

Estimativa Não-Invasiva do Débito Cardíaco Durante o Exercício a Partir de Impedância Cardiográfica e Consumo de Oxigênio em Idosos

Non-Invasive Estimate of Cardiac Output During Exercise Based on Impedance Cardiography and Oxygen Uptake in the Elderly

Maurício Nunes Rodrigues, Jacques Henri-Paul Vanfraechem, Paulo de Tarso Veras Farinatti

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Gama Filho, Université Libre de Bruxelles, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física-UNIVERSO, Clínica de Medicina do Exercício-Vitacor, Instituto de Desenvolvimento e Pesquisa em Atividades Físicas – IDEATIVA Rio de Janeiro, RJ – Bruxelas – Bélgica

Objetivo: O presente estudo analisou a concordância entre as estimativas do débito cardíaco (Q) geradas por dois métodos indiretos e sua aplicabilidade em 54 homens e 77 mulheres (60-90 anos).

Métodos: Os indivíduos realizaram um teste cardiopulmonar de exercício progressivo máximo em ciclo-ergômetro. O Q foi estimado a partir do consumo de oxigênio e da impedância cardiográfica a 50% e 100% da carga máxima alcançada no teste ($W_{\text{máx}}$). Os limites de concordância e as diferenças médias (vieses) foram avaliados segundo a metodologia proposta por Bland e Altman, enquanto a relação entre os métodos foi analisada por regressão linear e correlação intraclassa (ICC).

Resultados: Na carga equivalente a 50% $W_{\text{máx}}$ a diferença entre as médias dos métodos foi de $-0,58 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (6,3% menor para a medida da impedância), e o limite de concordância de $\pm 2,54 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (24,7%). Em 100% $W_{\text{máx}}$ a diferença foi de $1,03 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (8,5% maior para a medida da impedância), com um limite de concordância de $\pm 3,35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (27,6%). Os valores de ICC e as curvas de regressão obtidas entre os métodos foram: $Q_{\text{imp}} = 1,82 + 0,75Q_{\text{VO}_2}$ ($r^2 = 0,765$, $p < 0,001$; $\text{ICC} = 0,727$, $p < 0,01$) para 50% $W_{\text{máx}}$; $Q_{\text{imp}} = 0,93 + 1,00Q_{\text{VO}_2}$ ($r^2 = 0,755$, $p < 0,001$; $\text{ICC} = 0,796$, $p < 0,01$) para 100% $W_{\text{máx}}$.

Conclusão: Os resultados sugerem uma boa concordância na estimativa do Q no exercício em idosos pelos dois métodos, o que se revela compatível com os achados de estudos similares com indivíduos jovens.

Palavras-chave: Exercício, teste de esforço, cardiografia de impedância, envelhecimento.

Objective: This study assessed the agreement between cardiac output (Q) measurements generated by two indirect methods and their applicability in 54 men e 77 women (aged 60-90).

Methods: The subjects performed a cardiopulmonary test with incremental to maximal exercise on a cycle-ergometer. "Q" was estimated based on oxygen uptake and on impedance cardiography at 50% and 100% of the maximal workload (W_{max}) reached during the test. The limits of agreement and mean differences (biases) were estimated using the methodology proposed by Bland-Altman, whereas the relationship between the methods was analyzed by linear regression and intra-class correlation (ICC).

Results: For the load equivalent do 50% of W_{max} the bias between the means of the two methods was $-0.58 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (6.3% smaller for the impedance measurement) and the limit of agreement was $\pm 2.54 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (24.7%). At 100% of W_{max} the bias was $1.03 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (8.5% greater for the impedance measurement) with a limit of agreement of $\pm 3.35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (27.6%). ICC values and the regression curves obtained between the methods were: $Q_{\text{imp}} = 1.82 + 0.75Q_{\text{VO}_2}$ ($r^2 = 0.765$, $p < 0.001$; $\text{ICC} = 0.727$, $p < 0.01$) at 50% W_{max} ; and $Q_{\text{imp}} = 0.93 + 1.00Q_{\text{VO}_2}$ ($r^2 = 0.755$, $p < 0.001$; $\text{ICC} = 0.796$, $p < 0.01$) at 100% W_{max} .

Conclusion: These results suggest that there is a good agreement between the two methods for the measurement of Q during exercise in the elderly, which is compatible with the findings of similar studies with young subjects.

Key words: Exercise, exercise test, impedance, cardiography, aging.

Correspondência: Maurício Nunes Rodrigues •

Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde-UERJ - Rua São Francisco Xavier, 524/8133-F - 20550-900 – Rio de Janeiro, RJ

E-mail: rodriguesm@ig.com.br

Artigo recebido em 21/09/05; revisado recebido em 11/04/06; aceito em 24/04/06.

A prescrição do exercício físico para idosos deve cercar-se de um cuidado maior, em comparação com a orientada para indivíduos jovens, em razão das alterações fisiológicas típicas da idade e da maior prevalência de condições clinicopatológicas diversas. Na elaboração de programas de exercícios envolvendo essa população, portanto, é necessário considerar as respostas fisiológicas específicas que ocorrem durante uma sessão de exercícios e o quanto podem acarretar risco de intercorrências que coloquem em perigo a integridade do praticante. Desse modo, a avaliação das respostas do sistema cardiorrespiratório ao esforço pode contribuir para a segurança durante a prescrição do exercício.

A variável mais estudada com esse fim é a frequência cardíaca (FC), provavelmente por ter sua relação com a intensidade do esforço aceita em todas as idades^{1,2}, e por ser uma variável de fácil medida. Entretanto, uma análise mais ampla da integridade da função cardíaca poderia ser obtida se o débito cardíaco (Q) e/ou o volume de ejeção sistólico (VS) fossem medidos durante a execução dos testes de avaliação pré-participação para um programa de exercícios. Isso não se observa na prática corrente, geralmente em virtude da natureza invasiva para a quantificação dessas variáveis.

O desenvolvimento de métodos de estimativa indireta do Q e do VS tem aumentado as possibilidades de entendimento do comportamento da função cardíaca durante o exercício físico. A validade, a exatidão e a reprodutibilidade de alguns desses métodos durante o exercício, tais como o método indireto de Fick – pela reinalação de dióxido de carbono ou acetileno; a impedância e a indutância cardiográficas e a partir do consumo de oxigênio – têm sido documentadas na literatura³⁻¹³. Contudo, observa-se uma carência de estudos que se preocupem com a avaliação da concordância entre as estimativas geradas pelos diversos métodos indiretos e com a sua aplicabilidade em idosos. Mesmo sendo de natureza não-invasiva, alguns deles necessitam da utilização de equipamentos e/ou manobras não-convencionais para a realização de suas medidas, o que pode inviabilizar uma utilização correta nessa população.

Desse modo, o objetivo do presente estudo foi analisar a concordância da estimativa do Q por dois métodos não-invasivos, quais sejam, a impedância cardiográfica (IMP) e a partir do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), bem como a aplicabilidade deles na avaliação de indivíduos idosos.

Métodos

Amostra - Um grupo de 131 idosos aparentemente saudáveis, 54 homens e 77 mulheres (60-90 anos de idade), foi aleatoriamente selecionado entre os membros de 13 centros de convivência da terceira idade na cidade de Bruxelas, Bélgica. Para tanto, valeu-se de tabela de números randômicos para definir quantos seriam sorteados em cada centro. Foram respeitados os seguintes critérios de exclusão, antes do sorteio final dos participantes: a) presença de problemas cardiovasculares, locomotores, pneumopatológicos ou cirurgias recentes; b) uso de medicamentos ou substâncias que pudessem interferir nas respostas fisiológicas cardiovasculares agudas ao exercício; c) uso de suplementos alimentares; d) indivíduos apresentando sobrepeso elevado (IMC >35

kg/m²), tabagistas e atletas. Um termo de consentimento assinado foi obtido antes da participação no estudo, conforme recomendado pela Convenção de Helsinki e ratificado pela Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde do Brasil para experimentos com humanos.

Protocolo de exercício - Os indivíduos realizaram um teste de exercício cardiopulmonar em um cicloergômetro (*Ergo-Line*® 900, D7474, UK). O protocolo de teste consistiu de três fases: (a) três minutos de aquecimento a 5 W; (b) fase de trabalho, iniciando a 25 W para os homens e 20 W para as mulheres, com um incremento de carga a cada dois minutos de igual magnitude à carga inicial, de acordo com o gênero; (c) cinco minutos de recuperação, sem carga. As cargas foram selecionadas com base na capacidade máxima de trabalho predita com vistas à obtenção do esforço máximo entre 6 e 12 minutos de teste, de acordo com as recomendações da *American Heart Association*¹⁴. Os critérios de interrupção do teste seguiram as recomendações do *American College of Sports Medicine*¹⁵. O teste foi considerado máximo quando, pelo menos dois dos seguintes critérios fossem observados: (a) quociente respiratório (R) $\geq 1,06$; (b) platô do $\dot{V}O_2$ em despeito do aumento de carga (aumento no $\dot{V}O_2 \leq 2,0$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ entre as duas últimas cargas); (c) exaustão voluntária máxima. A reprodutibilidade do protocolo foi previamente testada em um subgrupo de 12 idosos (oito homens e quatro mulheres) aleatoriamente selecionados a partir da amostra original.

Estimativa do débito cardíaco a partir da impedância cardiográfica - A impedância cardiográfica foi registrada a partir de um registrador de impedância *Minnesota*® (IFM 304b, USA), em configuração tetrapolar. O ECG e a FC foram gravados por um eletrocardiógrafo *Fukuda Denshi*® (FD-36, Japão), e um fonocardiógrafo *Fukuda Denshi*® (PL-16, Japão). O hematócrito foi quantificado após um processo de centrifugação, tendo a coleta sanguínea realizada após o teste. O débito cardíaco (Q) e o volume de ejeção sistólico (VS) foram estimados a cada dois minutos, de acordo com a equação: $Q(L \cdot min^{-1}) = 0,001 \cdot VS (mL \cdot syst^{-1}) \cdot FC (bpm)$. Considerando que a variação na impedância torácica em razão da ejeção sanguínea é relacionada ao volume de ejeção¹⁶, o VS pode ser calculado a partir da equação: $VS (mL \cdot syst^{-1}) = (\rho) \cdot (L/Z_0)^2 \cdot (LVET) \cdot (dz/dt)$, onde ρ refere-se à resistividade do sangue (ohm·cm); $\rho = 53,2e^{0,22Hct}$, onde Hct é o hematócrito¹⁷; L é a distância entre os eletrodos de detecção do sinal (cm); Z_0 é a impedância torácica de base (ohm); LVET é o tempo de ejeção ventricular esquerda (seg); e dz/dt é a taxa de alteração da impedância torácica (ohm·seg⁻¹). Essas equações foram previamente validadas por Miles e Gotshall⁸ e Bogaard e cols.⁵ pela comparação com medidas diretas. Os componentes das equações apresentadas foram obtidos de acordo com métodos já descritos¹⁸.

Estimativa do débito cardíaco a partir do consumo de oxigênio - O consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), o débito de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) e a ventilação (VE) foram avaliados, respectivamente, por um analisador paramagnético de O₂, um analisador de CO₂ por infravermelho e um pneumotacógrafo (Morgan®, UK). Essas variáveis ventilatórias foram determinadas em L·min⁻¹ STPD sobre o mesmo período dos dados de impedância e foi calculada a sua média a cada

30 seg. A diferença no conteúdo arteriovenoso de O_2 (Dif. $_{a-v}O_2$) foi estimada a partir da equação: $Dif._{a-v}O_2 = 5,721 + (0,1047 \times \% \dot{V}O_{2m\acute{a}x})^2$, e o Q a partir da equação de Fick ($Q = \dot{V}O_2 / Dif._{a-v}O_2$).

Procedimento estatístico - A relação entre os dois métodos foi avaliada por regressão linear para os dados em 50% da carga máxima (40%-90% $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$) e no esforço máximo (100% $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$). A concordância entre os métodos foi avaliada a partir do coeficiente de correlação intraclasse (ICC), os limites de concordância e as diferenças entre os métodos (vieses) foram avaliados segundo a metodologia proposta por Bland e Altman¹⁹. As análises foram realizadas utilizando os softwares STATA 8.2 e STATISTICA 5.5.

Resultados

A tabela 1 apresenta a média e o intervalo de confiança (95%IC) para as variáveis medidas/estimadas em 50% e 100% da carga de esforço. A tabela 2 e as figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam os dados da comparação entre os dois métodos. Em 50% da carga, a diferença entre os métodos foi de 0,58 $L \cdot min^{-1}$ – correspondendo a 6,3% a favor do método de Stringer e cols.⁷ – e com um limite de concordância de $\pm 2,54 L \cdot min^{-1}$, correspondendo a 24,7% (tabs. 1 e 2; figs. 1 e 3). No esforço máximo, essa tendência, ainda que levemente, inverteu-se. As médias apresentaram uma diferença de 1,03 $L \cdot min^{-1}$ a favor da impedância cardiográfica, correspondendo a 8,5% da diferença média entre os métodos. Já o limite de concordância foi de $\pm 3,35 L \cdot min^{-1}$, correspondendo a 27,6% (tabs. 1 e 2; figs. 2 e 4).

Variável	50% (média e 95%IC)	100% (média e 95%IC)
$\dot{V}O_2$ ($L \cdot min^{-1}$)	1,29 (1,24 – 1,34)	1,80 (1,72 – 1,88)
$Q_{\dot{V}O_2}$ ($L \cdot min^{-1}$)	9,70 (9,30 – 10,11)	11,12 (10,61 – 11,62)
Q_{imp} ($L \cdot min^{-1}$)	9,13 (8,78 – 9,47)	12,15 (11,57 – 12,73)
FC (bpm)	115 (113 – 118)	140 (137 – 143)
W (watts)	55 (52 – 59)	100 (94 – 105)

W = Carga; $\dot{V}O_2$ = Consumo de O_2 ; $Q_{\dot{V}O_2}$ = Débito estimado a partir do consumo de O_2 ; Q_{imp} = Débito estimado a partir da impedância; FC = Frequência cardíaca.

Tabela 1 - Dados descritivos nas diferentes intensidades do esforço

Carga	50%	100%
Viés (média e DP)	- 0,577 \pm 1,127	1,034 \pm 1,674
Limites de concordância (2DP)	$\pm 2,254$ ou $\pm 24,7\%$	$\pm 3,348$ ou $\pm 27,6\%$
ICC	0,727 (p<0,01)	0,796 (p<0,01)
Regressão linear	$Q_{imp} = 1,82 + 0,75 Q_{\dot{V}O_2}$ $r^2 = 0,765 / p < 0,001$	$Q_{imp} = 0,93 + 1,00 Q_{\dot{V}O_2}$ $r^2 = 0,755 / p < 0,001$

ICC = índice de correlação intra-classe; $Q_{\dot{V}O_2}$ = Débito estimado a partir do consumo de O_2 ; Q_{imp} = Débito estimado a partir da impedância.

Tabela 2 - Resultados da comparação entre Impedância cardiográfica (IMP) e consumo de O_2 ($\dot{V}O_2$)

Discussão

Na comparação entre diferentes métodos para se medir a mesma variável, dificilmente os valores obtidos irão concordar com perfeição, provendo resultados idênticos para todos os indivíduos. Por isso, Bland e Altman¹⁹ propuseram uma abordagem para se comparar o quanto um determinado método difere de outro. Se tanto a diferença, que expressa a precisão entre os métodos, quanto os limites de concordância, que expressam a variabilidade das medidas, não forem elevados, em princípio, não existiriam problemas para interpretar os dados de maneira cruzada (ou seja, comparando-se dados obtidos por métodos diferentes). Ainda segundo Bland e Altman¹⁹, para esse tipo de interpretação cruzada ser possível, fica a critério dos pesquisadores definir o quanto as medidas podem diferir uma da outra. Na verdade, o ponto de corte do que seriam diferenças aceitáveis depende da variável analisada, existindo algumas que admitiriam variabilidade maior que outras.

Alguns estudos prévios utilizaram protocolos de teste similares em idosos^{20,21}, e a escolha dos métodos utilizados para estimar o Q no presente estudo foi determinada levando-se em conta suas características específicas. A impedância cardiográfica foi escolhida em virtude de sua ampla utilização. Embora o método tenha como base alguns pressupostos controversos^{5,8} e até não seja recomendado por alguns autores²², sua validade, exatidão e reprodutibilidade foram documentadas por vários estudos^{3-5,8,9}. Em relação aos idosos, a validade na avaliação do Q pelo método não foi suficientemente demonstrada. No entanto, estudos prévios do laboratório, envolvendo mais de 150 indivíduos acima de 60 anos de idade, não revelaram dificuldades em relação à sua aplicabilidade, em comparação com sujeitos mais jovens. De fato, não houve diferenças significativas na qualidade dos sinais obtidos e os valores usualmente aferidos, geralmente, não se distanciam do relatado na literatura para as faixas etárias e intensidade de esforço observadas²³.

Já a estimativa do Q a partir do consumo de oxigênio é um método relativamente novo. Foi desenvolvido por Stringer e cols⁷ em indivíduos jovens, a partir da hipótese de que a Dif. $_{a-v}O_2$ aumentaria de forma previsível em razão do percentual do $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ durante o exercício. A sua principal vantagem reside em não necessitar da utilização de equipamentos diferentes dos já utilizados em um teste de exercício cardiopulmonar, nem de manobras não-convencionais para a realização de suas medidas, o que poderia facilitar sua utilização em idosos. Essa população seria beneficiada por uma estimativa menos invasiva e mais próxima da realidade durante a execução do

exercício físico.

Por ser um método novo, a estimativa do Q a partir do consumo de oxigênio carece de estudos de validação em idosos. Na comparação com a medida direta pelo método de Fick, em cinco indivíduos jovens realizando um teste de exercício progressivo máximo em cicloergômetro, Stringer e cols.⁷ relataram um r de 0,97 e uma diferença nas médias entre os valores estimados e realmente medidos de $\pm 2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, correspondendo a 15% da medida obtida diretamente. Em um estudo similar ao presente, comparando métodos indiretos, Kaplan e cols.⁶ avaliaram 23 sujeitos com idades entre 24 e 43 anos, sendo duas mulheres. Desses, 11 indivíduos realizaram um protocolo de exercício em *steady-state* em cicloergômetro, iniciando com 25-50 W e com incrementos de igual magnitude a cada 10-15 min, durante um período de 45 min, para a comparação dos valores medidos a partir da indutância cardiográfica e da reinalação de CO_2 . Um outro grupo de 20 indivíduos realizou um teste progressivo em rampa, também no cicloergômetro, com incrementos de 15-30 $\text{W}\cdot\text{min}^{-1}$ até a exaustão. Nesse caso, o objetivo era comparar os valores medidos a partir da indutância e consumo de O_2 . Os autores relataram limites de concordância de $\pm 2,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ no primeiro grupo, correspondendo a uma variabilidade de 21%, e de $\pm 2,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ no segundo, correspondendo a 22%.

Charloux e cols.²⁴ publicaram estudo no qual compararam a impedância cardiográfica com o Método Direto de Fick. Indivíduos com diferentes condições clínicas participaram do estudo, num total de 40 pacientes, sendo 14 com apnéia do sono e 26 com doença pulmonar obstrutiva crônica. Os sujeitos executaram, em cicloergômetro na posição supina, exercício em *steady-state* com cargas entre 10 e 50 W. Os resultados revelaram uma diferença de $0,29 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ entre os métodos e limites de concordância entre $-2,34$ e $2,92 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Os autores revelaram que em apenas 9,3% dos casos as diferenças entre os métodos ultrapassaram 20%.

Alguns estudos analisaram outros métodos. Davis e cols.²⁵, por exemplo, relataram limites de concordância de $\pm 20\%$ entre a reinalação de CO_2 e o método direto de Fick, em 18 pacientes acometidos de doença pulmonar severa. Espersen e cols.²⁶ compararam os métodos da termodiluição e da reinalação de CO_2 com o Método Direto de Fick, em 11 sujeitos aparentemente saudáveis durante exercício realizado a 50 W. As diferenças encontradas foram de 2,3 e $-0,2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente, entre a termodiluição e a reinalação de CO_2 e entre a primeira e o Método Direto de Fick. Em outro estudo, analisando a validade de uma variação do método de reinalação de CO_2 , Olszowka e cols.²⁷ relataram,

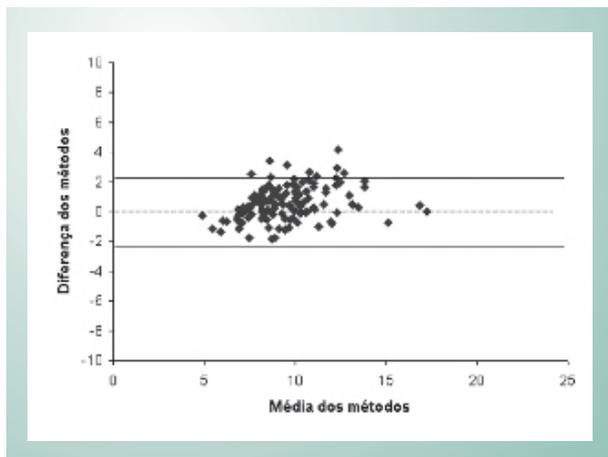


Fig. 1 - Plotagem Bland Altman do Q estimado a partir da IMP e $\dot{V}\text{O}_2$ em 50% da carga máxima.

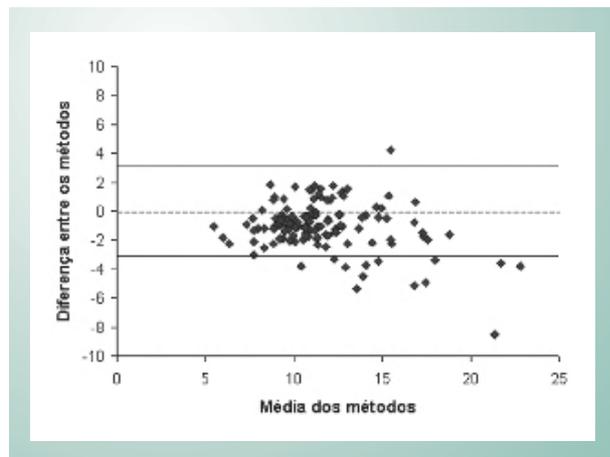


Fig. 2 - Plotagem Bland Altman do Q estimado a partir da IMP e $\dot{V}\text{O}_2$ em 100% da carga máxima.

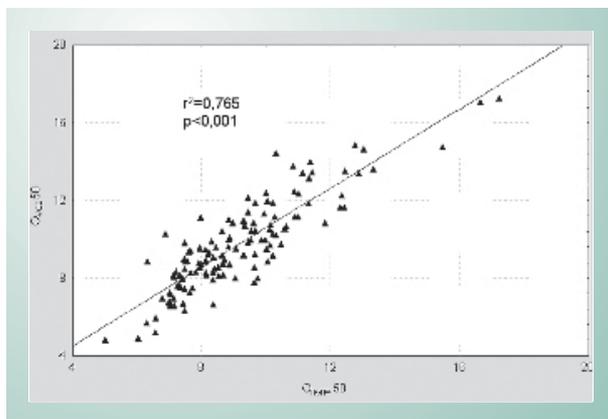


Fig. 3 - Plotagem de identidade (identity plot) do Q estimado a partir da IMP e $\dot{V}\text{O}_2$ em 50% da carga máxima.

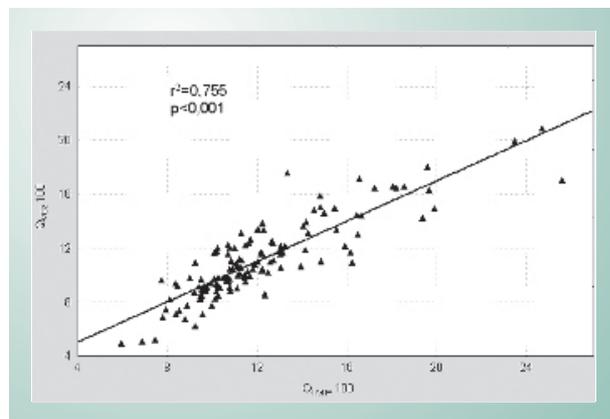


Fig. 4 - Plotagem de identidade (identity plot) do Q estimado a partir da IMP e $\dot{V}\text{O}_2$ em 100% da carga máxima.

em 14 indivíduos desde o repouso até o exercício máximo, coeficientes de variação para os valores médios do Q entre 3% e 4%, em comparação com o método tradicional. As diferenças situaram-se entre 3% e 5% na comparação com o Método Direto de Fick e entre 2% e 5% em relação à termodiluição. Os mesmos autores citaram outro estudo similar, do mesmo grupo, no qual foram encontrados coeficientes de variação de 11% a 22% na comparação entre a termodiluição e a reinalação de acetileno.

Finalmente, Tordi e cols.²⁸, em estudo recente, compararam métodos não-invasivos (impedância e reinalação de CO₂) em oito homens jovens durante três diferentes sessões de exercício em *steady-state* controladas pela FC (120, 140 e 160 bpm). Os autores relataram um r de 0,85 e uma diferença média de 0,06 L·min⁻¹ (correspondendo a 0,12%) nas três intensidades. Na intensidade mais baixa, a média dos valores do Q estimado pela impedância foi menor do que a estimada pela reinalação de CO₂. Entretanto, essa tendência inverteu-se nas intensidades mais elevadas. Esse comportamento foi explicado pelos autores como advindo de uma limitação do método de reinalação de CO₂ em condições de *steady-state* em intensidades elevadas, devido a uma progressiva acidemia (diminuição do pH sanguíneo).

No presente estudo, as estimativas foram comparadas em dois momentos distintos, 50% e 100% da carga máxima de esforço em um exercício incremental. Essa estratégia permitiu a percepção de uma concordância razoável entre os métodos (diferenças de \approx 6% a 8,5% e limites de concordância de \approx 24% a 28%), embora a variação entre os valores obtidos a partir de ambos aumente à medida que os valores absolutos do Q se elevam. Próximo aos valores máximos, o Q estimado a partir

do consumo de oxigênio tendeu a ser menor que o medido pela técnica da impedância cardiográfica, observando-se também uma tendência de aumento na diferença entre os valores estimados, de acordo com a proximidade com o esforço máximo.

Esse comportamento foi similar ao observado por Tordi e cols.²⁸, na comparação entre a impedância e a reinalação de CO₂. Embora os autores tenham justificado esse comportamento em razão de limitações do método de reinalação de CO₂, pode-se especular que, em intensidades mais elevadas, o método de impedância tenderia a superestimar os valores do Q em razão de artefatos nas curvas de impedância medidas. Contudo, percebe-se que os valores absolutos e relativos, para as diferenças e limites de concordância, aproximam-se daqueles obtidos por outros estudos comparativos entre métodos diretos e indiretos para aferição do Q. Além disso, situaram-se dentro da faixa de variação de \pm 15% relatados na revisão realizada por Miles e Gotshall⁸.

Em suma, o presente estudo sugere uma boa concordância na estimativa do Q em idosos, entre os métodos da impedância cardiográfica e com base no consumo de oxigênio. Os resultados parecem ser compatíveis com os de outros estudos que compararam métodos de mensuração durante o exercício, em indivíduos jovens ou com acometimentos cardiorrespiratórios. Entretanto, estudos adicionais deveriam ser conduzidos para aprofundar o processo de validação do método de estimativa do Q a partir do consumo de oxigênio em idosos, tanto pela comparação com métodos diretos quanto pela verificação da reprodutibilidade da medida durante o exercício.

Referências

1. Stamford B. Exercise and the elderly. In: Pandolf K, editor. Exercise and sport sciences reviews. Baltimore: Williams & Wilkins; 1998. p. 341-79.
2. Pantou L, Graves J, Pollock M, Garzarella L, Carroll JF, Leggett SH, et al. Relative heart rate, heart rate reserve, and O₂ during submaximal exercise in the elderly. J Gerontol. 1996; 51: M165-M171.
3. Pianosi P, Garros D. Comparison of impedance cardiography with indirect Fick (CO₂) method of measuring cardiac output in healthy children during exercise. Am J Cardiol. 1996; 77: 745-9.
4. Sackner M, Hoffman R, Krieger B, Shaikat M, Stroh D, Sackner J. Thoracocardiography. Part 2: Noninvasive measurement of changes in stroke volume; comparisons to impedance cardiograph. Chest. 1991; 99: 896-903.
5. Bogaard H, Woltjer H, Postmus P, de Vries P. Electrical impedance cardiography: Method and validation. Physiol Meas. 1997; 18: 95-105.
6. Kaplan V, Bucklar G, Bloch K. Noninvasive monitoring of cardiac output during exercise by inductance cardiography. Med Sci Sports Exerc. 2003; 35: 747-52.
7. Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K. Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise. J Appl Physiol. 1997; 82: 908-12.
8. Miles D, Gotshall R. Impedance cardiography: noninvasive assessment of human central hemodynamics at rest and during exercise. In: Pandolf K, editor. Exercise and sport sciences reviews. Baltimore: Williams & Wilkins; 1989. p. 231-63.
9. Woltjer H, Bogaard H, de Vries PM. The intra- and interobserver variability of impedance cardiography in patients at rest and during exercise. Physiol Meas. 1996; 17: 171-8.
10. Woltjer HH, Bogaard HJ, Scheffer CJ, van der Spoel HI, Huybregts M, de Vries P. Standardization of non-invasive impedance cardiography for assessment of stroke volume: comparison with thermodilution. Br J Anaesth. 1996; 77: 748-52.
11. Tochikubo O, Ishii M, Minamisawa K, Miyajima E, Kuji N, Saitoh J, et al. Fully automatic, noninvasive measurement of cardiac output by means of the CO₂ rebreathing method and its clinical application to hypertensive patients. Jpn Heart J. 1990; 31: 461-76.
12. Pothoff G, Wasserman K, Winter UJ, Geyer D, Hilger HH. Non-invasive measurement of stroke volume in steady-state and unsteady-state workload with CO₂ rebreathing. Z Kardiol. 1994; 83 (Suppl 3): 67-71.
13. Laszlo G. Respiratory measurements of cardiac output: from elegant idea to useful test. J Appl Physiol. 2004; 96: 428-37.
14. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, et al. Exercise Standards for Testing and Training - A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association. Circulation. 2001; 104: 1694-740.
15. ACSM's guidelines for exercise testing and exercise prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 2000.
16. Penney BC. Theory and cardiac applications of electrical impedance measurements. Crit Rev Biomed Eng. 1985; 13: 227-81.

17. Geddes L, Sadler C. The specific resistance of blood at body temperature. *Med Biol Eng.* 1973; 11: 336-9.
18. Vanfraechem J. Stroke volume and systolic time interval adjustments during bicycle exercise. *J Appl Physiol.* 1979; 46: 588-92.
19. Bland M, Altman DC. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986: 307-10.
20. Bovens A, van Baak MA, Vrencken J, Wijnen J, Saris W, Verstappen FT. Maximal aerobic power in cycle ergometry in middle-aged men and women, active in sports, in relation to age and physical activity. *Int J Sports Med.* 1993; 14: 66-71.
21. Brischetto M, Millman R, Peterson D, Silage D, Pack A. Effect of aging on ventilatory response to exercise and CO₂. *J Appl Physiol.* 1984; 56: 1143-50.
22. Warburton D, Haykowsky M, Quinney HA, Humen DP, Teo K. Reliability and validity of measures of cardiac output during incremental to maximal aerobic exercise. Part II: Novel techniques and new advances. *Sports Med.* 1999; 27: 241-60.
23. Farinatti P, Vanfraechem J. Influence of age and sex on the relationship between cardiac output and oxygen uptake during physical effort. In: VIII European Group for the Research into Elderly and Physical Activity - Physical Activity and Ageing - Proceedings. 8th EGREPA International Congress; 2000. Bruxelles: Universidade Livre de Bruxelles; 2000. p. 107-10.
24. Charloux A, Lonsdorfer-Wolf E, Richard R, Lampert E, Oswald-Mammosser M, Mettaufer B, et al. A new impedance cardiograph device for the non-invasive evaluation of cardiac output at rest and during exercise: comparison with the "direct" Fick method. *Eur J Appl Physiol.* 2000; 82: 313-20.
25. Davis C, Jones N, Sealey B. Measurements of cardiac output in seriously ill patients using a CO₂ rebreathing method. *Chest.* 1978; 73: 167-72.
26. Espersen K, Jensen E, Rosenborg D, Thomsen JK, Eliassen K, Olsen NV, et al. Comparison of cardiac output measurement techniques: thermodilution, Doppler, CO₂-rebreathing and the direct Fick method. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1995; 39: 245-51.
27. Olszowka AJ, Shykoff BE, Pendergast DR, Farhi LE. Revised one-step method for determination of cardiac output. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004; 140: 99-109.
28. Tordi N, Mourot L, Matusheski B, Hughson RL. Measurements of cardiac output during constant exercises: comparison of two non-invasive techniques. *Int J Sports Med.* 2004; 25: 145-9.