

# Correlação entre gasometria atrial direita e índice cardíaco no pós-operatório de cirurgia cardíaca

*Correlation between right atrial venous blood gasometry and cardiac index in cardiac surgery postoperative*

João Jackson DUARTE<sup>1</sup>, José Carlos Dorsa Vieira PONTES<sup>2</sup>, Otoni Moreira GOMES<sup>3</sup>, Guilherme Viotto Rodrigues da SILVA<sup>4</sup>, Neimar GARDENAL<sup>5</sup>, Arino Faria da SILVA<sup>6</sup>, Marcos Douglas Zamboni VIOLA<sup>7</sup>

RBCCV 44205-1168

## Resumo

**Objetivo:** Determinar a confiabilidade em se correlacionar o índice cardíaco com os dados fornecidos pela gasometria do sangue venoso atrial direito em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, durante o período pós-operatório.

**Métodos:** A partir das amostras de sangue arterial e venoso do átrio direito, colhidas no pós-operatório de cirurgia cardíaca, foram determinados os parâmetros de oxigênio do sangue venoso do átrio direito. Estes parâmetros foram então comparados com o índice cardíaco determinado pela termodiluição.

**Resultados:** Houve boa correlação entre a saturação de oxigênio do sangue venoso do átrio direito (SvO<sub>2</sub>), diferença artério-venosa do conteúdo de oxigênio do sangue colhido no átrio direito e o índice cardíaco aferido pela termodiluição, com boa sensibilidade e especificidade e alto valor preditivo positivo e negativo. A pressão do sangue do átrio direito (PvO<sub>2</sub>) apresentou baixa sensibilidade na estimativa de baixo débito cardíaco.

**Conclusão:** No pós-operatório de cirurgia cardíaca, a SvO<sub>2</sub> e a diferença artério-venosa do conteúdo de oxigênio (C(a-v)O<sub>2</sub>) apresentaram-se como parâmetros confiáveis correlacionados a baixo débito cardíaco. A PvO<sub>2</sub> foi pouco sensível no diagnóstico de baixo débito no pós-operatório de cirurgia cardíaca.

**Descritores:** Débito cardíaco. Oxigênio. Gasometria. Procedimentos cirúrgicos cardíacos.

## Abstract

**Objective:** To determine, even during postoperative period, the confiability of the cardiac index correlate with the data data given by a central atrial venous blood gasometry in patients who underwent cardiac surgery.

**Methods:** From the sample of arterial and venous blood of right atrium gathered in postoperative of cardiac surgery, it was determinated the hemoglobin concentration and the

1. Mestrado; Chefe do Serviço de Cirurgia Cardiovascular do Hospital Regional de Mato Grosso do Sul e Cirurgião Cardiovascular do Serviço de Cirurgia Cardiovascular do Hospital Universitário da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.
2. Doutorado; Chefe do departamento de Clínica Cirúrgica – UFMS.
3. Professor Titular; Coordenador da Pós-Graduação em Cirurgia Cardiovascular da Fundação Cardiovascular São Francisco de Assis.
4. Acadêmico de Medicina da Faculdade de Medicina da UFMS; Diretor Acadêmico da Liga Acadêmica de Cardiologia e Cirurgia Cardiovascular da UFMS.
5. Mestrado; Cirurgião Cardiovascular do Serviço de Cirurgia Cardiovascular do Hospital Universitário da UFMS.
6. Mestrado; Cirurgião Cardiovascular do Serviço de Cirurgia Cardiovascular do Hospital Universitário da UFMS.

7. Especialização em Cirurgia Cardiovascular; Médico Cirurgião Cardiovascular.

Trabalho realizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Departamento de Clínica Cirúrgica Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil.

Endereço para correspondência:

José Carlos Dorsa Vieira Pontes. Av. Senador Filinto Müller nº1. Telefone: (67) 345-7000.

E-mail: carlosdorsa@uol.com.br

Artigo recebido em 24 de fevereiro de 2010

Artigo aprovado em 17 de maio de 2010

gasometric study through what was observed of the venous oxygen saturation ( $SvO_2$ ) and the partial pressure of oxygen from venous blood gathered in right atrium ( $PvO_2$ ), add to the calculation of artery-venous difference of the oxygen content - radial artery / right atrium ( $C(a-v)O_2$ ). Afterwards, these parameters were compared with the cardiac index determined by thermodilution.

**Results:** There was good correlation between  $SvO_2$ ,  $C(a-v)O_2$  of the venous right atrial blood and cardiac index measured by thermodilution method, with sensibility and

specificity good and high positive predict value and negative predict value. The  $PvO_2$  demonstrated poor sensibility in the estimative of low output.

**Conclusion:** In cardiac surgery postoperative, the  $SvO_2$  and the  $C(a-v)O_2$  were safe parameters correlated with low cardiac output. The  $PvO_2$  demonstrated poor sensibility in the estimative of low output in postoperative cardiac surgery.

**Descriptors:** Cardiac output. Oxygen. Blood gas analysis. Cardiac surgical procedures.

## INTRODUÇÃO

A monitorização do débito cardíaco foi incorporada à prática clínica, a partir dos estudos de Swan et al. [1], em 1970, com a idealização de um cateter de artéria pulmonar, que permitiu a medida do débito cardíaco por meio da termodiluição, após aprimoramento em sua estrutura, descrita por Forrester et al. [2], em 1972. Entretanto, muitas críticas surgiram a respeito dos riscos e complicações da utilização deste aparato, sendo que sua utilização determinaria maior morbidade e mortalidade aos pacientes [3]. Porém, de acordo com alguns *trials* publicados recentemente, estudos eficazes são necessários para se determinar os protocolos corretos a serem seguidos e os grupos de pacientes que se possam beneficiar com a utilização do cateter de Swan-Ganz® [4-6].

Novos parâmetros surgiram como alternativas à monitorização da função cardíaca, entre outros, a saturação de oxigênio do sangue venoso misto, que, segundo os estudos de Krauss et al. [7] e Perner et al. [8], apresenta boa correlação com os valores do débito cardíaco. Em virtude da maior dificuldade na obtenção de amostra sanguínea da artéria pulmonar, o sangue colhido no átrio direito vem sendo utilizado, com boa correlação com o sangue venoso misto [9].

### Objetivo

Este estudo tem por objetivo determinar a confiabilidade em se correlacionar baixo débito cardíaco com os dados fornecidos pela gasometria do sangue venoso colhido em átrio direito em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, durante o período pós-operatório.

### MÉTODOS

Dez pacientes valvopatas com indicação de cirurgia cardíaca foram selecionados para este estudo, sendo seis do sexo masculino e quatro de sexo feminino, com idade entre 30 e 70 anos (média = 50,4 anos). Estes pacientes apresentavam sinais de insuficiência cardíaca e fração de ejeção ao ecocardiograma menor que 40% (média =  $36,2\% \pm 4,2$ ).

Foram excluídos os indivíduos que apresentavam outras

doenças concomitantes, como doença pulmonar obstrutiva crônica, distúrbios hematológicos, doenças hepáticas e renais. A existência de anormalidades anatômicas que proporcionassem mistura de sangue intracardíaco e a insuficiência tricúspide moderada e ou grave também foi critério de exclusão.

Uma hora antes da realização do procedimento cirúrgico, foram inseridos em cada paciente um cateter de Swan-Ganz®, em artéria pulmonar direita em zona II de Wedge, e um cateter venoso central, em átrio direito, posicionados com auxílio de radioscopia. Na artéria radial, também foi introduzido cateter plástico, a fim de se obter a monitorização contínua da pressão arterial média e amostras de sangue arterial para estudo gasométrico. Todos os pacientes foram submetidos à cirurgia cardíaca (quatro plastias de valva mitral, um implante de prótese valvar aórtica e cinco implantes de prótese valvar mitral) pela mesma equipe de cirurgia cardiovascular do Hospital Universitário da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Utilizou-se, em todos os casos, circulação extracorpórea com técnica e aparato similares.

No período pós-operatório, os pacientes foram inicialmente mantidos em ventilação mecânica com respiradores multiprocessados com pressão controlada e monitorizados com oximetria, capnografia e eletrocardioscopia, sendo confirmado o correto posicionamento dos cateteres por meio da radiografia de tórax realizada no leito.

Foram coletadas, simultaneamente, de cada paciente, amostras de sangue arterial e sangue do átrio direito, segundo a necessidade da avaliação hemodinâmica e gasométrica, num total de dez amostras de cada paciente. Foram determinados os seguintes parâmetros: concentração plasmática de hemoglobina (Hb), saturação de oxigênio do sangue arterial ( $SaO_2$ ), venoso do átrio direito ( $SvO_2$ ), pressão parcial de oxigênio do sangue arterial ( $PaO_2$ ) e do sangue do átrio direito ( $PvO_2$ ).

Concomitantemente à coleta das amostras de sangue, o índice cardíaco foi aferido pelo método da termodiluição, com o uso do cateter de Swan-Ganz®, considerando-se como valor final, a média entre três medidas consecutivas, desde que não houvesse diferenças maiores que 10% entre

elas. A aferição deste parâmetro durante o período de ventilação mecânica foi realizada na fase final da expiração.

Os dados fornecidos pela análise das amostras sanguíneas colhidas permitiram o cálculo da diferença artério-venosa do conteúdo de oxigênio (C(a-v)O<sub>2</sub>), segundo as equações abaixo representadas:

$$\begin{aligned} \text{CaO}_2 &= \text{SaO}_2 \times \text{Hb} \times 1,39 + 0,0031 \times \text{PaO}_2 \\ \text{CvO}_2 &= \text{SvO}_2 \times \text{Hb} \times 1,39 + 0,0031 \times \text{PvO}_2 \\ \text{C(a-v)O}_2 &= \text{CaO}_2 - \text{CvO}_2 \end{aligned}$$

Onde CaO<sub>2</sub> representa o conteúdo de oxigênio do sangue arterial, CvO<sub>2</sub> o conteúdo de oxigênio do sangue venoso do átrio direito. O valor 1,39 representa a quantidade de oxigênio em ml que pode ser transportada por um grama de hemoglobina e 0,0031 é a constante de solubilidade do oxigênio no plasma.

Os resultados encontrados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o coeficiente de correlação linear (r) e o teste t de Student, com nível de significância de 5%. Os testes diagnósticos em relação ao padrão-ouro (termodiluição) foram aplicados para avaliar a capacidade de um determinado parâmetro estimar o índice cardíaco (IC), admitindo-se, desta forma, que SvO<sub>2</sub> menores que 60%, PvO<sub>2</sub> menores que 28 mmHg, C(a-v)O<sub>2</sub> 7,0 ml% e IC menores que 2,0 l/min/m<sup>2</sup>, representassem quadro de baixo débito cardíaco.

Após aplicação do termo de consentimento livre e esclarecido aos pacientes, o presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Núcleo do Hospital Universitário da UFMS.

## RESULTADOS

A SvO<sub>2</sub>, PvO<sub>2</sub> e a C(a-v)O<sub>2</sub> apresentaram correlação linear (r) com o IC de 0,80, 0,79 e -0,84, respectivamente, todos com P < 0,05.

A Tabela 1 mostra esta comparação entre a SvO<sub>2</sub>, PvO<sub>2</sub> e a C(a-v)O<sub>2</sub> com o IC, considerando-se a correlação linear (r), e o teste t de Student.

As Figuras 1, 2 e 3 representam graficamente estas correlações.

A Tabela 2 demonstra os resultados dos testes diagnósticos realizados para cada parâmetro estudado em relação ao método da termodiluição, considerado padrão-ouro para determinação do índice cardíaco.

A SvO<sub>2</sub> menor que 60% apresentou 8% de resultados falso positivos e 2% de falso negativo e conseqüente menor especificidade, entretanto a SvO<sub>2</sub> menor que 55% como indicador de baixo débito apresentou melhor perfil diagnóstico, como representado na Tabela 3, apresentando apenas 2,6% de resultados falso positivo e 2% de falso negativo.

Tabela 1. Comparação entre os parâmetros estudados a partir da gasometria venosa do sangue colhido no átrio direito e na artéria pulmonar e o índice cardíaco, considerando-se o coeficiente de correlação linear (r) e o teste t de Student.

Parâmetros	R	P
SvO <sub>2</sub> x IC	0,80	< 0,05
PvO <sub>2</sub> x IC	0,79	< 0,05
C(a-v)O <sub>2</sub> x IC	-0,84	< 0,05

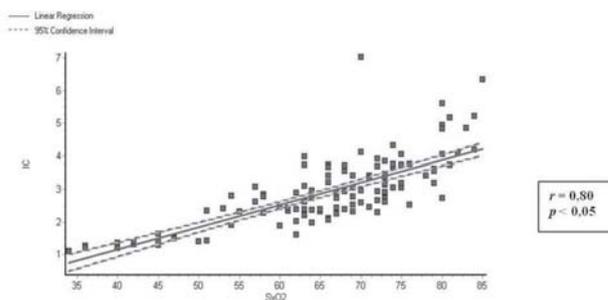


Fig. 1 - Correlação entre saturação de oxigênio do sangue do átrio direito (SvO<sub>2</sub>) e índice cardíaco (IC)

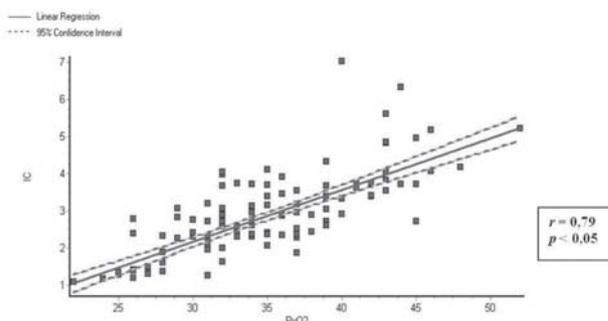


Fig. 2 - Correlação entre pressão parcial de oxigênio do sangue do átrio direito (PvO<sub>2</sub>) e índice cardíaco (IC)

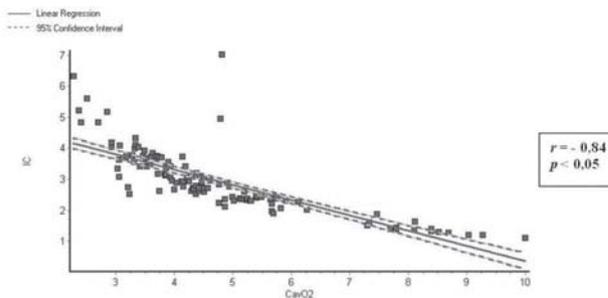


Fig. 3 - Correlação entre diferença do conteúdo artério-venoso de oxigênio (CavO<sub>2</sub>) e índice cardíaco (IC)

Tabela 2. Testes diagnósticos dos parâmetros fornecidos pela gasometria venosa do sangue colhido no átrio direito comparativamente ao índice cardíaco determinado pelo método da termodiluição.

Parâmetros	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia	V.P.P	V.P.N
SvO <sub>2</sub>	91,4 ± 9,2%	89,6 ± 5,6%	90 ± 4,8%	72,7 ± 13,1%	97,2 ± 3,2%
PvO <sub>2</sub>	65,7 ± 15,7%	96,5 ± 3,3%	89,3 ± 4,9%	85,2 ± 13,4%	90,2 ± 5,2%
C(a-v)O <sub>2</sub>	94,1 ± 7,9%	100%	98,7 ± 1,9%	100%	98,3 ± 2,3%

SvO<sub>2</sub>: Saturação de oxigênio do sangue venoso do átrio direito; PvO<sub>2</sub>: pressão do sangue do átrio direito; C(a-v)O<sub>2</sub>: diferença artério-venosa do conteúdo de oxigênio; VPP: Valor Preditivo Positivo; VPN: Valor Preditivo Negativo

Tabela 3. Testes diagnósticos SvO<sub>2</sub>, considerando SvO<sub>2</sub> < 55% como indicativo de baixo débito cardíaco.

Parâmetros	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia	V.P.P	V.P.N
SvO <sub>2</sub>	91,7 ± 8,4%	96,5 ± 3,4%	95,5 ± 3,3%	89,2% ± 10 %	97,3 ± 2,9%

SvO<sub>2</sub>: Saturação de oxigênio do sangue venoso do átrio direito; VPP: Valor Preditivo Positivo; VPN: Valor Preditivo Negativo

## DISCUSSÃO

A utilização da saturação de oxigênio no sangue do átrio direito (SvO<sub>2AD</sub>) como substituto do sangue venoso misto (SvO<sub>2AP</sub>) tem sido usada na estimativa da oxigenação tecidual do débito cardíaco, pela maior facilidade em sua obtenção.

Martin et al. [10], estudando pacientes em choque séptico, relataram que os valores da saturação de oxigênio do sangue venoso central colhido na veia cava superior (Svo2cs) e da SvO<sub>2AP</sub> não foram superponíveis. Segundo Stone et al. [11] e Smith et al. [12], a redistribuição do fluxo sanguíneo em favor da perfusão cerebral, em condições de baixo débito, seria a responsável pela diferença encontrada entre os valores da SvO<sub>2cs</sub> e da SvO<sub>2AD</sub> na estimativa da SvO<sub>2AP</sub>. Desta maneira, a saturação de oxigênio do sangue da veia cava superior tornar-se-ia maior do que a do sangue da veia cava inferior, devido à menor perfusão dos órgãos esplâncnicos, portanto os valores da SvO<sub>2AD</sub> representariam uma melhor estimativa dos valores da SvO<sub>2AP</sub>, quando comparados com os dados fornecidos pela SvO<sub>2cs</sub>.

Estes dados explicam os achados de Scheinman et al. [13], em 1969, que ao estudarem pacientes com infarto agudo do miocárdio, relataram maior diferença entre os valores médios da SvO<sub>2cs</sub> e os da SvO<sub>2AP</sub> para pacientes com evidências clínicas de falência ventricular esquerda ou choque, diferentemente do observado no grupo de pacientes clinicamente estáveis.

Martin et al. [14] sugeriram que a manutenção da SvO<sub>2AP</sub> em valores maiores que 60% seria um importante parâmetro para orientar a terapêutica em pacientes críticos do ponto de vista hemodinâmico.

Em relação ao índice cardíaco, que em última análise

poderia expressar o estado hemodinâmico do paciente, a literatura pertinente demonstra grandes discordâncias nas correlações entre este parâmetro e a saturação de oxigênio do sangue venoso central.

Krauss et al. [7] relataram, em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca ou pulmonar, boa correlação ( $r = 0,78$ ) entre saturação venosa mista de oxigênio e índice cardíaco. Waller et al. [15], estudando pacientes submetidos à revascularização do miocárdio, por meio de monitorização contínua da SvO<sub>2AP</sub> com cateteres de fibra óptica, relataram boa correlação entre as alterações dos valores da SvO<sub>2AP</sub> e do IC, com  $r = 0,69$ , quando houve variação, acréscimo ou decréscimo, de 5% ou mais no valor da SvO<sub>2AP</sub>.

Jamieson et al. [16], estudando pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, demonstraram boa correlação entre a SvO<sub>2AP</sub> e o IC, com  $r = 0,95$ , sendo que os valores da SvO<sub>2AP</sub> maiores que 65% corresponderam a índice cardíaco satisfatório. Outros autores apresentaram resultados discordantes, nos quais obtiveram pouca correlação entre a medida da SvO<sub>2AP</sub> e do IC [17-19].

Jain et al. [20] atribuíram a grande variabilidade de resultados demonstrados na literatura ao diferente perfil hemodinâmico e metabólico dos pacientes estudados. Conforme estes autores descreveram, a correlação entre SvO<sub>2AP</sub> e débito cardíaco não se faz de maneira linear, como propuseram os autores anteriormente citados. Estes autores demonstraram que, no grupo de pacientes que apresentaram IC < 2 l/min/m<sup>2</sup> e SvO<sub>2AP</sub> < 55% a correlação foi boa ( $r = 0,87$ ), diferindo da menor correlação ( $r = 0,42$ ) encontrada no grupo de pacientes mais estáveis hemodinamicamente, com IC > 2 l/min/m<sup>2</sup> e SvO<sub>2AP</sub> > 55%. Estes autores consideraram, ainda, a homogeneidade do grupo de pacientes, considerando-se a concentração de hemoglobina (Hb) e o consumo de oxigênio corporal (VO<sub>2</sub>),

como importante fator responsável pela variabilidade da correlação entre  $SvO_{2AP}$  e IC.

Os resultados obtidos pelo presente estudo corroboram as afirmações acima, uma vez que nos pacientes com maior instabilidade hemodinâmica a correlação entre a  $SvO_2$  e o IC foi maior. Entretanto, o valor limítrofe de 60% da  $SvO_2$  determinou quase 8% de resultado falso positivo, que foi reduzido a somente 2,6% quando consideramos  $SvO_2$  menor que 55% como indicativo de baixo débito, promovendo melhora da sensibilidade e principalmente da especificidade, com maior valor preditivo positivo. Este perfil de diagnóstico da  $SvO_2$  credencia o seu uso rotineiro no pós-operatório como parâmetro adicional e importante na análise hemodinâmica dos pacientes, podendo nortear condutas como desmame de drogas e infusão de volumes, retardando ou até evitando em certos casos o emprego do cateter de Swan-Ganz®.

Sommers et al. [21], estudando pacientes submetidos à revascularização do miocárdio, mais especificamente nas primeiras oito horas de pós-operatório, relataram melhor correlação entre  $PvO_{2AP}$  e IC, com valor médio de  $r = 0,6502$ , comparando-se à  $SvO_{2AP}$  e ao IC, com  $r = 0,424$ . Estes resultados foram atribuídos à instabilidade dos pacientes durante o pós-operatório imediato e à provável variabilidade do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) pelo paciente neste período.

Kandel et al. [22] relataram que seria preferível a utilização da  $SvO_{2AP}$  ao invés da  $PvO_{2AP}$ , para monitorizar a oxigenação tecidual, uma vez que, as alterações na  $SvO_{2AP}$  podem ser utilizadas para identificar distúrbios no transporte de oxigênio em um estágio mais precoce, permitindo, assim, melhor resposta ao tratamento. Além disso, a  $SvO_{2AP}$  seria determinada apenas pelos componentes do sistema de transporte de oxigênio, ou seja, DC, Hb,  $SaO_2$  e  $VO_2$ , enquanto a  $PvO_{2AP}$  pode ser alterada na presença de qualquer fator que cause desvios na curva de dissociação da hemoglobina sem necessariamente existir distúrbios no transporte de oxigênio.

Em nosso estudo, apesar da boa correlação encontrada entre a  $PvO_2$  e o IC ( $r = 0,79$ ), este parâmetro foi pouco sensível (sensibilidade de  $65,7\% \pm 15,7$ ) em diagnosticar baixo débito cardíaco comparado a  $SvO_2$ , concordando com os resultados de Kandel et al. [22].

A diferença artério-venosa do conteúdo de oxigênio ( $C(a-v)O_2$ ), teoricamente, apresentaria melhor desempenho, quando correlacionada ao débito cardíaco, em comparação à  $SvO_2$ , pois, para o seu cálculo utiliza-se a medida dos outros dois fatores ( $SaO_2$  e Hb) determinantes do transporte de oxigênio. Este raciocínio foi corroborado pelos estudos de Buheitel et al. [23], que, ao analisar crianças no período pós-operatório de cirurgia cardíaca congênita, encontraram melhor correlação entre o índice cardíaco e o quociente  $CaO_2 / C(a-v)O_2$ , quando comparado à  $SvO_{2AP}$ .

Valentine et al. [24] estudando pacientes vítimas de

infarto agudo do miocárdio, demonstraram que a média da  $C(a-v)O_2$  foi maior, 7,2 ml/100 ml, no grupo de pacientes que apresentaram sinais radiológicos de edema pulmonar, quando comparada com os 6,6 ml/100 ml do grupo que não possuía estas alterações radiológicas. Dos 19 pacientes estudados por estes autores, cinco foram a óbito, sendo que destes, apenas um não apresentou  $C(a-v)O_2$  maior que 7,5 ml/100 ml.

Tahvanainen et al. [25] descreveram boa relação entre a diferença artério-venosa de oxigênio, considerando o sangue do átrio direito e da artéria pulmonar, com  $r = 0,89$  com  $p < 0,001$ , assim como Furqan et al. [26], porém em um grupo de pacientes infantis em pós-operatório de cirurgia para correção de cardiopatia congênita.

A diferença artério-venosa do conteúdo de oxigênio ( $C(a-v)O_2$ ) apresentou o melhor perfil diagnóstico entre os parâmetros estudados, apresentando correlação de  $-0,84$  com o índice cardíaco, especificidade de 100%, sensibilidade de  $94,1\% \pm 7,9$  e acurácia de  $98,7\% \pm 1,9$ . O seu valor preditivo positivo foi de 100% e o valor preditivo negativo de  $95,9\% \pm 4,0\%$ , não apresentando qualquer resultado falso positivo e apenas 1,33% de falso negativo, constituindo-se desta maneira no mais eficiente parâmetro gasométrico correlacionado ao baixo débito cardíaco.

## CONCLUSÕES

A análise gasométrica do sangue do átrio direito pode ser útil na avaliação do estado hemodinâmico dos pacientes no pós-operatório de cirurgia cardíaca. A  $SvO_2$  menor que 55% e a  $C(a-v)O_2$  maior que 7,0 ml/100ml refletem estado de baixo débito cardíaco e, em virtude da boa sensibilidade, especificidade e acurácia, o seu uso pode ser amplamente aplicado sem determinar riscos adicionais aos pacientes. Este método é simples de ser aplicado na rotina do pós-operatório de cirurgia cardíaca, podendo juntamente com o exame clínico do paciente nortear com segurança condutas terapêuticas como desmame de drogas inotrópicas e reposição volêmica, principalmente naqueles pacientes com instabilidade hemodinâmica.

## REFERÊNCIAS

1. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. N Eng J Med. 1970;283(9):447-51.

2. Forrester JS, Ganz W, Diamond G, McHugh T, Chonette DW, Swan HJ. Thermodilution cardiac output determination with a single flow-directed catheter. *Am Heart J.* 1972;83(3):306-11.
3. Gore JM, Goldberg RJ, Spodick DH, Alpert JS, Dalen JE. A community-wide assessment of the use of pulmonary artery catheters in patients with acute myocardial infarction. *Chest.* 1987;92(4):721-7.
4. Ivanov RI, Allen J, Sandham JD, Calvin JE. Pulmonary artery catheterization: a narrative and systematic critique of randomized controlled trials and recommendations for the future. *New Horiz.* 1997;5(3):268-76.
5. Harvey S, Young D, Brampton W, Cooper AB, Doig G, Sibbald W, et al. Pulmonary artery catheters for adult patients in intensive care. *Cochrane Database Syst Rev.* 2006;3:CD003408.
6. Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW, Binanay C, O'Connor CM, Sopko G, et al. Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA.* 2005;294(13):1664-70.
7. Krauss XH, Verdouw PD, Hughenholtz PG, Nauta J. On-line monitoring of mixed venous oxygen saturation after cardiothoracic surgery. *Thorax.* 1975;30(6):636-43.
8. Perner A, Haase N, Wiis J, White JO, Delaney A. Central venous oxygen saturation for the diagnosis of low cardiac output in septic shock patients. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2010;54(1):98-102.
9. Lee J, Wright F, Barber R, Stanley L. Central venous oxygen saturation in shock: a study in man. *Anesthesiology.* 1972;36(5):472-8.
10. Martin C, Auffray JP, Badetti C, Perrin G, Papazian L, Gouin F. Monitoring of central venous oxygen saturation versus mixed venous oxygen saturation in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 1992;18(2):101-4.
11. Stone HH, MacKrell TN, Brandstater BJ, Haidak GL, Nemir P Jr. The effect of induced hemorrhagic shock on the cerebral circulation and metabolism of man. *Surg Forum.* 1955;5:789-94.
12. Smith LL, Reeves CD, Hinshaw DB. Hemodynamic alterations and regional blood flow in hemorrhagic shock. In: Mills LC, Moyer JH, eds. *Shock and hypotension.* New York:Grune & Stratton;1965. p.373.
13. Scheinman MM, Brown MA, Rapaport E. Critical assessment of use of central venous oxygen saturation as a mirror of mixed venous oxygen in severely ill cardiac patients. *Circulation.* 1969;40(2):165-72.
14. Martin WE, Cheung PW, Johnson CC, Wong KC. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in man. *Anesth Analg.* 1973;52(5):784-93.
15. Waller JL, Kaplan JA, Bauman DI, Craver JM. Clinical evaluation of a new fiberoptic catheter oximeter during cardiac surgery. *Anesth Analg.* 1982;61(8):676-9.
16. Jamieson WR, Turnbull KW, Larrieu AJ, Dodds WA, Allison JC, Tyers GF. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in cardiac surgery. *Can J Surg.* 1982; 25(5):538-43.
17. Schmidt CR, Frank LP, Forsythe SB, Estafanous FG. Continuous S-vO<sub>2</sub> measurement and oxygen transport patterns in cardiac surgery patients. *Crit Care Med.* 1984;12(6):523-7.
18. Richard C, Thuillez C, Pezzano M, Bottineau G, Giudicelli JF, Auzepey P. Relationship between mixed venous oxygen saturation and cardiac index in patients with chronic congestive heart failure. *Chest.* 1989;95(6):1289-94.
19. Shenaq SA, Casar G, Chelly JE, Ott H, Crawford ES. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation during aortic surgery. *Chest.* 1987;92(5):796-9.
20. Jain A, Shroff SG, Janicki JS, Reddy HK, Weber KT. Relation between mixed venous oxygen saturation and cardiac index. Nonlinearity and normalization for oxygen uptake and hemoglobin. *Chest.* 1991;99(6):1403-9.
21. Sommers MS, Stevenson JS, Hamlin RL, Ivey TD, Russell AC. Mixed venous oxygen saturation and oxygen partial pressure as predictors of cardiac index after coronary artery bypass grafting. *Heart Lung.* 1993;22(2):112-20.