

Juan Carlos Pendino^{1,2}, Leonardo Hess³, Sergio Beltrame⁴, Gonzalo Aldamiz-Echevarría Castillo⁴, John Trujillo⁴

Gradiente de saturação de oxigênio e concentração de lactato entre átrio direito e artéria pulmonar no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea

Oxygen saturation and lactate concentration gradient from the right atrium to the pulmonary artery in the immediate postoperative following cardiac surgery with extracorporeal circulation

RESUMO

Objetivo: Caracterizar as modificações na concentração sanguínea do lactato e da saturação de oxigênio em pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea.

Métodos: Foram coletadas amostras de sangue de 35 pacientes, de forma rápida e aleatória, do acesso arterial e das portas proximal e distal de um cateter pulmonar.

Resultados: Não foram verificadas diferenças estatisticamente significantes entre saturação de oxigênio no átrio direito ($72\% \pm 0,11\%$) e na artéria pulmonar ($71\% \pm 0,08\%$). A concentração sanguínea de lactato no átrio direito foi de $1,7\text{mmol/L} \pm 0,5\text{mmol/L}$, enquanto

na artéria pulmonar esta concentração foi de $1,6\text{mmol/L} \pm 0,5\text{mmol/L}$ ($p < 0,0005$).

Conclusão: A diferença entre as concentrações sanguíneas de lactato no átrio direito e na artéria pulmonar pode ser consequência da baixa concentração de lactato no sangue do seio coronário, já que o lactato é um importante substrato para o miocárdio durante este período. A ausência de diferenças entre saturação sanguínea de oxigênio no átrio direito e na artéria pulmonar sugere extração de oxigênio mais baixa pelo miocárdio, em razão do menor consumo de oxigênio.

Descritores: Oxigênio/metabolismo; Consumo de oxigênio/fisiologia; Lactato; Período pós-operatório; Cirurgia torácica; Circulação extracorpórea

1. Unidad de Terapia Intensiva, Hospital Provincial del Centenario - Rosario, Argentina.
2. Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario - Rosario, Argentina.
3. CIMA-Profisio, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario - Rosario, Argentina.
4. Servicio de Cirugía Cardíaca, Hospital IDCSalud - Albacete, España.

Conflitos de interesse: Nenhum.

Submetido em 23 de maio de 2016

Aceito em 27 de março de 2017

Autor correspondente:

Juan Carlos Pendino
Unidad de Terapia Intensiva
Hospital Provincial del Centenario
Rosario 2000, Argentina.
E-mail: juancarlos.pendino@gmail.com

Editor responsável: Gilberto Friedman

DOI: 10.5935/0103-507X.20170042

INTRODUÇÃO

Diversas publicações sugerem que pacientes críticos exibem diferenças significativas entre seus valores de saturação de oxigênio (SaO_2) medidos de amostras de sangue coletadas do átrio direito ou da artéria pulmonar. A amplitude das diferenças varia entre 5 - 7%.⁽¹⁻³⁾ Sugeriu-se que tal discordância seja explicada quando se assume que, nestes pacientes, o sangue presente no átrio direito se encontra parcialmente 'dessaturado', em razão do conteúdo muito baixo de oxigênio oriundo do seio coronário.⁽¹⁾ Ao mesmo tempo, a concentração sanguínea de lactato [Lac] do sangue venoso coronário é muito baixa, em razão da elevada taxa de consumo pelo miocárdio em situações normais e mesmo em situações patológicas - ou seja, sepse.⁽⁴⁾ O oposto ocorre em condições como isquemia miocárdica, na qual o consumo de glicose é maior do que o de lactato. Em condições de isquemia, a concentração de lactato no seio coronário pode ser mais alta, embora o substrato metabólico seja altamente dependente do grau de isquemia.⁽⁵⁾

Em um grupo de pacientes críticos, verificou-se que $[Lac]$ e SaO_2 são mais baixas no sangue da artéria pulmonar que no sangue do átrio direito.⁽⁶⁾ As amostras foram obtidas por meio da porta proximal (isto é, átrio direito) e porta distal (isto é, artéria pulmonar) de um cateter instalado na artéria pulmonar (CAP).⁽⁷⁾ Coerentemente, esta comparação entre a saturação de oxigênio no átrio direito ($S_{ad}O_2$) e a porcentagem de saturação de oxigênio na artéria pulmonar ($S_{ap}O_2$), juntamente da comparação entre a concentração sanguínea de lactato no átrio direito $[Lac]_{ad}$ e a concentração sanguínea de lactato na artéria pulmonar $[Lac]_{ap}$, tem sido utilizada como fator prognóstico em pacientes críticos.⁽⁶⁾

A condição metabólica do coração pode ser fortemente modificada em condições como período pós-operatório de cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea, mostrando modificações no consumo de oxigênio (VO_2) e metabolismo do lactato. Tais modificações já foram salientadas por mensurações do lactato, SaO_2 e outros substratos no sangue oriundo do seio coronário.⁽⁸⁾

O presente estudo foi delineado para avaliar estes parâmetros sanguíneos, porém coletados simultaneamente por meio de duas portas do cateter na artéria pulmonar, o que deu acesso ao sangue da artéria pulmonar e do átrio direito.

O objetivo deste estudo foi caracterizar as modificações na $[Lac]$ e da SaO_2 em pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea.

MÉTODOS

Este estudo prospectivo foi realizado na unidade de terapia intensiva (UTI) do *Hospital Idcsalud Albacete* (Albacete, Espanha). Após a devida aprovação pelo Comitê de Ética do hospital (aprovação número 11/10), inscreveram-se 35 pacientes. Os critérios de inclusão foram admissão à UTI imediatamente após cirurgia cardíaca com utilização de circulação extracorpórea, idade acima de 18 anos, com CAP e cateter arterial periférico inseridos na sala de cirurgia. Os critérios de exclusão foram disfunção valvar não corrigida e comunicação intracardíaca. Foi dispensada a necessidade de se obter a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Em todos os casos, utilizou-se cardioplegia provocada por hipotermia leve ($32^\circ C$); a decisão de utilizar cardioplegia anterógrada ou retrógrada dependeu do tipo de cirurgia realizada.

Identificou-se o correto posicionamento do CAP durante a admissão à UTI, por meio da verificação de que o traçado da pressão de oclusão fosse obtido com insuflação do balão, entre 0,5 e 0,8mL. Após isto, o balão era desin-

flado, verificando-se a normalização do traçado da pressão arterial pulmonar. O traçado da pressão do átrio direito também deveria ter sido obtido quando a porta proximal do cateter na artéria pulmonar fosse conectada ao transdutor. Por último, um exame radiográfico confirmou que a ponta do cateter se encontrava no hilo pulmonar, a uma distância não superior a 2cm da silhueta cardíaca.

Imediatamente após verificar o traçado pressórico, as amostras de sangue foram coletadas em rápida sucessão, em ordem aleatória, a partir do cateter arterial e das portas proximal e distal do CAP. Nestas condições, assumiu-se que a coleta de sangue a partir da porta proximal seria representativa do sangue do átrio direito, enquanto aquela obtida da porta distal seria representativa do sangue da artéria pulmonar. Para evitar contaminação do sangue com solução de lavagem contínua, os primeiros 2mL foram descartados do CAP, assim como os primeiros 5mL da linha arterial.

Foram coletadas amostras de sangue para gasometria com seringas específicas para esta finalidade (Pulsettm Westmed, Tucson, AZ, Estados Unidos). As amostras de sangue para avaliação da $[Lac]$ foram extraídas utilizando tubos *ad-hoc* contendo fluoreto de sódio e oxalato de potássio. As amostras de sangue foram imediatamente processadas. A saturação de oxigênio foi medida por um analisador Nova Biomedical Phox Plus® (Waltham, MA, Estados Unidos). A determinação do lactato foi realizada com um instrumento laboratorial padrão (Dade Behring Dimension® RxL analyzer, Deerfield, IL, Estados Unidos). Os exames laboratoriais rotineiros para controle pós-operatório imediato incluíram: hematócrito, contagem de leucócitos, testes de coagulação, glicemia, ureia plasmática, creatinina plasmática, sódio sérico, potássio sérico, cloreto sérico, magnésio sérico, fósforo sérico, creatinoquinase plasmática (CK), isoenzima MB da CK (CK-MB) plasmática e troponina plasmática.

O débito cardíaco foi medido pelo método de termodiluição como a média de cinco determinações sequenciais. A pressão do átrio direito, a pressão da artéria pulmonar e a pressão de oclusão da artéria pulmonar (POAP) também foram medidas com uso de métodos padrão. Transporte de oxigênio (DO_2), VO_2 , taxa de extração de oxigênio (O_2ER), duplo produto e índice de trabalho sistólico ventricular esquerdo (ITSVE) foram calculados com fórmulas convencionais. Finalmente, a temperatura central foi obtida de um termistor de CAP, imediatamente após a conexão ao sistema de monitoramento. A fração de ejeção ventricular esquerda pré-operatória foi avaliada em 32 dos 35 pacientes, por ecocardiografia bidimensional ou cateterismo cardíaco.

Comparações estatísticas

Utilizou-se o teste *t* pareado de Student para comparar as mensurações atriais com as da artéria pulmonar. Realizou-se análise de correlação de Spearman para comparar $[Lac]_{ad}$ e $[Lac]_{ap}$. Utilizou-se o método de Bland & Altman para investigar o efeito da $[Lac]$ nas diferenças entre os pares de observações. A relação entre $\Delta[Lac]$ e ΔSaO_2 e outros parâmetros hemodinâmicos (débito cardíaco, duplo produto, ITSVE, DO_2 , VO_2 e O_2ER) foi analisada com o emprego do teste de correlação de Spearman. Os dados são apresentados como média \pm desvio padrão (DP). O nível de significância estatística foi estabelecido como $p < 0,05$.

RESULTADOS

A população do estudo foi constituída por 35 pacientes, sendo 19 homens, com idade de $67,7 \pm 10$ anos. A fração de ejeção ventricular esquerda pré-operatória foi de $52,81\% \pm 13,1\%$. Dez dos 35 pacientes foram submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica; 8 pacientes receberam próteses valvares em posição mitral, 10 receberam próteses valvares em posição aórtica, 4 foram submetidos à substituição concomitante de prótese valvar em posição mitral e em posição aórtica, dois pacientes foram submetidos simultaneamente à cirurgia de revascularização miocárdica mais prótese valvar em posição aórtica, e os demais pacientes receberam uma prótese de Bentall. O tempo decorrido entre a liberação da aorta e a coleta de amostra de sangue e avaliações hemodinâmicas na UTI foi de $59,4$ minutos $\pm 11,2$ minutos. Parâmetros hemodinâmicos, tempo de *bypass* cardiopulmonar, temperatura central e dados demográficos são apresentados na tabela 1.

Não houve diferenças estatisticamente significantes entre $S_{ad}O_2$ e $S_{ap}O_2$. A $[Lac]_{ad}$ foi mais alta que a $[Lac]_{ap}$ ($p < 0,0005$) com gradiente de $0,1\text{mmol/L} \pm 0,2\text{mmol/L}$ (Tabela 2). Não houve correlação significativa entre $\Delta[Lac]$ em nenhum dos parâmetros a seguir: débito cardíaco, duplo produto, ITSVE, DO_2 , VO_2 e O_2ER . O teste de Bland & Altman para SaO_2 e $[Lac]$ mostrou viés de $0,00061$ (intervalo de confiança de 95% - IC95%: $0,185169 - 0,186391$) e $0,1$ para $[Lac]_{ad}$ (IC95% $-0,25092 - 0,50092$), respectivamente (Figuras 1 e 2). A análise da relação entre a fração de ejeção pré-operatória e idade, tempo de circulação extracorpórea, tempo de permanência na UTI, DO_2 , VO_2 e IEO_2 , permaneceram não significantes.

DISCUSSÃO

Nossa primeira hipótese de trabalho foi de que não haveria um gradiente de SaO_2 entre o sangue do átrio direito

Tabela 1 - Parâmetros demográficos e hemodinâmicos

Parâmetros do paciente (N = 35)	Média \pm DP
Sexo (masculino/feminino)	19/25
Idade (anos)	67,8 \pm 1,70
APACHE II	13,3 \pm 1,35
Fração de ejeção (%)	52,81 \pm 13,10
Frequência cardíaca (batimentos/minuto)	82,2 \pm 2,84
PAM (mmHg)	73,3 \pm 2,67
PMAP (mmHg)	24,4 \pm 1,32
POAP (mmHg)	15,1 \pm 0,91
PAD (mmHg)	10,9 \pm 0,71
Débito cardíaco (L/minuto)	4,73 \pm 0,26
Índice cardíaco (L/minuto/m ²)	2,74 \pm 0,14
DO_2 (mL/minuto)	693 \pm 42,1
VO_2 (mL/minuto)	211 \pm 12,5
O_2ER (%)	31,7 \pm 1,36
ITSVE (g/m ² /batimento)	37,0 \pm 3,32
Duplo produto (pressão arterial sistólica \times frequência cardíaca)	9.989 \pm 380
IRVS (dinhas/segundos/cm ⁵)	2245 \pm 125
Concentração de hemoglobina (gramas%)	10,5 \pm 0,24
Temperatura central (graus Celsius)	35,3 \pm 0,13
TCEC (minutos)	84,6 \pm 5,19
TCAo (minutos)	57,2 \pm 4,87

DP - desvio padrão; APACHE II - *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*; PAM - pressão arterial média; PMAP - pressão média na artéria pulmonar; POAP - pressão de oclusão da artéria pulmonar; PAD - pressão do átrio direito; DO_2 - oferta de oxigênio; VO_2 - consumo de oxigênio; O_2ER - taxa de extração de oxigênio; ITSVE - índice de trabalho sistólico de ventrículo esquerdo; IRVS - índice de resistência vascular sistêmica; TCEC - tempo de circulação extracorpórea; TCAo - tempo de clampeamento aórtico.

e o da artéria pulmonar, por se esperar que ocorresse uma baixa extração de oxigênio pelo miocárdio no período pós-operatório imediato. Alternativamente, deveria existir um gradiente de lactato entre o sangue do átrio direito e o da artéria pulmonar, uma vez que o miocárdio, nestas condições, seria capaz de utilizar mais lactato como substrato preferencial.

Dois achados principais se encontram em linha com nossa hipótese inicial. O primeiro é a presença de um gradiente na concentração de lactato nas amostras pareadas obtidas das portas proximal e distal. O segundo lida com a ausência de diferenças entre a $S_{ad}O_2$ e a $S_{ap}O_2$.

A queda na $[Lac]$ entre o sangue coletado do átrio direito e o da artéria pulmonar pode ser devida ao suprimento de sangue com baixas concentrações de ácido láctico a partir do seio coronário. Ácidos graxos livres e lactato são os substratos primários utilizados pelo coração em condições normais. Durante o clampeamento aórtico e a despeito da proteção ao miocárdio com parada cardíaca eletromecânica e hipotermia, o coração pode sofrer isquemia. Durante

Tabela 2 - Saturação de oxigênio e concentração de lactato de amostras de sangue pareadas do átrio direito e da artéria pulmonar

	Sangue do átrio direito	Sangue da artéria pulmonar	Gradiente (Δ átrio direito - artéria pulmonar)
SaO ₂ (%)	71,15 \pm 1,88	71,09 \pm 1,43	0,103 \pm 1,59
[Lac] mmol/L	1,772 \pm 0,1148	1,647 \pm 0,1114*	0,125 \pm 0,032

SaO₂ - saturação de oxigênio; [Lac] - concentração sanguínea de lactato. * p < 0,001 quando se compara sangue atrial com sangue venoso misto pelo teste t pareado. Médias \pm desvio padrão.

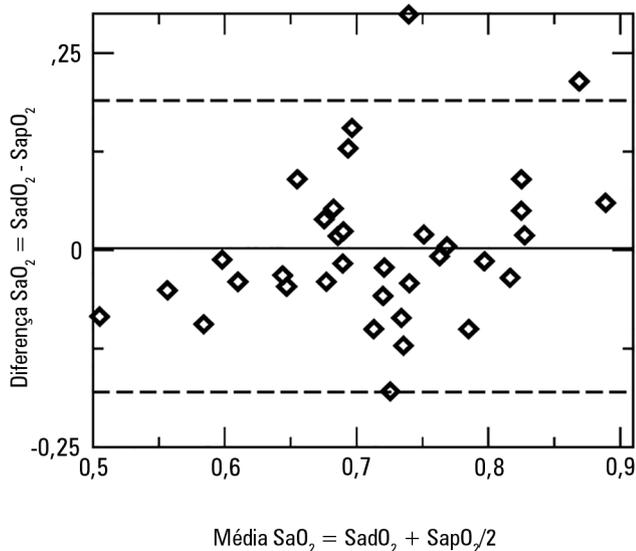


Figura 1 - Gráfico de Bland & Altman comparando saturação de oxigênio no átrio direito e saturação de oxigênio na artéria pulmonar. SaO₂ - saturação de oxigênio; SadO₂ - saturação de oxigênio no átrio direito; SapO₂ - saturação na artéria pulmonar.

a primeira hora após a colocação do clampe aórtico na cirurgia de revascularização miocárdica, o miocárdio oxida mais glicose e menos ácidos graxos livres do que no período pré-operatório e 6 horas após a cirurgia de revascularização miocárdica. Quando se remove o clampe aórtico, o miocárdio pode extrair mais substratos de alta energia, presumivelmente refletindo seu acúmulo durante a circulação extracorpórea.⁽⁸⁾ Este período imediato após a remoção da circulação extracorpórea é acompanhado por resposta hiperêmica evidenciada pelo aumento progressivo do fluxo sanguíneo coronário e, além disto, pela diminuição da taxa de extração de oxigênio, em razão da limitada capacidade de utilizar oxigênio.^(8,9) Também a extração de lactato aumenta progressivamente, a partir da liberação do clameamento aórtico.⁽⁸⁾

Parece sensato esperar um decréscimo da atividade oxidativa miocárdica, mediante a proteção exercida pela cardioplegia hipotérmica. Esta situação permite o acúmulo de lactato no contexto da privação miocárdica de oxigênio. Como o lactato pode ser facilmente metabolizado em piruvato, o primeiro pode ser, então, o substrato preferido para o metabolismo aeróbico na recuperação após parada

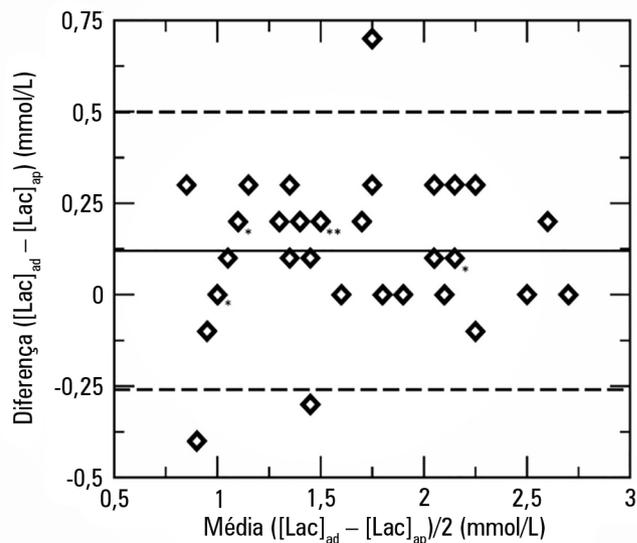


Figura 2 - Gráfico de Bland & Altman comparando concentração de lactato no átrio direito e concentração de lactato na artéria pulmonar. [Lac]_{ad} - concentração de lactato no átrio direito; [Lac]_{ap} - concentração de lactato na artéria pulmonar. * Superposição de pacientes com valores similares correspondentes às mensurações de ácido láctico.

cardíaca, quando a cirurgia é concluída. Entretanto, não somos capazes de explicar como o miocárdio pode utilizar lactato sem um correspondente incremento da utilização de oxigênio. Sobrosa et al.⁽¹⁰⁾ identificaram gradientes positivos entre o lactato no sangue arterial e o sangue obtido do seio coronário, concomitantemente com uma mínima diferença entre a do sangue arterial e o sangue do seio coronário por ocasião da reperfusão em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica com *bypass* cardiopulmonar.

Estas alterações podem ser parcialmente explicadas pela depressão transitória da capacidade miocárdica de extração, descrita logo após a reperfusão.⁽¹¹⁾

As variáveis analisadas pelo nosso grupo são macrocirculatórias e avaliam a condição metabólica geral dos tecidos, como o miocárdio, porém não se sabe o que ocorre no nível celular.

A presença de transporte de lactato do citoplasma para a mitocôndria no coração permite a que a glicólise progrida para o lactato, sem as consequências adversas de acidose ou alteração da redox.⁽¹²⁾ Em corações isolados de ratos com lesões provocadas por isquemia-reperfusão, isoformas

4 de transportadores de monocarboxilato (MCT) aumentaram de forma significativa após isquemia global, assim como a expressão de isoformas 1 de transportadores de monocarboxilato durante os estágios iniciais de reperfusão. O aumento da expressão de MCT4 pode facilitar a extrusão de lactato durante o período isquêmico, enquanto o aumento de MCT1 pode favorecer o transporte de lactato para dentro e para fora das células simultaneamente durante o início da reperfusão.⁽¹³⁾

Rao et al. observaram⁽¹⁴⁾ que a persistência na liberação de lactato pelo seio coronário durante a reperfusão sugere recuperação tardia do metabolismo aeróbico miocárdico, provavelmente relacionada à proteção inadequada durante o *bypass* cardiopulmonar, assim como a uma função contrátil cardíaca comprometida e à síndrome de baixo débito cardíaco.

É preciso cautela ao se comparar com o estudo de Gutierrez et al.,⁽⁷⁾ no qual as amostras de sangue foram obtidas em momentos diferentes, sempre que se decidia ser necessário utilizar CAP para guiar o tratamento com fluidos. Nosso estudo parece ser mais homogêneo em termos do processo de base e do momento em que se realizaram os exames hemodinâmicos e laboratoriais.

O sangue do átrio direito é uma mescla de sangue oriundo da veia cava superior e da veia cava inferior. É possível que o sangue da veia cava superior e da inferior não se tenha misturado plenamente ao nível da porta proximal do CAP, e, caso sim, a mistura de sangue pode ter ocorrido distalmente à porta proximal do CAP. A resposta a esta questão só pode ser obtida por mensuração direta da [Lac] da veia cava inferior e da artéria pulmonar.

Apenas quatro pacientes de nossa série tiveram [Lac]_{ap} maior que a [Lac]_{ad}. Isto pode ser devido a erros técnicos ou posicionamento do cateter, ou ao fato de estes pacientes experimentarem isquemia miocárdica. Com relação a isto, a [Lac] no seio coronário é alta, pois esta condição se associa com a liberação de lactato pelo seio coronário, o que serve para explicar as diferenças. Nestes quatro pacientes, submetidos à cirurgia de substituição valvar, não houve evidências de isquemia miocárdica, à luz dos métodos usuais para detecção de isquemia junto ao leito. É notável que três deles necessitaram de utilizar marca-passo temporário em razão de distúrbios da condução no período pós-operatório imediato. Um desses quatro pacientes necessitou norepinefrina ao final da cirurgia para manter pressão arterial média adequada, sendo também o único que necessitou de fármacos vasoativos dentre toda a população.

É importante enfatizar que o dispositivo empregado para as mensurações do lactato tem precisão de \pm

0,09mmol/L. Assim, mesmo que se considere um possível viés instrumental, a diferença na [Lac] entre o átrio direito e a artéria pulmonar teria permanecido estatisticamente significativa.

Não encontramos diferenças na SaO₂ do átrio direito e da artéria pulmonar, embora o teste de Bland & Altman indique que ambas as variáveis não são intercambiáveis. Os amplos limites de concordância de 95% entre a SaO₂ no sangue venoso central e na artéria pulmonar podem ser atribuídos a comportamentos individuais distintos.

Subsequentemente à liberação do clampe aórtico, pode haver uma diminuição na extração de oxigênio pelo miocárdio, provavelmente em razão de disfunção mitocondrial.

A demanda cardíaca de oxigênio é intimamente relacionada ao trabalho miocárdico.⁽⁴⁾ O duplo produto (medida indireta da VO₂ pelo miocárdico) e o ITSVE se encontraram dentro da faixa da normalidade em nossa série de pacientes.

Mais ainda, a demanda metabólica corpórea total está diminuída em pacientes no pós-operatório imediato de pacientes submetidos a *bypass* cardiopulmonar hipotérmico,⁽¹⁵⁾ refletida em redução da VO₂ sistêmica e produção de dióxido de carbono. Estes achados são relacionados à sedação profunda, ventilação mecânica e hipotermia leve. Assim, a ausência de diferença entre S_{ad}O₂ e S_{ap}O₂ pode ser relacionada a um menor consumo miocárdico de oxigênio nestes pacientes.

CONCLUSÃO

Foi encontrada diferença na concentração sanguínea de lactose entre o átrio direito e a artéria pulmonar. Isto pode ser devido a um baixo suprimento de lactato sanguíneo a partir do seio coronário, o que, por sua vez, sugere que o miocárdio pode usar preferentemente o lactato como substrato nesta situação. A falta de diferença entre a saturação sanguínea de oxigênio entre o sangue do átrio direito e o da artéria pulmonar pode ser explicada por uma menor extração de oxigênio pelo miocárdio.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Arnaldo Dubin, do Departamento de Farmacologia Aplicada da Universidade de La Plata/Sanatorio Otamendi Miroli, Buenos Aires; aos Dr. Dante R. Chialvo e Dr. Oscar Bottasso, do Conicet/UNR, Rosario, por seus comentários em uma versão prévia do manuscrito, e ao Dr. Ricardo José Di Masso, da Escola de Medicina, *Universidad Nacional de Rosario*, por sua ajuda nas análises estatísticas.

ABSTRACT

Objective: This prospective study aimed to characterize the changes in blood lactate concentration and blood oxygen saturation in patients during the immediate postoperative period of cardiac surgery with extracorporeal circulation.

Methods: Blood samples were collected from 35 patients in a rapid and random order from the arterial line and from the proximal and distal port of a pulmonary artery catheter.

Results: The results showed no statistically significant differences between the blood oxygen saturation in the right atrium ($72\% \pm 0.11\%$) and the blood oxygen saturation in the pulmonary artery ($71\% \pm 0.08\%$). The blood lactate concentration in the right atrium was $1.7\text{mmol/L} \pm 0.5\text{mmol/L}$, and the blood lactate concentration in the pulmonary artery was $1.6\text{mmol/L} \pm 0.5\text{mmol/L}$ ($p < 0.0005$).

Conclusion: The difference between the blood lactate concentration in the right atrium and the blood lactate concentration in the pulmonary artery might be a consequence of the low blood lactate concentration in the blood from the coronary sinus, as it constitutes an important substrate for the myocardium during this period. The lack of differences between the blood oxygen saturation in the right atrium and the percentage of blood oxygen saturation in the pulmonary artery suggests a lower oxygen extraction by the myocardium given a lower oxygen consumption.

Keywords: Oxygen/metabolism; Oxygen consumption/physiology; Lactate; Postoperative period; Thoracic surgery; Extracorporeal circulation

REFERÊNCIAS

- Chawla LS, Zia H, Gutierrez G, Katz NM, Seneff MG, Shah M. Lack of equivalence between central and mixed venous oxygen saturation. *Chest*. 2004;126(6):1891-6.
- Edwards JD, Mayall RM. Importance of the sampling site for measurement of mixed venous oxygen saturation in shock. *Crit Care Med*. 1998;26(8):1356-60.
- Reinhardt K, Kuhn HJ, Hartog C, Bredle DL. Continuous central venous and pulmonary artery oxygen saturation monitoring in the critically ill. *Intensive Care Med*. 2004;30(8):1572-8.
- Dhainaut JF, Huyghebaert MF, Monsallier JF, Lefevre G, Dall'Ava-Santucci J, Brunet F, et al. Coronary hemodynamics and myocardial metabolism of lactate, free fatty acids, glucose, and ketones in patients with septic shock. *Circulation*. 1987;75(3):533-41.
- Stanley WC, Lopaschuk GD, Hall JL, McCormack JG. Regulation of myocardial carbohydrate metabolism under normal and ischaemic conditions. Potential for pharmacological interventions. *Cardiovasc Res*. 1997;33(2):243-57.
- Gutierrez G, Chawla LS, Seneff MG, Katz NM, Zia H. Lactate concentration gradient from right atrium to pulmonary artery. *Crit Care*. 2005;9(4):R425-9.
- Gutierrez G, Comignani P, Huespe L, Hurtado FJ, Dubin A, Jha V, et al. Central venous to mixed venous blood oxygen and lactate gradients are associated with outcome in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2008;34(9):1662-8.
- Pietersen HG, Langenberg CJ, Geskes G, Kester A, de Lange S, Van der Vusse GJ, et al. Myocardial substrate uptake and oxidation during and after routine cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1999;118(1):71-80.
- Hskanson E, Svedjeholm R, Vanhanen I. Physiologic aspects in postoperative cardiac patients. *Ann Thorac Surg*. 1995;59(2 Suppl):S12-4.
- Sobrosa CG, Jansson E, Kaijser L, Bomfim V. Myocardial metabolism after hypothermic retrograde continuous blood cardioplegia with antegrade warm cardioplegic induction. *Braz J Cardiovasc Surg*. 2005;20(4):416-22.
- Vanky FB, Hakanson E, Szabó Z, Jorfeldt L, Svedjeholm R. Myocardial metabolism before and after valve replacement for aortic stenosis. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 2006;47(3):305-13.
- Brooks GA, Brown MA, Butz CE, Sicurello JP, Dubouchaud H. Cardiac and skeletal muscle mitochondria have a monocarboxylate transporter MCT1. *J Appl Physiol*. 1999;87(5):1713-8.
- Zhu Y, Wu J, Yuan SY. MCT1 and MCT4 expression during myocardial ischemic-reperfusion injury in the isolated rat heart. *Cell Physiol Biochem*. 2013;32(3):663-74.
- Rao V, Ivanov J, Weisel RD, Cohen G, Borger MA, Mickle DA. Lactate release during reperfusion predicts low cardiac output syndrome after coronary bypass surgery. *Ann Thorac Surg*. 2001;71(6):1925-30.
- Sladen RN. Temperature and ventilation after hypothermic cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg*. 1985;64(8):816-20.