

## Estudo do Transporte, Consumo e Extração de Oxigênio no Pós-Operatório de Cirurgia Cardíaca

Mônica Maria Sialyus<sup>1</sup>, Júlio César Dias Pereira<sup>2</sup>, José Otávio Costa Auler Júnior, TSA<sup>3</sup>

Syalys M, Pereira JCD, Auler Júnior JOC - Oxygen delivery, consumption and extraction in the postoperative period of cardiac surgery

Monitoring of oxygen delivery ( $DO_2$ ), consumption ( $VO_2$ ) and extraction ( $EO_2$ ) has great importance in the management of patients with hemodynamic instability. The purpose of this study was to evaluate the time course of such parameters and to establish physiological correlations in the postoperative period of cardiac surgery. Twenty patients were studied, twelve male and eight female, with mean age of  $51 \pm 5$  years. Monitoring consisted of a Swan - Ganz catheter, ECG and direct arterial blood pressure. Four blood samples were taken at six hour intervals to calculate  $DO_2$ ,  $VO_2$  and  $EO_2$ , simultaneously to the determination of cardiac index (CI). Hemoglobin (Hb) and arterial oxygen saturation ( $SaO_2$ ) were also measured. Results were:  $DO_2$  and Hb mean values were lower than-normal values in all measurements; CI and  $EO_2$  mean values were higher than normal; the first  $VO_2$  measurement was within normal range and the three subsequent values were higher than normal.  $SaO_2$  was the only parameter to show statistical difference, the first measurement being normal and the subsequent values being lower than normal. In conclusion,  $DO_2$  decreases in the immediate postoperative period of cardiac surgery and  $VO_2$  is maintained due to an increase in  $EO_2$ .

KEY WORD: MONITORING: delivery, consumption and extraction of  $O_2$ ; SURGERY, Cardiac: postoperative

**R**elativamente recente e a aplicabilidade clínica dos conceitos de transporte ( $TO_2$ ), consumo ( $VO_2$ ) e extração de oxigênio ( $EO_2$ ) no tratamento de pacientes graves. O  $TO_2$  pode ser definido como o produto do fluxo sanguíneo pelo conteúdo arterial de oxigênio. Portanto depende das variáveis: débito cardíaco, teor de hemoglo-

bina e saturação arterial de oxigênio. O consumo de oxigênio reflete o metabolismo celular representando em análise simplificada a demanda de  $O_2$  necessária para não ocorrer glicólise anaeróbica e produção de ácido láctico. Existe complexa interdependência entre o  $TO_2$  e  $VO_2$  onde estão envolvidos o débito cardíaco, reatividade da microcirculação e grau de avides mitocondrial pelo  $O_2$ , característica peculiar dos diferentes grupamentos celulares que constituem os tecidos e órgãos. Dentro de determinadas faixas de variação o  $VO_2$  é atendido pelo  $TO_2$  principalmente às custas de aumento e diminuição do débito cardíaco e ajuste do fluxo tecidual pela microcirculação. O limite de compensação depende da função cardíaca desde que a hemoglobina e a oxigenação permaneçam estáveis. Na incapacidade do  $TO_2$  suprir o  $VO_2$ , são desencadeados mecanismos no intuito de se preservar a viabilidade celular. O mais importante destes mecanismos e a reserva de extra-

\* Trabalho realizado no Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

1 Pós-graduando da Disciplina de Anestesiologia da FMUSP

2 Médico Assistente IncoR-HCFMUSP. Pós-graduando da Disciplina de Anestesiologia da FMUSP

3 Prof Associado da Disciplina de Anestesiologia do Departamento de Cirurgia da Universidade de São Paulo. Diretor do Serviço de Anestesia do INCOR-HCFMUSP

Correspondência para José Otávio Costa Auler Júnior  
Av Dr Enéas de Carvalho Aguiar 44  
2. andar - Divisão de Cirurgia INCOR - SP  
05403-000

Apresentado em 09 de março de 1993  
Aceito para publicação em 22 de abril de 1993

© 1993, Sociedade Brasileira de Anestesiologia

ção de oxigênio, que permite às células limitada mas eficiente capacidade de manobra frente a variações extremas do  $TO_2$ . Na prática esta reserva pode ser aferida medindo-se a reserva de extração ( $EO_2$ ). Esta complexa interdependência de mecanismos que asseguram a viabilidade celular através da oferta de oxigênio tem sido pouco investigada no pós operatório imediato de cirurgia cardíaca. Sabe-se que e relativamente freqüente a ocorrência de desequilíbrios na oxigenação periférica, e quando desapercibidos podem determinar evolução clínica desfavorável. O objetivo deste trabalho foi avaliar, as condições de oxigenação celular bem como os mecanismos fisiológicos relacionados à manutenção em pacientes no pós operatório de cirurgia cardíaca.

### CASUÍSTICA E METODOLOGIA

Este protocolo foi aprovado pela Comissão de Ética da Instituição.

Foram estudados 20 pacientes no pós operatório imediato de cirurgia cardíaca, com idade entre 19 e 71 anos (média de  $52 \pm 14$ ) sendo 12 pacientes do sexo masculino e 8 do sexo feminino. A revascularização do miocárdio (RM) foi a principal cirurgia em 10 pacientes, troca ou plastia valvar (TV) em 4, aneurismectomia do ventrículo esquerdo (AVE) em 2, RM associado a TV em 2, ressecção de feixe anômalo (RFA) e aneurismectomia de aorta (AAo) tipo I em 1 paciente cada. A técnica de anestesia foi padronizada consistindo de midazolam, fentanil e brometo de pancurônio e isoflurano em doses padronizadas de acordo com a observação clínica da anestesia.

Todos os pacientes foram previamente monitorizados com cateter de Swan-Ganz (Pentacath 7) e pressão arterial invasiva no Centro Cirúrgico. Logo após a admissão na UTI (15 minutos) e com intervalos de 6 horas, foram coletadas amostras de sangue da artéria radial e do tronco da artéria pulmonar, para análise gasométrica (analisador de gases sanguíneos radiometer ABL-300), perfazendo total de 4 amostras. Si-

multaneamente a cada coleta, mediu-se o débito cardíaco (DC) através do método da termodiluição, utilizando-se a média de 3 medidas consecutivas. O índice cardíaco (IC) foi obtido dividindo-se o débito cardíaco pela superfície corporal. Em relação ao regime de ventilação os pacientes estavam: 15 minutos, ventilação controlada e fração inspirada de oxigênio ( $FiO_2$ ) de 0,6; 6 horas, ventilação mandatória intermitente e  $FiO_2$  de 0,4; 12 e 18 horas, que correspondem as duas últimas medidas, os pacientes estavam extubados respirando mistura de ar e oxigênio a concentração de 40%. Foram incluídos neste estudo pacientes com estabilidade hemodinâmica (pressão arterial média igual ou superior a 80 mmHg) sem a utilização de drogas vasoativas.

Os cálculos hemodinâmicos de  $TO_2$ ,  $VO_2$  e  $EO_2$  foram realizados de acordo com as seguintes fórmulas:

$$TO_2 = DC \times CaO_2 \times 10$$

$$VO_2 = DC \times (CaO_2 - CVO_2)$$

$$EO_2 = \frac{CaO_2 - CVO_2}{CaO_2}$$

$$CaO_2 = 1,39 \times \text{sat.arterial de } O_2 \times Hb + 0,0031 \times PaO_2$$

$$CvO_2 = 1,39 \times \text{sat.venosa de } O_2 \times Hb + 0,0031 \times PvO_2$$

onde:

$TO_2$  = Transporte de  $O_2$  (normal: 950 a 1150 ml/min)

$VO_2$  = Consumo de  $O_2$  (normal: 150 a 290 ml/min)

$EO_2$  = Extração de  $O_2$  (normal: 0,24 a 0,28)

$CaO_2$  = Conteúdo arterial de  $O_2$  (normal: 18 a 20 ml/dL)

$CVO_2$  = Conteúdo venoso de  $O_2$  (normal: 13 a 16 ml/dL)

Hb = Hemoglobina (normal 12 a 14 g/dL)

Sat = saturação arterial de  $O_2$  (acima de 96%)

IC = índice cardíaco (normal 2,7 a 3,0 L/min/m<sup>2</sup>)

A variação das médias ao longo do tempo foi submetida a análise de perfil para medidas re-

petidas, considerando-se estatisticamente significativa  $p \leq 0,05$ . Observada a significância estatística prosseguiu-se o teste comparando-se as médias dos tempos (na admissão) com as demais.

## RESULTADOS

Analisando-se o  $TO_2$  (figura 1) observou-se que nas quatro medidas realizadas os valores apresentaram-se abaixo da normalidade mas sem diferença estatisticamente significativa ( $p = 0,5772$ ). Este achado foi semelhante para os valores da hemoglobina ( $p = 0,3493$ ), que estão apresentados na figura 2.

Os resultados do IC e  $EO_2$  mostram estar acima da normalidade mas sem diferença estatística entre suas determinações ( $p = 0,5426$  e  $p = 0,1797$  respectivamente) (figuras 3 e 4).

O  $VO_2$  apresentou-se com a primeira média dentro dos valores normais e as outras subsequentes acima da normalidade mas sem diferença estatística entre ( $p = 0,1317$ ) (figura 5).

A saturação de oxigênio foi o único parâmetro que apresentou diferença estatística entre suas médias ( $p = 0,0318$ ), diminuindo ao longo dos tempos estudados. Observa-se que apenas a primeira média estava dentro da normalidade, as três medidas restantes mostravam-se abaixo do limite inferior da faixa de normalidade (figura 6).

## DISCUSSÃO

O oxigênio é transportado no sangue sob duas formas: dissolvido e em combinação com a hemoglobina. A capacidade do sangue em transportar  $O_2$  dissolvido em condições fisiológicas é de 0,3 ml de oxigênio para cada 100 ml de sangue. Se não houvesse a hemoglobina seria necessário um débito cardíaco extremamente elevado, cerca de 100 litros por minuto, para atender-se as necessidades de oxigênio do organismo em repouso<sup>1</sup>. O  $TO_2$  é o produto do débito cardíaco (DC) pelo  $CaO_2$ . Quando há diminuição da hemoglobina ou hipoxemia com-

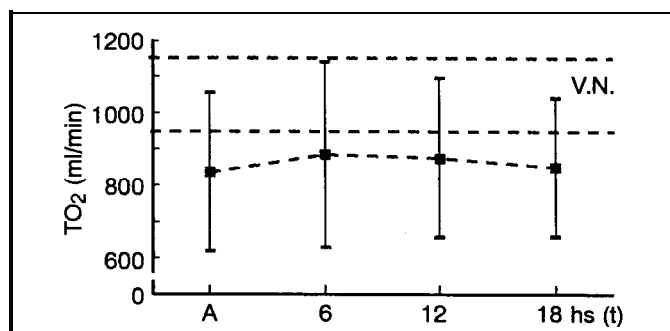


Fig 1- Mostra a relação entre Transporte de Oxigênio e o Tempo.  
A - Admissão; T - Tempo com Intervalos de 6 horas;  
 $TO_2$  - Transporte de Oxigênio; VN - Valor normal

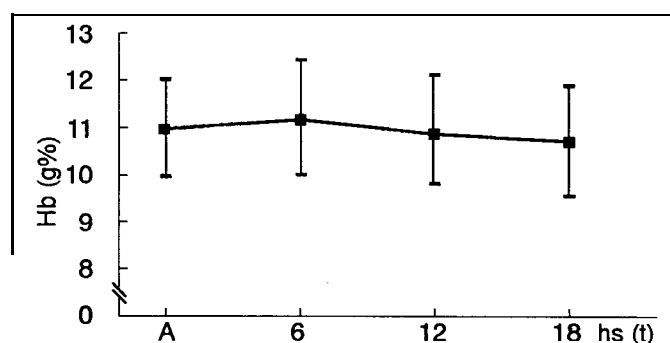
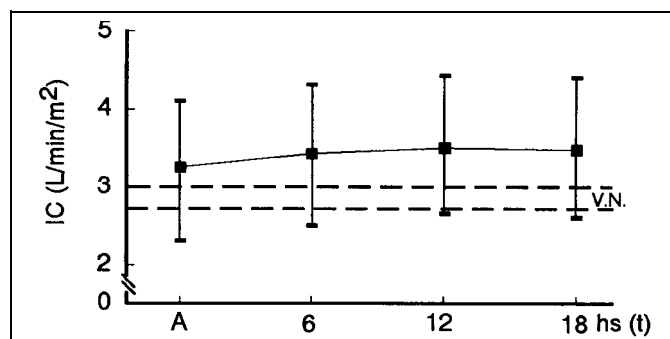


Fig 2- Mostra a relação entre a Hemoglobina e o Tempo.  
A - Admissão; T - Tempo com intervalos de 6 horas;  
Hb - Hemoglobina

prometendo o  $CaO_2$ , a compensação é feita às expensas do débito cardíaco. Em condições fisiológicas o consumo de oxigênio e relativamente constante variando de acordo com o metabolismo. No pós-operatório sua diminuição pode estar relacionada a hipotermia, condição relativamente freqüente nas primeiras horas seguindo-se à cirurgia cardíaca. Normalizando-se a temperatura, a tendência é aumentar-se o consumo de  $O_2$ , o que pode ocorrer em duas



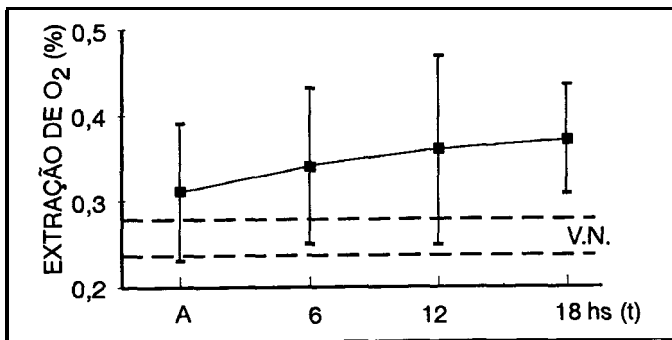


Fig 4 -Mostra a relação entre Extração de Oxigênio e o tempo  
A- Admissão; T- Tempo com intervalos de 6 horas;  
VN- Valor normal

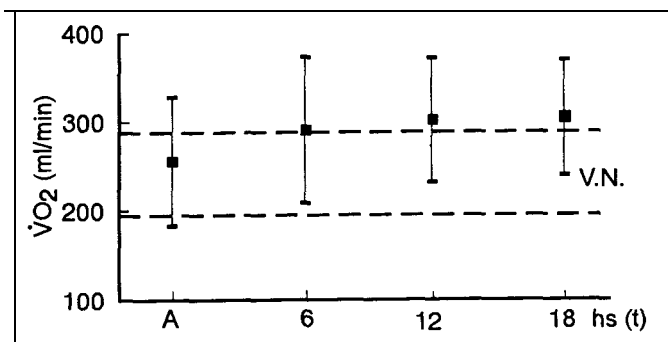


Fig 5 - Mostra a relação entre o Consumo de Oxigênio e o Tempo.  
A - Admissão; T - Tempo com intervalos de 6 horas  
VN - Valor normal

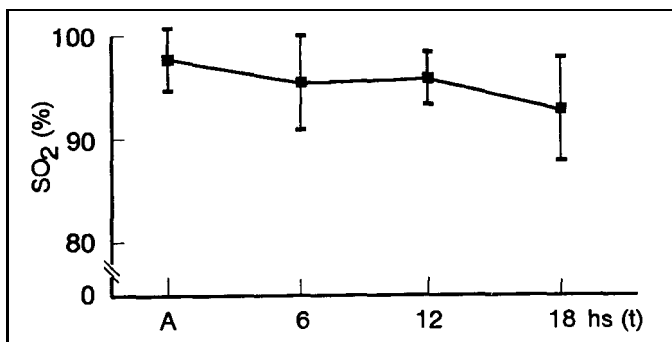


Fig 6 - Mostra a relação entre Saturação de Oxigênio e o Tempo  
A- Admissão; T- Tempo com intervalos de 6 horas

etapas: inicialmente surgem fenômenos próprios do despertar, como tremores musculares, estresse orgânico e psíquico associado a dor e ao desconforto pós-operatório. Posteriormente instala-se o quadro de hipermetabolismo associado ao trauma cirúrgico e à cicatrização da ferida pós-operatória. A maior necessidade de O<sub>2</sub> periférico é suprida por ajustes periódicos do TO<sub>2</sub>, principalmente elevando-se o débito cardíaco<sup>2</sup>. No presente estudo a diminuição do TO<sub>2</sub> foi relacionada à anemia e diminuição da satu-

ração arterial de oxigênio. Embora houvesse aumento compensatório do débito cardíaco, esta elevação não foi suficiente para manter o TO<sub>2</sub> em patamares normais. Considerando-se este aspecto é difícil estabelecer-se valor numérico ideal para o débito cardíaco no intra ou pós-operatório sem acoplar-se dados de TO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub> e EO<sub>2</sub>. No homem o valor crítico de TO<sub>2</sub> abaixo do qual haveria prejuízo na manutenção do TO<sub>2</sub> e instalação de metabolismo anaeróbio esta em torno de 300 ml/min/m<sup>2</sup> (figura 7)<sup>3</sup>. Dependendo da perda em relação ao TO<sub>2</sub> instalam-se outros mecanismos compensatórios na tentativa de manter a oferta de O<sub>2</sub> celular. O mecanismo mais utilizado pelo organismo é a chamada reserva de extração. Aumentando-se a extração de oxigênio com concomitante vasodilatação da rede capilar consegue-se, até certo ponto, manter-se o suprimento de O<sub>2</sub> para manter o VO<sub>2</sub>. Obviamente este mecanismo depende da maior extração de O<sub>2</sub> pela periferia, o qual pode aumentar até três vezes em relação ao normal. No presente estudo a EO<sub>2</sub> elevou-se progressivamente (figura 4) no sentido de suprir as necessidades periféricas de oxigênio. Quando o TO<sub>2</sub> diminui por baixo débito cardíaco, anemia aguda ou insaturação sangüínea, e atinge valor crítico e os mecanismos acima descritos não conseguem compensar, há queda do TO<sub>2</sub> (figura 7). É interessante notar que a interdependência entre o TO<sub>2</sub> e VO<sub>2</sub> pode modificar-se conforme a situação clínica. No baixo débito, como ocorre no pós operatório de cirurgia cardíaca a capacidade de extração de oxigênio é mais eficiente<sup>4,5</sup>. Nos pacientes com sepse ou, síndrome de angústia respiratória do adulto esta interdependência entre TO<sub>2</sub> e TO<sub>2</sub> não é observada. É freqüente observar-se comprometimento do TO<sub>2</sub> mesmo na presença de TO<sub>2</sub> normal ou acima do normal, o que demonstra falha importante nos mecanismos periféricos de utilização do oxigênio<sup>6,7</sup>.

O índice cardíaco (figura 3) apresentou-se com valores acima da normalidade na tentativa de compensar a diminuição da taxa de hemoglobina, procurando manter a relação VO<sub>2</sub>/TO<sub>2</sub> nor-

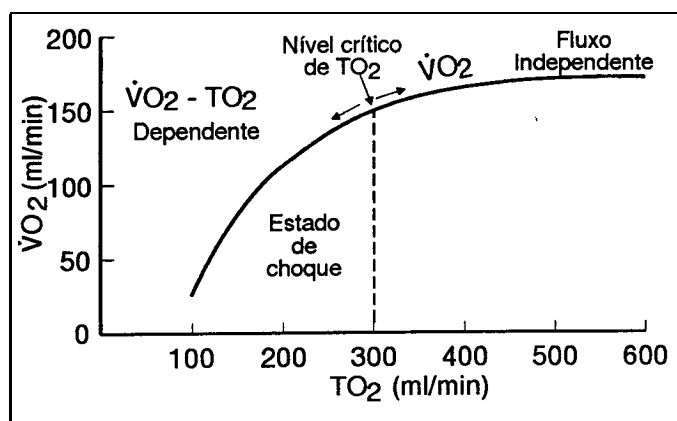


fig 7- Mostra a relação entre Transporte e o Consumo de Oxigênio.  
 $\dot{V}O_2$  - Consumo de Oxigênio;  $TO_2$  - Transporte de Oxigênio  
Adaptado de Paul Marino- Intensive Care Unit -1991 ; 1 4-24.

real. O  $\dot{V}O_2$  apresentou-se com valor dentro da normalidade na primeira medida, elevando-se nas três subseqüentes, refletindo inicialmente a diminuição do metabolismo determinada pela hipotermia e ação residual dos anestésicos e posteriormente a maior demanda de oxigênio imposta pelo pós-operatório. A compensação da queda do  $TO_2$  foi feita às expensas do aumento da extração de  $O_2$  como mostram os valores acima da normalidade deste parâmetro em todas as determinações.

Concluimos que modificações importantes afetando o consumo e transporte de oxigênio ocorrem no pós operatório imediato seguindo-se à cirurgia cardíaca. Embora não tenham sido observados alterações significativas do ponto de vista estatístico, biologicamente achamos que nossos resultados foram muito importantes. Este estudo demonstrou claramente uma diminuição constante do  $TO_2$ , explicado por anemia, discreta hipoxigenação e elevação compensatória do índice cardíaco que não foi suficiente o bastante para atender o  $\dot{V}O_2$ . A comprovação deste fato repousa no aumento compensatório da extração de oxigênio, que deve ter sido suficiente, pois não atingiu valores considerados extremos. Algumas conclusões de ordem prática são interessantes. Um destes aspectos refere-se à oportunidade ótima de reposição de hemoglobina, quando deve-se levar em conta a função cardíaca prévia, idade e a capacidade respiratória no sentido de manter boa oxigena-

ção sangüínea. Pacientes com indícios de baixo débito e hipoxemia necessitam manter a hemoglobina em níveis normais. A função cardíaca também deve ser otimizada as custas de ajustes volêmicos e infusão de drogas vasoativas. A manutenção de oxigenação adequada e fundamental mesmo as custas de ventilação artificial, quando medidas tradicionais não surtem o efeito desejado. Finalmente, monitorização da função cardiovascular, respiratória e dos índices de oxigenação periférica devem estar sempre presentes no pós operatório de cirurgia cardíaca.

Siaulys MM, Pereira JCD, Auler Júnior JOC - Estudo do Transporte, Consumo e Extração de Oxigênio no Pós-Operatório de Cirurgia Cardíaca

A monitorização do transporte ( $TO_2$ ), consumo ( $\dot{V}O_2$ ) e extração de oxigênio ( $EO_2$ ) são fundamentais no manejo de pacientes com algum grau de instabilidade hemodinâmica. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento destes parâmetros e tentar estabelecer correlações fisiológicas pertinentes ao pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. Foram avaliados 20 pacientes, 12 masculinos e 8 femininos, com média de idade de  $52 \pm 14$  anos. Utilizou-se cateter de Swan-Ganz, pressão arterial invasiva e eletrocardiografia como monitorização. Foram feitas 4 coletas de sangue simultaneamente as medidas hemodinâmicas com intervalos de 6 horas, a primeira realizada após a admissão do paciente na unidade de recuperação cardíaca. Calculou-se o  $TO_2$ ,  $\dot{V}O_2$ ,  $EO_2$  e índice cardíaco (IC) a partir da medida do débito cardíaco. Mediu-se o valor da hemoglobina (Hb) e saturação arterial de oxigênio ( $SAO_2$ ). Os resultados principais foram:  $TO_2$  e a Hb apresentaram-se com médias abaixo da normalidade nas quatro medidas, o IC e  $EO_2$  com médias acima do normal, a média de  $\dot{V}O_2$  na primeira medida apresenta-se dentro de limites normais e as três restantes acima do normal, a saturação arterial de  $O_2$  ( $SAO_2$ ) foi o único valor a apresentar diferença estatística entre as suas médias, apresentado a primeira dentro da normalidade e as três restantes

abaixo. Concluimos que o  $TO_2$  está diminuído no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca e a compensação para manter-se oferta adequada de oxigênio para os tecido foi realizada pela maior extração de  $O_2$  ( $EO_2$ ).

**UNITERMOS:** CIRURGIA, Cardíaca: pós-operatório, **MONITORIZAÇÃO:** transporte, consumo e extração de oxigênio.

Siaulys MM, Pereira JCD, Auler Júnior JOC - Estudio del Transporte, Consumo y Extracción del Oxígeno en el Post-Operatorio de Cirugía Cardíaca

La monitorización del transporte ( $TO_2$ ), Consumo ( $VO_2$ ) y la extracción de oxígeno ( $EO_2$ ) son fundamentales en el manejo de pacientes con algún grado de inestabilidad hemodinámica. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de estos parámetros y tratar de establecer correlaciones fisiológicas pertinentes al post-operatório inmediato de cirugía cardíaca. Fueron evaluados 20 pacientes, 12 masculinos y ocho femeninos, con una edad promedio de  $52 \pm 14$  años. Se utilizó catéter de Swan-Ganz, presión arterial invasiva y eletrocardiografía, como monitorización. Se realizaron 4 colectas de sangre simultaneamente a las mediciones hemodinámicas con intervalos de 6 horas: la primera realizada después de la admisión del paciente en la unidad de recuperación cardíaca. Fue calculado el  $TO_2$ ,  $VO_2$ ,  $EO_2$  y el índice cardíaco (IC) desde la medición del débito cardíaco. Se midió el valor de la hemoglobina (Hb) y la saturación arterial de oxígeno ( $SaO_2$ ). Los resultados principales fueron  $TO_2$  y la Hb que se presentaron con promedios abajo de la normal en las cuatro mediciones; el IC y  $EO_2$  con promedios sobre la normal, el promedio de  $VO_2$  en la primera medición se presenta entre el límite normal y las tres mediciones restantes sobre la normal, la saturación arterial de  $O_2$  ( $SaO_2$ ) fue el único valor que presentó diferencia estadística entre sus me-

diciones, estando entre los valores normales la primera medición y abajó de la normal las otras tres mediciones. Se obtuvo como conclusion que el  $TO_2$  está disminuydo en el post-operatório inmediato de la cirugía cardíaca y la compensación para mantener la oferta adecuada de oxígeno para los tejidos se realizó a través de la mayor extracción de  $O_2$  ( $EO_2$ ).

#### Agradecimentos

As Enfermeiras da Recuperação Pós- Operatória pela colaboração nas medidas hemodinámicas, coleta do sangue e registro dos dados;

A estaticista Júlia Tizue Fukushima, da Divisão de Informática Médica do Incor HC-FMUSP, pela análise estatística; e

A Sra Mitsuko Oshiro Mori, do setor de Documentação Científica do Incor HC-FMUSP, pelos desenhos.

#### REFERÊNCIAS

01. West JB - Transporte de gás à periferia. em West JB - Fisiologia Respiratória Moderna. São Paulo, Editora Monole, 1978; 67-82.
02. Vincent JL - The relationship between oxygen demand, oxygen uptake and oxygen supply. intensive Care Med, 1990; 16(Suppl 2): S145-S148
03. Marino PL - Intensive Care Unit, First Edition Philadelphia, Lea & Febiger, 1991; 14-24.
04. Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB - Measurement of tissue perfusion by oxygen transport patterns in experimental shock and in high-risk surgical patients. Intensive Care Med, 1990; 16(suppl 2): S135-S144.
05. Schwartz S, Frantz R, Shoemaker WC- Sequential hemodynamic and oxygen transport responses in hypovolemia, anemia and hypoxia. Am J Physiol, 1981 ; 241: H864.
06. Shoemaker WC - Relation of oxygen transport patterns to the pathophysiology and therapy of shock states. Crit Care Med, 1988; 16:1123-1128.
07. Rackow EC, Astiz ME, Weil MH - Cellular Oxygen metabolism during sepsis and shock: The relationship of oxygen consumption to oxygen delivery. J Am Med Assoc, 1988; 259:1989-1993.