

Bioimpedância Transtorácica Comparada à Ressonância Magnética na Avaliação do Débito Cardíaco

Transthoracic Impedance Compared to Magnetic Resonance Imaging in the Assessment of Cardiac Output

Humberto Villacorta Junior¹, Aline Sterque Villacorta¹, Fernanda Amador², Marcelo Hadlich², Denilson Campos de Albuquerque², Clerio Francisco Azevedo²

Universidade Federal Fluminense¹, Rio de Janeiro, Instituto DO'r de Pesquisa e Ensino², Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Resumo

Fundamento: A ressonância magnética cardíaca é considerada o método padrão-ouro para o cálculo de volumes cardíacos. A bioimpedância transtorácica cardíaca avalia o débito cardíaco. Não há trabalhos que validem essa medida comparada à ressonância.

Objetivo: Avaliar o desempenho da bioimpedância transtorácica cardíaca no cálculo do débito cardíaco, índice cardíaco e volume sistólico, utilizando a ressonância como padrão-ouro.

Métodos: Avaliados 31 pacientes, com média de idade de $56,7 \pm 18$ anos, sendo 18 (58%) do sexo masculino. Foram excluídos os pacientes cuja indicação para a ressonância magnética cardíaca incluía avaliação sob estresse farmacológico. A correlação entre os métodos foi avaliada pelo coeficiente de Pearson, e a dispersão das diferenças absolutas em relação à média foi demonstrada pelo método de Bland-Altman. A concordância entre os métodos foi realizada pelo coeficiente de correlação intraclass.

Resultados: A média do débito cardíaco pela bioimpedância transtorácica cardíaca e pela ressonância foi, respectivamente, $5,16 \pm 0,9$ e $5,13 \pm 0,9$ L/min. Observou-se boa correlação entre os métodos para o débito cardíaco ($r = 0,79$; $p = 0,0001$), índice cardíaco ($r = 0,74$; $p = 0,0001$) e volume sistólico ($r = 0,88$; $p = 0,0001$). A avaliação pelo gráfico de Bland-Altman mostrou pequena dispersão das diferenças em relação à média, com baixa amplitude dos intervalos de concordância. Houve boa concordância entre os dois métodos quando avaliados pelo coeficiente de correlação intraclass, com coeficientes para débito cardíaco, índice cardíaco e volume sistólico de 0,78, 0,73 e 0,88, respectivamente ($p < 0,0001$ para todas as comparações).

Conclusão: A bioimpedância transtorácica cardíaca mostrou-se acurada no cálculo do débito cardíaco quando comparada à ressonância magnética cardíaca. (Arq Bras Cardiol 2012;99(6):1149-1155)

Palavras-chave: Insuficiência Cardíaca; Impedância Elétrica; Débito Cardíaco; Débito Cardíaco; Espectroscopia de Ressonância Magnética.

Abstract

Background: Cardiac magnetic resonance imaging is considered the gold-standard method for the calculation of cardiac volumes. Transthoracic impedance cardiography assesses the cardiac output. No studies validating this measurement, in comparison to that obtained by magnetic resonance imaging, are available.

Objective: To evaluate the performance of transthoracic impedance cardiography in the calculation of the cardiac output, cardiac index and stroke volume using magnetic resonance imaging as the gold-standard.

Methods: 31 patients with a mean age of 56.7 ± 18 years were assessed; of these, 18 (58%) were males. Patients whose indication for magnetic resonance imaging required pharmacologic stress test were excluded. Correlation between methods was assessed using the Pearson's coefficient, and dispersion of absolute differences in relation to the mean was demonstrated using the Bland-Altman's method. Agreement between methods was analyzed using the intraclass correlation coefficient.

Results: The mean cardiac output by transthoracic impedance cardiography and by magnetic resonance imaging was 5.16 ± 0.9 and 5.13 ± 0.9 L/min, respectively. Good agreement between methods was observed for cardiac output ($r = 0.79$; $p = 0.0001$), cardiac index ($r = 0.74$; $p = 0.0001$) and stroke volume ($r = 0.88$; $p = 0.0001$). The analysis by the Bland-Altman plot showed low dispersion of differences in relation to the mean, with a low amplitude of agreement intervals. Good agreement between the two methods was observed when analyzed by the intraclass correlation coefficient, with coefficients for cardiac output, cardiac index and stroke volume of 0.78, 0.73 and 0.88, respectively ($p < 0.0001$ for all comparisons).

Conclusion: Transthoracic impedance cardiography proved accurate in the calculation of the cardiac output in comparison to cardiac magnetic resonance imaging. (Arq Bras Cardiol 2012;99(6):1149-1155)

Keywords: Heart failure; electric impedance; cardiac output; magnetic resonance spectroscopy.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Humberto Villacorta Junior •

Rua Visconde de Silva, 154, 402, Humaitá. CEP 22271090, Rio de Janeiro, RJ – Brasil

E-mail: hvillacorta@cardiol.br, hvillacorta@globo.com

Artigo recebido em 06/03/12; revisado em 07/03/12; aceito em 31/07/12.

Introdução

A insuficiência cardíaca (IC) é uma desordem associada à ativação neuro-hormonal, que, em última análise, resulta em alterações hemodinâmicas, como redução do débito cardíaco (DC), aumento das pressões de enchimento do ventrículo esquerdo e aumento da resistência vascular sistêmica (RVS)^{1,2}. Além disso, a maioria das medicações utilizadas para o tratamento da IC, tanto crônica como aguda, apresenta efeitos sobre a hemodinâmica cardiovascular. Medidas hemodinâmicas específicas, como DC, RVS e pressão de capilar pulmonar geralmente são obtidas apenas em pacientes críticos, em grande parte por causa do risco, desconforto e custo de procedimentos invasivos como a monitorização por cateter de Swan-Ganz. No entanto, a medida desses valores poderia ser útil no manuseio de pacientes com IC, mesmo não críticos.

A bioimpedância transtorácica cardíaca (BTC) é um método não invasivo que permite a estimativa de parâmetros hemodinâmicos³⁻⁵. Ela é uma forma de pletismografia que utiliza mudanças na impedância elétrica torácica para estimar mudanças no volume sanguíneo no interior da aorta e mudanças no volume de fluido do tórax. Dessa forma, podem-se estimar parâmetros hemodinâmicos e o *status* volêmico. Apesar de a BTC ter sido avaliada em algumas situações clínicas⁶⁻⁹, há questionamentos sobre sua acurácia e utilidade¹⁰. A ressonância magnética cardíaca (RMC) é considerada padrão-ouro para o cálculo de volumes cardíacos^{11,12} e nenhum estudo anterior comparou os dois métodos.

O objetivo desse trabalho foi determinar o desempenho da BTC no cálculo do DC, utilizando-se a RMC como padrão-ouro.

Métodos

No período de março a junho de 2007, foram incluídos 31 pacientes encaminhados por seus médicos assistentes para realização ambulatorial de RMC. A média de idade foi de $56,7 \pm 18$ anos e 18 (58%) eram do sexo masculino. As indicações para realização da RMC foram: 1) Avaliação de cardiopatia isquêmica crônica (prévio infarto agudo do miocárdio (IAM), viabilidade miocárdica) em 11 pacientes; 2) Avaliação de arritmia (arritmia ventricular, extrassístoles ventriculares frequentes ao Holter, palpitações etc.) em 11 pacientes; 3) Avaliação da etiologia de cardiomiopatias em seis pacientes; e 4) Avaliação de miocardite aguda/subaguda em três pacientes.

Por razões logísticas internas, foram incluídos pacientes que realizaram RMC em um dia específico da semana. Imediatamente antes da RMC, eram submetidos à avaliação pela BTC. Foram excluídos pacientes cuja indicação de RMC incluía avaliação sob estresse farmacológico.

O exame de RMC foi realizado em repouso, em aparelho de ressonância magnética com campo principal de 1,5 tesla (Gyrosan NT Intera, Philips Medical System, Best, The Netherlands). Para fazer a avaliação dos parâmetros funcionais do ventrículo esquerdo (VE), foi utilizada uma sequência de pulsos do tipo gradiente-eco com magnetização transversal em estado de equilíbrio (*steady-state free precession* – SSFP),

com os seguintes parâmetros: TR 3,1 ms; TE 1,55 ms; Ângulo de inclinação: 55°; FOV 350-420 mm; matriz: 192 x 192; ScanPercentage 70%; RFOV: 75%; fases: 24; WFS: 0,21 pixels; NSA 1, cortes: 8-10; espessura: 8 mm; intervalo 2mm.

Foram adquiridos, de forma sequencial, oito a 10 cortes do eixo curto do ventrículo esquerdo cobrindo toda cavidade ventricular, do ápice ao anel mitral. A aquisição de cada corte teve duração de aproximadamente oito segundos (cerca de oito a 12 batimentos cardíacos, dependendo da frequência cardíaca), durante os quais o paciente era solicitado a prender a respiração.

Foram calculados quatro parâmetros utilizando o método de Simpson: fração de ejeção (FE), volume diastólico final (VDF), volume sistólico final (VSF) e volume sistólico (VS) de ejeção. Esses parâmetros foram obtidos das imagens de cine-RM da seguinte forma: contorno manual, em *software* específico comercialmente disponível (ViewForum, version 4.2, Philips Medical Systems, Best, The Netherlands), da borda endocárdica do VE nas fases diastólica (maior área) e sistólica (menor área) nos 8-10 cortes do eixo curto do VE. O VDF foi medido como a soma dos produtos da área de cada corte na fase diastólica vezes a espessura do corte. O VSF foi calculado de forma semelhante, mas utilizando para o cálculo a fase sistólica de cada corte. O VS foi calculado como: $VS = VDF - VSF$; e a FE como: $FE = (VS/VDF) \times 100$. Os volumes VDF, VSF e VS foram então normalizados para a área de superfície corporal, gerando os parâmetros IVDF, IVSF e IVS. Finalmente, o débito cardíaco foi calculado como: $DC = VS \times FC$.

A BTC foi realizada pelo aparelho Bio Z Dx Diagnostics, Cardiodynamics, San Diego, CA, Estados Unidos. Foram utilizados quatro pares de eletrodos posicionados no pescoço e tórax, conectados ao aparelho portátil, do tamanho proporcional a um eletrocardiógrafo. Uma corrente alternada de baixa frequência e alta amplitude é gerada pelos quatro sensores externos e os eletrodos internos captam as mudanças instantâneas de voltagem. De acordo com a lei de Ohm, quando uma corrente constante é aplicada no tórax, as mudanças de voltagem são diretamente proporcionais a mudanças da impedância. A impedância total do tórax, denominada impedância basal, é o somatório da impedância de todos os componentes torácicos (tecido adiposo, coração, pulmão, músculo esquelético, tecido vascular, ossos e ar). As variações em relação à impedância basal ocorrem em virtude das modificações no volume pulmonar com a respiração e mudanças no volume sanguíneo no interior de grandes vasos durante sístole e diástole. O componente respiratório é filtrado e removido da análise do aparelho, deixando apenas as variações decorrentes das modificações sanguíneas no interior da aorta, permitindo os cálculos hemodinâmicos. Vários parâmetros são fornecidos pelo aparelho, como DC, índice cardíaco VS, resistência arterial periférica, parâmetros de contratilidade e conteúdo de fluido torácico. No presente trabalho, foram analisados somente o DC, índice cardíaco e VS.

Os dados foram apresentados como média e desvio-padrão, pois apresentavam distribuição normal. A comparação entre as médias foi feita pelo Teste *t* de Student. A correlação

entre os métodos foi avaliada pelo coeficiente de Pearson e a dispersão das diferenças absolutas em relação à média foi demonstrada pelo método de Bland-Altman. A concordância entre os métodos foi realizada pelo coeficiente de correlação intraclass (ICC). O critério de determinação de significância adotado foi o nível de 5% e a análise foi feita pelo *software SAS® System*, versão 6.04.

Resultados

A Tabela 1 mostra as características basais da população. A fração de ejeção média, calculada pela RMC foi $62 \pm 17\%$. Do total de 31 pacientes, nove apresentavam disfunção sistólica global pela RMC e 12 apresentavam alterações da contratilidade regional. Quatro pacientes apresentavam hipertrofia concêntrica do VE. O DC na população como um todo, calculado pela BTC e RMC, foi, respectivamente, $5,16 \pm 0,9$ e $5,13 \pm 0,9$ ($p = 0,76$). Houve boa correlação entre os métodos quanto ao DC, índice cardíaco e VS, como observado nas Figuras 1 a 3. A avaliação pelo gráfico de Bland-Altman mostrou pequena dispersão das diferenças em relação à média, com baixa amplitude dos intervalos de concordância (Figura 4). Houve boa concordância entre os dois métodos quando avaliados pelo ICC, conforme mostrado na Tabela 2.

Discussão

No presente trabalho, demonstramos que a BTC apresentou bom desempenho no cálculo do DC, índice cardíaco e VS, usando-se a RMC como padrão-ouro. Esse é o único estudo realizado em uma população estável,

ambulatorial, com a finalidade de avaliar a acurácia da BTC na medida do DC.

Utilizamos a RMC como método de referência. Sua utilidade em estimar o débito cardíaco foi confirmada por várias técnicas, em estudos experimentais e clínicos, mostrando bom desempenho¹³⁻¹⁶.

A acurácia da medida de débito cardíaco usando-se a nova geração de aparelhos de BTC já foi realizada por métodos invasivos, em cenários de terapia intensiva³, pós-operatório de cirurgia de revascularização miocárdica⁵ e em laboratório de hemodinâmica em pacientes com hipertensão pulmonar⁴. Em todos esses estudos, a BTC apresentou um bom desempenho no cálculo do débito cardíaco, com correlação moderada com cálculos feitos pelos métodos de Fick ou termodiluição³⁻⁵. Em nosso estudo, confirmamos esses achados em pacientes menos graves, ambulatoriais, em que a medida invasiva dos parâmetros hemodinâmicos não seria ética, lançando-se mão de um método não invasivo, porém acurado, como a RMC.

A aplicação clínica da BTC foi avaliada em pacientes com dispneia aguda na sala de emergência^{6,7}. A BTC fez com que o médico mudasse seu diagnóstico em 13% dos casos e mudasse as medicações em 39% dos pacientes⁶. Em outro estudo, foi útil em diferenciar dispneia de origem cardíaca *versus* não cardíaca⁷. Esses trabalhos, no entanto, pecam pela falta de grupo controle e pela não randomização, o que dificulta a avaliação do desempenho do método na mudança de desfechos.

Em um estudo ambulatorial – estudo PREDICT – com pacientes portadores de IC que foram recentemente hospitalizados, a BTC realizada de forma seriada foi capaz de

Tabela 1 – Características basais da população

Variáveis	Valores
Idade (anos)	56,7 ± 18
Sexo masculino	18 (58%)
Peso (Kg)	73,8 ± 14,4
Altura (m)	1,68 ± 0,1
Índice de massa corporal (Kg/m ²)	26,2 ± 4,6
Superfície corporal (m ²)	1,83 ± 0,2
Frequência cardíaca (bpm)	66,4 ± 11
Volume diastólico final (mL)	140,6 ± 58,9
Volume sistólico final (mL)	60,5 ± 55,9
Massa de ventrículo esquerdo (g)	114,7 ± 43,7
Fração de ejeção (%)	62,1 ± 17
Débito cardíaco pela RMC (L/min)	5,16 ± 0,97
Índice cardíaco pela RMC (L/min/m ²)	2,84 ± 0,47
Volume sistólico pela RMC (mL)	80,2 ± 19,8
Débito cardíaco pela bioimpedância (L/min)	5,13 ± 0,9
Índice cardíaco pela bioimpedância (L/min/m ²)	2,81 ± 0,43
Volume sistólico pela bioimpedância (mL)	79,3 ± 19,1

RMC: ressonância magnética cardíaca.

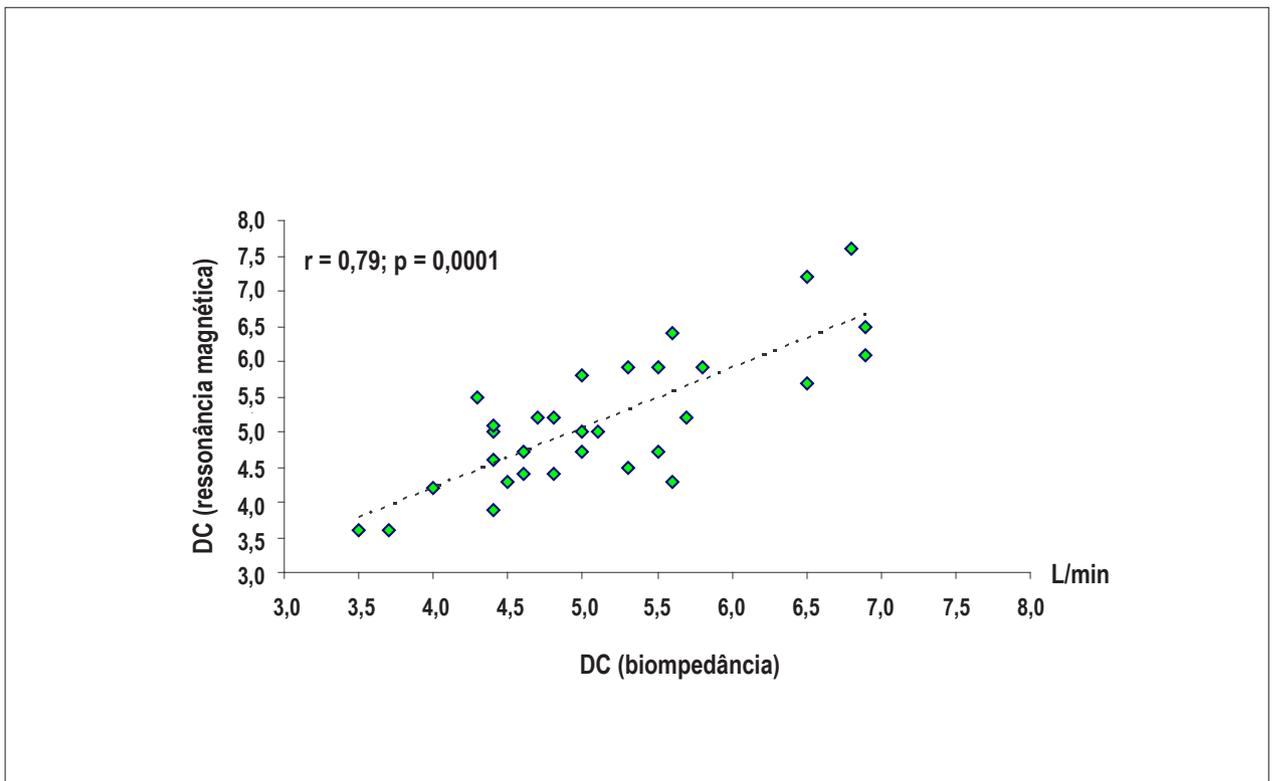


Fig. 1 – Correlação dos valores de débito cardíaco (DC) calculados pela bioimpedância transtorácica e pela ressonância magnética cardíaca

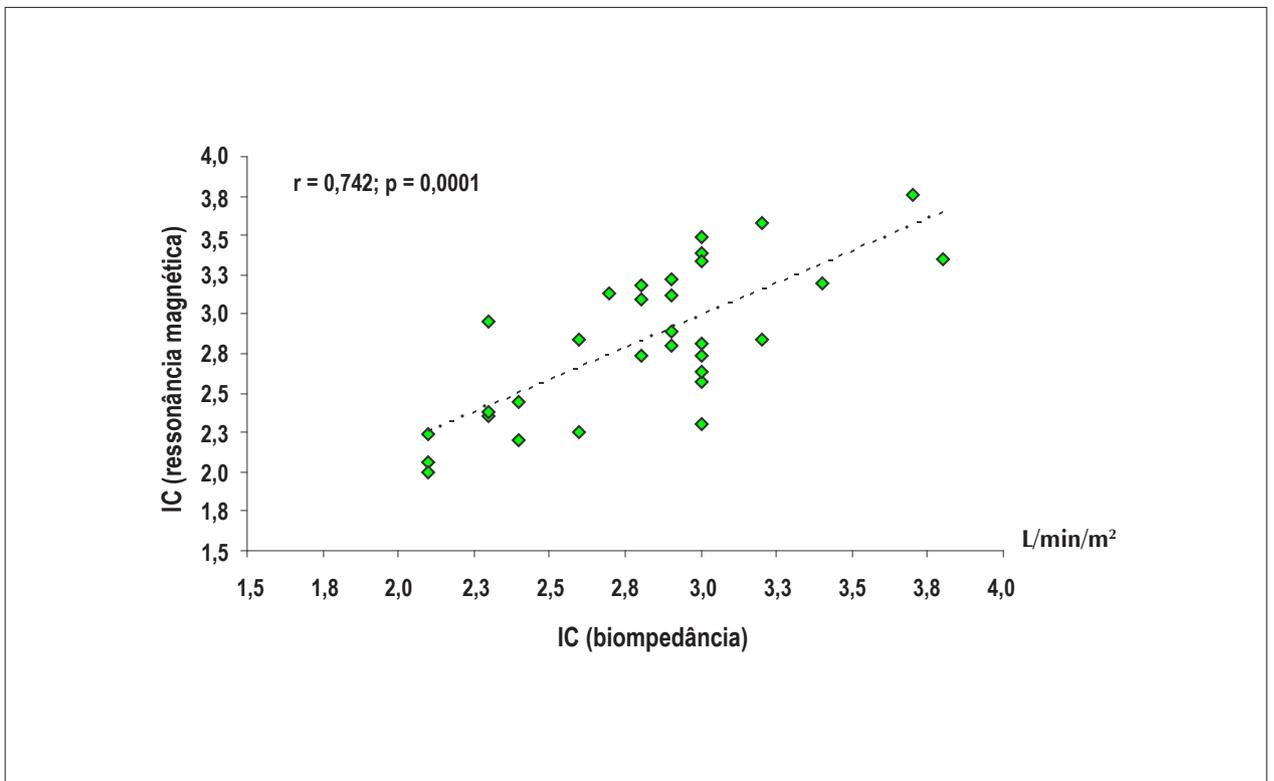


Fig. 2 – Correlação dos valores de índice cardíaco calculados pela bioimpedância transtorácica e pela ressonância magnética cardíaca.

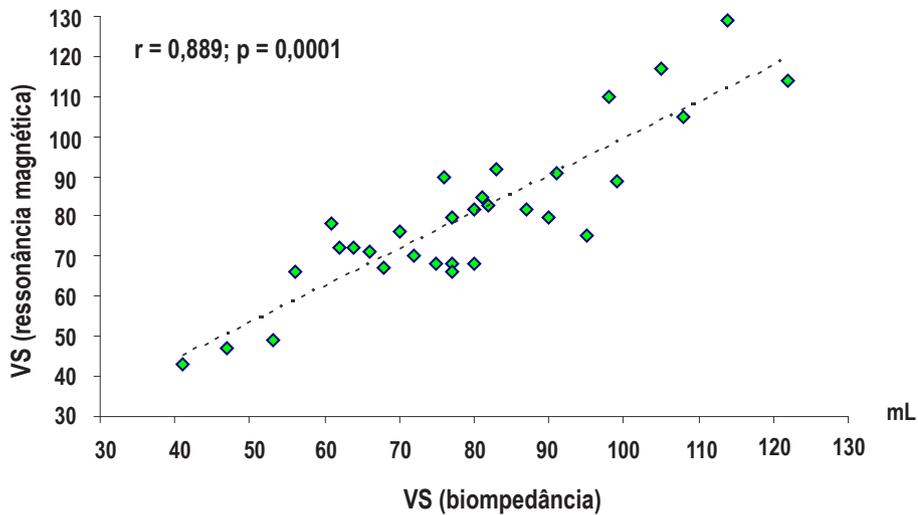


Fig. 3 – Correlação dos valores de volume sistólico (VS) calculados pela bioimpedância transtorácica e pela ressonância magnética cardíaca

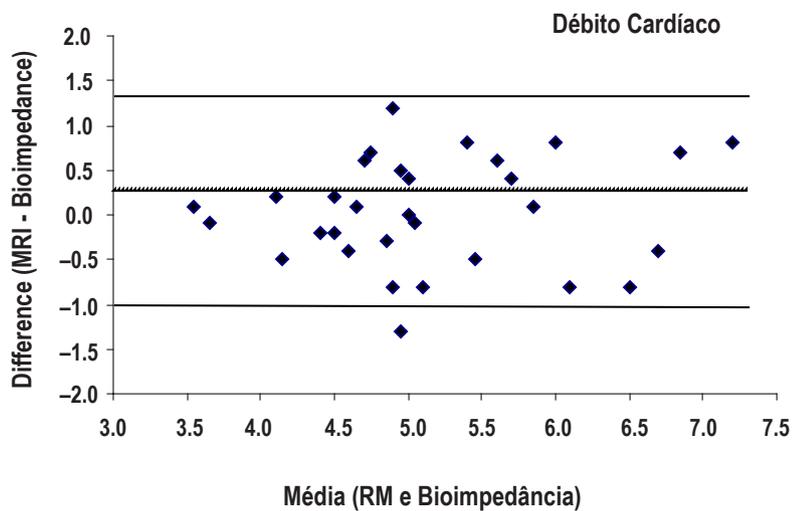


Fig. 4 – Gráfico de Bland-Altman para débito cardíaco, mostrando a dispersão das diferenças absolutas em relação à média

Tabela 2 – Concordância entre os métodos quanto aos parâmetros hemodinâmicos, avaliada pelo coeficiente intraclassas

Variável	Coefficiente intraclassas	Valor de p
Débito cardíaco (L/min)	0,785	< 0,0001
Índice cardíaco (L/min/m ²)	0,729	< 0,0001
Volume sistólico (mL)	0,884	< 0,0001

identificar pacientes de alto risco para hospitalização e morte. Três parâmetros da BTC foram úteis nessa análise – o índice de velocidade, o conteúdo de fluxo torácico indexado e o tempo de ejeção ventricular esquerdo. Não há, no entanto, trabalhos que mostrem que medidas seriadas com BTC possam alterar os desfechos clínicos.

No único estudo randomizado e cego, em pacientes com IC grave, não foi possível demonstrar benefício clínico do método¹⁰. O estudo BIG¹⁰ incluiu um subgrupo do estudo ESCAPE¹⁷, em que pacientes com IC grave eram hospitalizados para ajustar a medicação guiada por parâmetros hemodinâmicos invasivos. Essa abordagem não foi melhor que o ajuste convencional, feito pelo exame clínico¹⁷. No subgrupo submetido à avaliação com BTC, observou-se modesta correlação do DC medido pela BTC com os parâmetros invasivos (r variando entre 0,4 a 0,6 em medidas seriadas). O conteúdo de fluido torácico calculado pela BTC não foi uma medida confiável para estimar a pressão encunhada de capilar pulmonar. Além disso, diferentemente do estudo PREDICT, a BTC não apresentou utilidade prognóstica.

Referências

- Schrier RW, Abraham WT. Hormones and hemodynamics in heart failure. *N Engl J Med*. 1999;341(8):577-85.
- Bocchi EA, Marcondes-Braga FG, Bacal F, Ferraz AS, Albuquerque D, Rodrigues D, et al. Atualização da Diretriz Brasileira de Insuficiência Cardíaca Crônica. *Arq Bras Cardiol* 2012;98(1 supl. 1):1-33.
- Marik PE, Pendelton JE, Smith R. A comparison of hemodynamic parameters derived from transthoracic electrical bioimpedance with those parameters obtained by thermodilution and ventricular angiography. *Crit Care Med* 1997;25(9):1545-50.
- Yung GL, Fedullo PF, Kinninger K, Johnson W, Channick RN. Comparison of impedance cardiography to direct Fick and thermodilution cardiac output determination in pulmonary arterial hypertension. *Cong Heart Fail* 2004;10(Suppl 2):7-10.
- Van de Water JM, Miller TW, Vogel RL, Mount BE, Dalton ML. Impedance cardiography: the next vital sign technology? *Chest* 2003;123(6):2028-33.
- Peacock WF, Summers RL, Vogel J, Emerman CE. Impact of impedance cardiography on diagnosis and therapy of emergent dyspnea: the ED-IMPACT trial. *Acad Emerg Med* 2006;13(4):365-71.
- Springfield CL, Sebat F, Johnson D, Lenge S, Sebat C. Utility of impedance cardiography to determine cardiac vs. noncardiac cause of dyspnea in the emergency department. *Cong Heart Fail* 2004;10(Suppl 2):14-6.
- Packer M, Abraham WT, Mehra MR, Yancy CW, Lawless CE, Mitchell JE, et al. Prospective Evaluation and Identification of Cardiac Decompensation by ICG Test (PREDICT) Study Investigators and Coordinators. Utility of impedance cardiography for the identification of short-term risk of clinical decompensation in stable patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(11):2245-52.
- Smith RD, Levy P, Ferrario CM, for the Consideration of Noninvasive Hemodynamic Monitoring to Target Reduction of Blood Pressure Levels Study Group. Value of noninvasive hemodynamics to achieve blood pressure control in hypertensive subjects. *Hypertension* 2006;47(4):769-75.
- Kamath AS, Drazner MH, Tasissa G, Rogers JG, Stevenson LW, Yancy CW. Correlation of impedance cardiography with invasive hemodynamic measurements in patients with advanced heart failure: the BioImpedance CardioGraphy (BIG) substudy of the Evaluation Study of Congestive Heart Failure and Pulmonary Artery Catheterization Effectiveness (ESCAPE) Trial. *Am Heart J* 2009;158(2):217-23.
- Azevedo Filho CF, Hadlich M, Petriz JLF, Mendonça LA, Moll Filho JN, Rochitte CE. Quantification of left ventricular infarcted mass on cardiac magnetic resonance imaging: comparison between planimetry and the semiquantitative visual scoring method. *Arq Bras Cardiol* 2004;83(2):111-7.
- Rochitte CE, Pinto IM, Fernandes JL, Filho CF, Jatene A, Carvalho AC, et al. Grupo de Estudo em Ressonância e Tomografia Cardiovascular (GERT) do Departamento de Cardiologia Clínica da Sociedade Brasileira de Cardiologia. Cardiovascular magnetic resonance and computed tomography imaging guidelines of the Brazilian Society of Cardiology. *Arq Bras Cardiol* 2006;87(3):e60-100.

No contexto da hipertensão arterial, um estudo randomizado demonstrou benefício da BTC no controle da pressão arterial⁹. A taxa de pacientes com pressão arterial controlada (< 140 x 90 mmHg) ao final do estudo no grupo BTC e controle foi, respectivamente, 77% e 57%. Para pressão arterial < 130 x 85 mmHg, esses valores foram 55% versus 27%.

Com base nesses estudos, podemos concluir que, embora a BTC possa medir o débito cardíaco e a resistência periférica com moderada acurácia, não há dados que indiquem mudança em desfechos clínicos com o método, com possível exceção no cenário de pacientes com hipertensão arterial não controlada. O método, no entanto, pode ser útil em pesquisas, como em estudos de mecanismos de doenças e estudos de respostas hemodinâmicas a determinados fármacos ou intervenções.

Em conclusão, a avaliação do DC pela BTC mostrou-se acurada em pacientes estáveis ambulatoriais, usando-se a RMC como padrão-ouro.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Artigo Original

13. Culham JA, Vince DJ. Cardiac output by MRI imaging: an experimental study comparing right ventricle and left ventricle with thermodilution. *Can Assoc Radiol J* 1988;39(4):247-9.
14. Hunter CJ, Hamberg LM, Weisskoff RM, Halpern EF, Brady TJ. Measurement of stroke volume and cardiac output within a single breath hold with echo-planar MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 1994;4(1):51-8.
15. Hundley WG, Li HF, Hillis LD, Meshack BM, Lange RA, Willard JE, et al. Quantitation of cardiac output with velocity-encoded, phase-difference magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 1995;75(17):1250-5.
16. James SH, Wald R, Wintersperger BJ, Jimez-Juan L, Deva D, Crean AM, et al. Accuracy of right and left ventricular functional assessment by short-axis vs axial cine steady-state free-precession magnetic resonance imaging: inpatient correlation with main pulmonary artery and ascending aorta phase-contrast flow measurement. *Can Assoc Radiol J*. 2012; May 10 (Epub ahead of print).
17. Binanay C, Califf RM, Hasselblad V, O'Connor CM, Shah MR, Sopko G, et al. Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: The ESCAPE Trial. *JAMA* 2005;294(13):1625-33.