU = -7,00 AA = -4,78	NR	CAU = 4,50% AA = 4,00%	CAU = -7,10 AA = -4,60	CAU = 17,80 AA = 16,00	NR
							EDC (Slogon et al., 1962)	CAU = -0,28 AA = -0,33	CAU = 3,84 AA = 6,33	NR	CAU = 3,80% AA = 3,70%	CAU = 2,90 AA = -1,70	CAU = 15,40 AA = 14,80	NR
							EDC (Wilmore e Behnke 1970)	CAU = 0,78 AA = -0,69	CAU = 19,26 AA = 18,25	NR	CAU = 3,20% AA = 3,10%	CAU = 0,50 AA = 1,60	CAU = 12,80 AA = 12,40	NR
							EDC (Katch e McArdle 1973)	CAU = 0,62 AA = -4,80	CAU = 5,21 AA = 3,74	NR	CAU = 4,50% AA = 4,90%	CAU = 9,70 AA = -7,80	CAU = 18,40 AA = 19,50	NR
							TOBEC equação 1	CAU = 0,88 AA = 0,78	CAU = 3,40 AA = 5,64	CAU = 0,72 AA = 0,81	CAU = 3,90% AA = 2,90%	CAU = 0,60 AA = 0,30	CAU = 16,00 AA = 13,10	CAU = 0,06 AA = 0,30
							TOBEC equação 2	CAU = 1,32 AA = 0,85	CAU = 1,94 AA = 14,79	CAU = 0,48 AA = 0,64	CAU = 10,20% AA = 4,80%	CAU = 23,00 AA = 11,20	CAU = 46,10 AA = 22,40	CAU = 0,69 AA = 0,11
							DEXA	0,95	5,08	0,81	3,30%	3,90	13,40	NR
							4C (Boileau et al., 1985)							
							9 a 17	24,0%						
							Wong et al. ³	141F	CAU, AA, HIS e AS					

GCR, gordura corporal relativa mensurada pelo método de referência; 4C, modelo a quatro compartimentos; 3C, modelo a três compartimentos; DEXA, absorptometria radiológica de dupla energia; EDC, espessura de dobras cutâneas; TR + PM, dobras cutâneas da região do tríceps e da panturrilha medial; TR + SE, dobras cutâneas da região do tríceps e subescapular; BIA, impedância bioelétrica; PH, pesagem hidrostática; ADP, pletismografia; TOBEC, condutividade elétrica corporal total; ANT, antropometria; EPE, erro padrão de estimativa; p.p., pontos percentuais; NR, não reportado; LC, limite de concordância; T, total; *4C, método alternativo; M, masculino; F, feminino; OB, obesos; NO, não obesos; MO, meninos obesos; MNO, meninos não obesos; FNO, meninas não-obesas; FO, meninas obesas; CAU, caucasiano(a); AA, afro-americano(a); HIS, hispânico(a); ASI, asiático(a).

obtidas e a análise estatística empregada para o tratamento das informações produzidas. Nesse sentido, os procedimentos estatísticos mais empregados historicamente para esse propósito têm sido o teste *t* de Student e os coeficientes de correlação simples (*r*) e de determinação (R^2). Entretanto, os principais investigadores da área da composição corporal têm indicado que esses métodos, de forma isolada, não parecem ser suficientes para discriminar a qualidade das medidas obtidas, principalmente por não permitirem a realização de qualquer inferência sobre a concordância dos valores individuais. Portanto, o que se espera é que o método seja submetido a uma análise não somente dentro do conjunto de valores, mas também na avaliação individual, de modo que a tomada de decisão clínica possa ser mais segura em diferentes situações.

Dentre os estudos que atenderam aos critérios de inclusão desta revisão, todos utilizaram a análise de concordância proposta por Bland e Altman.¹⁰ No entanto, apesar de identificados todos os valores de viés (diferença média dos escores do método investigado e o método de referência), os limites de concordância e a análise de tendência não puderam ser extraídos de todos os estudos em virtude da ausência das informações ou pela imprecisão dos dados apresentados. Dessa forma, destaca-se a importância da apresentação de todos os parâmetros desta análise para melhor compreensão e interpretação dos resultados.

A plotagem proposta por Bland e Altman¹⁰ tem sido adotada para avaliar a concordância entre dois métodos empregados para medida da mesma informação (mesma unidade de medida). Essa análise permite comparar a magnitude das diferenças entre os escores de dois métodos e se a diferença entre as médias está relacionada com variações intersujeitos. Outra vantagem importante é a possibilidade de verificar essa relação em cada indivíduo que compõe a amostra. Essa diferença indica quanto, em média, os dois métodos apresentam discrepância entre si. Obviamente, espera-se que o viés encontrado seja baixo, que os limites de concordância sejam relativamente reduzidos e a tendência não seja confirmada (valores de *r* próximos de zero), demonstrando não haver grande variabilidade intersujeitos.

Já para as análises de regressão, oito estudos apresentaram valores de R^2 , e sete apresentaram valores de intercepto e inclinação. O que se espera mediante a análise das informações da regressão é que os valores de intercepto e inclinação se enquadrem nas características próximas à chamada linha de identidade (intercepto = 0 e inclinação = 1), que o coeficiente de determinação (R^2) seja elevado e que o erro padrão de estimativa seja reduzido.

Absortometria radiológica de dupla energia

Dentre todos os métodos para estimativa da gordura corporal em crianças e adolescentes saudáveis, o mais testado nos estudos analisados foi a DEXA (58,3%). De maneira geral, esse método parece subestimar a GCR^{3,8,12-16} quando comparado a métodos multicompartimentais. No entanto, não foi observada diferença estatisticamente significativa em todas as investigações.⁷ O viés na estimativa de GCR pela DEXA pode ser em parte explicado pelo pressuposto de valores constantes para hidratação da MLG (73,2%), sendo que esta pode variar de 67% a 85%¹⁷ de acordo com as características individuais e

fases da maturação biológica, principalmente. Assim, quanto maior forem os valores da hidratação corporal, maior será a superestimação nos valores de GCR. Vale destacar que os valores critério para água corporal podem variar de acordo com o fabricante do equipamento. Assim, a quantidade de MG é um importante fator interveniente na magnitude do viés, uma vez que tende a ser superestimada nos sujeitos mais gordos¹⁴⁻¹⁶ e subestimada em indivíduos mais magros.^{12,14,16}

Além disso, a quantidade de MG, bem como da MLG, também pode influenciar o viés devido às diferenças na espessura dos tecidos.¹⁸ Nesse sentido, tecidos profundos (> de 20-25 cm) resultam em um aumento na atenuação dos fótons de baixa energia e podem levar a uma superestimação dos valores de gordura corporal.¹⁹ Embora alguns estudos tenham relatado que esse viés ainda pode estar relacionado ao sexo e a estágios da maturação sexual,^{8,15,16} outros estudos não confirmaram essa hipótese para o sexo,¹³⁻¹⁵ maturação^{3,14} ou, até mesmo, para etnia.^{3,14}

Esse conflito de informações pode estar atrelado a importantes diferenças metodológicas entre os estudos, como o tipo e o tamanho da amostra selecionada, além do instrumento utilizado, visto que equipamentos produzidos por diferentes fabricantes utilizam algoritmos distintos para converter as informações radiográficas em valores de gordura corporal, além do que alguns equipamentos não apresentam algoritmos específicos para a população jovem. Além disso, a precisão também pode variar se os feixes são emitidos na forma de caneta ou leque.²⁰ Assim, de maneira geral, quando comparada ao modelo a 4C, tem sido observado que a DEXA apresenta grande LC, e que somado ao viés, principalmente ao analisar sujeitos com percentual de gordura extremos, limita sua validade na avaliação da gordura corporal em crianças e adolescentes, tornando necessária uma precaução na utilização da técnica.

Diluição de isótopos

O segundo método mais frequente nos estudos de validação analisados foi a diluição de isótopos (deutério ou oxigênio 18). Dos estudos selecionados nesta revisão, cinco deles confrontaram os resultados obtidos por meio da diluição de isótopos com o modelo a 4C. Desses, quatro observaram boas estimativas de MG,^{7,13,9,21} e apenas um apresentou resultados desfavoráveis.¹² Nesse estudo, Fields e Goran,¹² ao avaliarem crianças de diferentes etnias, observaram tendência à subestimação da gordura corporal nos indivíduos mais magros e superestimação nos indivíduos mais gordos. Entretanto, a amostra apresentava menor valor de hidratação corporal quando comparada a outros estudos, o que pode ter acarretado erros nas constantes adotadas pelo método, contribuindo assim para a obtenção de valores enviesados de GCR. Dessa forma, apesar do reduzido número de investigações, a utilização da diluição de isótopos, quando comparada a modelos a 4C, se mostrou confiável para a avaliação da gordura corporal em jovens.

Pesagem hidrostática

O método de PH foi testado em apenas três^{7,8,12} dos estudos selecionados. Ainda assim, em outros cinco estudos^{2-4,8,14}

a PH foi utilizada como medida de volume/densidade corporal para os modelos multicompartimentais. A estimativa da gordura corporal por esse método se baseia na medida da densidade corporal para discriminar os componentes da composição corporal. Nesse sentido, existem diferentes equações para estimativa de GCR a partir da densidade corporal. Duas equações são utilizadas com maior frequência para essa finalidade, a de Brozek et al.²² e a de Siri.²³ Entretanto, ambas equações foram obtidas a partir de amostras compostas por adultos e, portanto, assumem valores constantes para a densidade da MG (0,9007 g/cm³) e da MLG (1,100 g/cm³) que não são verdadeiros, particularmente, durante os processos de crescimento e maturação biológica.¹

Outra importante limitação é assumir como verdadeiro o pressuposto que os componentes da MLG se distribuem igualmente e apresentam densidades semelhantes em diferentes populações. Nesse sentido, Lohman²⁴ propôs uma adaptação nas constantes da fórmula de Siri,²³ de acordo com sexo e idade cronológica, e os resultados se mostraram mais confiáveis.¹³

No presente estudo observou-se que diferentes equações para estimativa de GCR a partir da densidade corporal foram utilizadas, sendo a de Lohman²⁵ a mais frequente (dois estudos). No geral, observa-se que as equações desenvolvidas em adultos apresentaram estimativas menos fidedignas. Todavia, mesmo com a utilização da equação adaptada para a faixa etária²⁵ não foi possível estabelecer um padrão de comportamento, sendo que, apesar de em ambos os estudos apresentarem viés negativo (critério – alternativo), Fields e Goran¹² identificaram uma tendência à subestimação nos indivíduos com maior GCR e superestimação nos seus pares mais magros, ao passo que Wells et al.⁷ não observaram qualquer indicativo nesse sentido.

O reduzido número de estudos de validação sobre a PH em crianças e adolescentes pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo fato de diversos pesquisadores a considerarem, ainda, padrão ouro para mensuração da gordura corporal.

Pletismografia por deslocamento de ar

Dos artigos selecionados, cinco utilizaram a ADP, todos por meio da câmara pletismográfica BOD POD® – *Body Composition System*. Dentre eles, apenas dois^{12,13} tiveram o objetivo de verificar a validade desse método, ao passo que os outros utilizaram a medida de volume/densidade corporal nos modelos multicompartimentais. A ADP, apesar de ser um método mais caro do que a PH, elimina o desconforto da submersão na água e exige menor cooperação do avaliado. Essas características fazem com que, gradativamente, a ADP ganhe mais atenção, principalmente em investigações com populações pediátricas.

Assim como na PH, a equação mais utilizada para a estimativa de GCR foi a de Lohman.²⁵ Conforme já esperado, o maior viés observado foi na equação generalizada.²³ As estimativas a partir da equação de Lohman²⁵ não diferiram da linha de identidade, apresentaram baixos erros padrão de estimativa e vieses reduzidos, bem como não pareceram ser afetadas pelos níveis de gordura corporal ou pelo sexo. Dessa forma, sugere-se que a pletismografia, quando seguidos os procedimentos padrão e a equação específica, pode ser um método confiável para mensuração da gordura corporal em

crianças e adolescentes. Entretanto, vale destacar que apenas dois estudos verificaram tal validade. Assim, embora os resultados preliminares sejam promissores, novos estudos, com amostras representativas, são necessários.

Impedância bioelétrica

A estimativa de gordura corporal pelo método de BIA foi comparada ao modelo de 4C em três⁷⁻⁹ dos estudos analisados. Esse método foi o que forneceu a avaliação menos satisfatória da GCR em comparação aos outros métodos testados. Muitas equações estimam inadequadamente, tanto individualmente quanto em grupo.²⁶⁻³⁰ Os principais confundidores na análise das informações desse método foram a quantidade de gordura corporal,⁹ o sexo e a maturação sexual.⁸ Em geral, as equações superestimam a GCR em indivíduos magros e subestimam nos mais gordos. Uma explicação para esse problema está na natureza do método.

Nesse sentido, a BIA foi desenvolvida para estimar a água corporal baseando-se nas informações fornecidas quanto à oposição oferecida a uma corrente elétrica. Dessa forma, os dados sugerem que com o aumento da quantidade de gordura corporal, a condutividade elétrica é sistematicamente alterada, uma vez que a massa gorda apresenta menor hidratação em relação à MLG. Atrelado a isso, outros fatores podem alterar a qualidade dos resultados, dentre os quais destacam-se o nível de hidratação, a temperatura cutânea, horário de coleta, ciclo menstrual e a existência de objetos de metal junto ao corpo.¹ Assim, apesar de ser um método simples, de fácil aplicação e de baixo custo operacional, a BIA aparentemente não oferece uma boa estimativa de gordura corporal em jovens. Todavia, as equações com maior aceitação parecem ser a de Bray et al.³¹ e de Schaefer et al.³²

Condutividade elétrica corporal total

O método de avaliação da gordura corporal baseado nos diferentes níveis de condutibilidade elétrica dos tecidos, conhecida como TOBEC, foi comparado ao modelo a 4C em apenas um estudo. Wong et al.,² testando duas equações para predição da massa livre de gordura em meninas a partir das informações do TOBEC, uma baseada em um modelo quadrático e outra em um modelo linear, observaram na primeira melhores indicadores de validade (viés, EPE e LC). Todavia, ainda é um método incipiente e que precisa de um número maior de investigações.

Espessura de dobras cutâneas

O método de EDC foi comparado ao modelo a 4C para estimativa da gordura corporal em quatro estudos. Nesses, 12 diferentes equações preditivas foram testadas, das quais oito foram desenvolvidas em jovens, e apenas uma³³ a partir do modelo a 4C. Essas características provavelmente contribuíram para a equação de Slaughter et al.³³ ser a única presente nos quatro estudos identificados. Essa equação tem dois modelos: um que utiliza as dobras tricipital e subescapular (TR + SE), e outro que substitui a dobra subescapular pela de panturrilha medial (TR + PM).

Roemmich et al.⁸ compararam as duas equações com o modelo a 4C e observaram que ambas superestimam a gordura corporal, embora a equação TR + SE apresente melhores resultados. A equação TR + PM mostrou-se mais influenciada pela adiposidade corporal, em que as previsões tendem a ser piores nos mais gordos. Além disso, a análise de tendência também mostrou o sexo como um potencial confundidor na interpretação das informações. A equação TR + PM superestimou a GCR mais nos meninos do que nas meninas, enquanto a equação TR + SE tendeu a subestimar a GCR nas meninas e superestimar nos meninos.

Wong et al.,⁴ ao testarem oito equações preditivas em meninas, observaram que a equação de Slaughter et al.³³ (TR + SE) foi a que demonstrou maior validade (viés relativo = 0,1%), embora a de Jackson et al.³⁴ tenha sido a mais precisa (EPE = 4,5%), apesar de ter subestimado a GCR. Além disso, ambas não apresentaram tendência à distorção das informações com a variação na GCR, indicando assim que apesar da baixa precisão, a equação de Slaughter et al.³³ pode ser considerada uma boa alternativa para essa população. Vale ressaltar que além de ter sido desenvolvida especificamente para a população jovem, essa equação utiliza apenas duas dobras cutâneas, o que a torna mais simples e menos sujeita a erros em comparação à de Jackson et al.,³⁴ a qual utiliza quatro dobras cutâneas e uma medida de circunferência.

De maneira geral, foi possível observar que algumas equações preditivas tendem a subestimar,^{4,7,9} enquanto outras tendem a superestimar a GCR.^{4,8,9} A estimativa da gordura corporal pela EDC é muito adotada na prática clínica e em estudos populacionais; contudo, é um dos métodos mais suscetíveis a erros de medição, como a utilização indiscriminada de equipamentos de diferentes fabricantes, muitas vezes sem a devida calibração, além de depender fundamentalmente de habilidade e experiência do avaliador.^{35,36} O viés desse método também é dependente do nível de gordura corporal (dificuldade na realização da medida), não sendo indicado principalmente para indivíduos obesos. Além disso, outra limitação a ser considerada é que as equações de predição assumem como constante a densidade da MLG; contudo, ela tende a diferir entre etnias e modificar com a idade.

Ao longo dos anos, muitas equações baseadas na EDC foram desenvolvidas para prever a GCR. Essas equações podem ser generalizadas, quando desenvolvidas a partir de estudos populacionais com grupos heterogêneos, ou específicas, que são propostas com base em estudos de grupos homogêneos. Teoricamente, as equações generalizadas podem ser usadas para todos os tipos de indivíduos, porém seus resultados não são tão precisos quanto se desejaria. Já as equações específicas só devem ser utilizadas em indivíduos ou grupos que tenham características muito semelhantes à população que foram desenvolvidas. Quando isso não é levado em consideração, verifica-se uma grande variabilidade nos resultados encontrados nas diferentes equações.^{24,25} Assim, para evitar erros acentuados, é muito importante, quando da escolha de uma equação, verificar com base em que população ela foi elaborada: homens, mulheres, crianças, jovens, idosos, indivíduos ativos, atletas etc.^{35,36}

O levantamento das informações indica a existência de poucas equações de EDC apropriadas para estimativa da GCR

em crianças e adolescentes. Dessa forma, novas equações devem ser desenvolvidas e validadas utilizando como referência métodos padrão ouro, considerando etnia, sexo, idade cronológica e biológica, bem como as específicas densidades dos componentes da MLG.

Considerações finais

Em nosso conhecimento, essa é a primeira revisão sistemática sobre a validade de métodos para a avaliação da gordura corporal em crianças e adolescentes. No presente estudo, apenas 12 artigos foram selecionados. Considerando a existência de uma ampla gama de métodos e da importância de se avaliar a gordura corporal nessa população, verifica-se uma quantidade limitada de estudos. Essa constatação pode ser explicada pela adoção do modelo a 4C como medida-critério na seleção dos estudos, o que limita a inclusão de vários estudos de validação contra métodos mais frágeis. Muitos estudos adotam a DEXA ou a PH como métodos-critério.³⁷ Todavia, com base nas informações desta revisão, recomenda-se cautela na utilização desses métodos, tanto na avaliação quanto em sua adoção como padrão ouro para a validação de outros métodos para a estimativa da gordura corporal em jovens.

O modelo a 4C é reconhecidamente o padrão-ouro para a avaliação da composição corporal em nível tecidual. Esse modelo é desenvolvido por meio da utilização de métodos de referência para cada componente da composição corporal, permitindo o isolamento e a identificação da quantidade da gordura corporal. Apesar disso, a maioria das equações de regressão dos modelos multicompartimentais foi desenvolvida em adultos, fato que limita a utilização na população jovem.⁹ Nos estudos que compuseram esta revisão, observou-se a preocupação na adoção de modelos específicos. Dos seis modelos de 4C utilizados como medidas de referência, quatro foram desenvolvidos em adolescentes. Entretanto, além da preocupação com os modelos, os erros de medida (intra e inter-observador, inter-equipamentos, inter-laboratórios) devem ser cuidadosamente controlados.

Com base nas informações analisadas, observamos que dentre os métodos laboratoriais utilizados atualmente para estimar a gordura corporal de crianças e adolescentes, a diluição de isótopos e a pletismografia apresentaram-se como os mais confiáveis. Já entre os métodos mais aplicáveis na prática clínica ou em pesquisas populacionais, sugere-se a equação de Slaughter et al.,³³ que utiliza as dobras cutâneas tricipital e subescapular e considera a etnia e o estágio maturacional. Conforme os resultados apresentados, até o presente momento nenhuma equação para a bioimpedância elétrica prediz satisfatoriamente a gordura corporal de jovens e, por esse motivo, não se recomenda esse método para tal população. Por fim, sugere-se que mais estudos sejam desenvolvidos e que, dentro das limitações dos métodos, ajustes nos modelos alternativos sejam feitos no sentido de minimizar os vieses de análise, bem como evitar as tendências em distorcer as estimativas em determinados grupos populacionais.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de produtividade em pesquisa (E.S.C. e E.R.V.R) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de pós-graduação (D.R.P.S., A.S.R., A.A.) outorgadas.

REFERÊNCIAS

- Malina RM. Body Composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clin Sports Med.* 2007;26:37-68.
- Wong WW, Stuff JE, Butte NF, Smith EO, Ellis KJ. Estimation of body fat in Caucasian and African-American girls: total-body electrical conductivity methodology versus a four-component model. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2000;24:1200-6.
- Wong WW, Hergenroeder AC, Stuff JE, Butte NF, Smith EO, Ellis KJ. Evaluating body fat in girls and female adolescents: advantages and disadvantages of dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr.* 2002;76:384-9.
- Wong WW, Stuff JE, Butte NF, Smith EO, Ellis KJ. Estimating body fat in African American and white adolescent girls: a comparison of skinfold-thickness equations with a 4-compartment criterion model. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:348-54.
- Fuller NJ, Jebb SA, Laskey MA, Coward WA, Elia M. Four-component model for the assessment of body composition in humans: comparison with alternative methods, and evaluation of the density and hydration of fat-free mass. *Clin Sci.* 1992;82:687-93.
- Boileau RA, Lohman TG, Slaughter MH. Exercise and body composition of children and youth. *Scand J Sports Sci.* 1985;7:17-27.
- Wells JC, Fuller NJ, Dewit O, Fewtrell MS, Elia M, Cole TJ. Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *Am J Clin Nutr.* 1999;69:904-12.
- Roemmich JN, Clark PA, Weltman A, Rogol AD. Alterations in growth and body composition during puberty. I. Comparing multicompartiment body composition models. *J Appl Physiol.* 1997;83:927-35.
- Bray GA, DeLany JP, Volaufova J, Harsha DW, Champagne C. Prediction of body fat in 12-y-old African American and white children: evaluation of methods. *Am J Clin Nutr.* 2002;76:980-90.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307-10.
- Lohman TG. *Advances in body composition assessment.* Champaign: Human Kinetics; 1992.
- Fields DA, Goran MI. Body composition techniques and the four-compartment model in children. *J Appl Physiol.* 2000;89:613-20.
- Gately PJ, Radley D, Cooke CB, Carroll S, Oldroyd B, Truscott JG, et al. Comparison of body composition methods in overweight and obese children. *J Appl Physiol.* 2003;95:2039-46.
- Sopher AB, Thornton JC, Wang J, Pierson Jr RN, Heymsfield SB, Horlick M. Measurement of percentage of body fat in 411 children and adolescents: a comparison of dual-energy X-ray absorptiometry with a four-compartment model. *Pediatrics.* 2004;113:1285-90.
- Wells JC, Haroun D, Williams JE, Wilson C, Darch T, Viner RM, et al. Evaluation of DXA against the four-component model of body composition in obese children and adolescents aged 5-21 years. *Int J Obes (Lond).* 2010;34:649-55.
- Williams JE, Wells JC, Wilson CM, Haroun D, Lucas A, Fewtrell MS. Evaluation of Lunar Prodigy dual-energy X-ray absorptiometry for assessing body composition in healthy persons and patients by comparison with the criterion 4-component model. *Am J Clin Nutr.* 2006;83:1047-54.
- Helba M, Binkovitz LA. Pediatric body composition analysis with dual-energy X-ray absorptiometry. *Pediatr Radiol.* 2009;39:647-56.
- Laskey MA. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Nutrition.* 1996;12:45-51.
- Jebb SA, Goldberg GR, Elia M. DXA measurements of fat and bone mineral density in relation to depth and adiposity. *Basic Life Sci.* 1993;60:115-9.
- Tylavsky F, Lohman T, Blunt BA, Schoeller DA, Fuerst T, Cauley JA, et al. QDR 4500A DXA overestimates fat-free mass compared with criterion methods. *J Appl Physiol.* 2003;94:959-65.
- Ramirez E, Valencia ME, Moya-Camarena SY, Aleman-Mateo H, Mendez RO. Four-compartment model and validation of deuterium dilution technique to estimate fat-free mass in Mexican youth. *Nutrition.* 2009;25:194-9.
- Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci.* 1963;110:113-40.
- Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, editors. *Techniques for measuring body composition.* Washington: National Academy of Science; 1961. p. 223-44.
- Lohman TG. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc Sport Sci Rev.* 1986;14:325-57.
- Lohman TG. Assessment of body composition in children. *Pediatr Exerc Sci.* 1989;1:19-30.
- Boileau RA, Lohman TG, Slaughter MH, Ball TE, Going SB, Hendrix MK. Hydration of the fat-free body in children during maturation. *Hum Biol.* 1984;56:651-66.
- Davies PS, Preece MA, Hicks CJ, Halliday D. The prediction of total body water using bioelectrical impedance in children and adolescents. *Ann Hum Biol.* 1988;15:237-40.
- Goran MI, Kaskoun MC, Carpenter WH, Poehlman ET, Ravussin E, Fontvieille AM. Estimating body composition of young children by using bioelectrical resistance. *J Appl Physiol.* 1993;75:1776-80.
- Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *J Appl Physiol.* 1992;72:366-73.
- Suprasongsin C, Kalhan S, Arslanian S. Determination of body composition in children and adolescents: validation of bioelectrical impedance with isotope dilution technique. *J Pediatr Endocrinol Metab.* 1995;8:103-9.
- Bray GA, DeLany JP, Harsha DW, Volaufova J, Champagne CC. Evaluation of body fat in fatter and leaner 10-y-old African American and white children: the Baton Rouge Children's Study. *Am J Clin Nutr.* 2001;73:687-702.
- Schaefer F, Georgi M, Zieger A, Scharer K. Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children. *Pediatr Res.* 1994;35:617-24.

33. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol.* 1988;60:709-23.
34. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12:175-81.
35. Cyrino ES, Okano AH, Glaner MF, Romanzini M, Gobbo LA, et al. Impact of the use of different skinfold calipers for the analysis of the body composition. *Rev Bras Med Esporte.* 2003;9:150-3.
36. Okano AH, Carvalho FO, Cyrino ES, Gobbo LA, Romanzini M, Glaner MF, et al. Utilização do adipômetro CESCORF para estimativa da gordura corporal relativa a partir de equações validadas com o adipômetro Lange. *Rev Educ Fis/UEM.* 2008;19:431-6.
37. Sant'Anna MSL, Priore SE, Franceschini SCC. Métodos de avaliação da composição corporal em crianças. *Rev Paul Pediatr.* 2009;27:315-21.