

**METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DO CONSUMO  
DE OXIGÊNIO PELA ANÁLISE DOS GASES  
NO AR EXPIRADO \***

1234

**DR. RENATO G. G. TERZI (\*\*)**  
**DR. REINALDO W. VIEIRA (\*\*)**  
**DR. J. GILBERTO SCANDIUCCI (\*\*\*)**  
**DR. A. B. PRADO FORTUNA (\*\*\*\*)**

*Um método para a determinação do consumo de oxigênio pela análise dos gases expirados foi aplicado em 16 pacientes no período pré-operatório. Os resultados obtidos são comparados com tabelas convencionais que levam em consideração a idade e o sexo do paciente.*

A determinação do consumo de oxigênio é importante na avaliação das necessidades metabólicas em estados mórbidos, nas alterações induzidas por drogas anestésicas, e ainda como parâmetro indispensável no cálculo do débito cardíaco pelo princípio de Fick.

Embora simples, a determinação do consumo de oxigênio pelos métodos clássicos de metabolismo basal não se aplica ao paciente recebendo ventilação controlada por pressão positiva intermitente, uma vez que o equipamento progra-

(\*) Trabalho realizado no Departamento de Anestesiologia do Hospital Irmãos Penteados e no Departamento de Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas da Unicamp.

(\*\*) Professor-Assistente-Doutor do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas da Unicamp.

(\*\*\*) Membro do Departamento de Anestesiologia do Hospital Irmãos Penteados e Santa Casa de Misericórdia de Campinas.

(\*\*\*\*) Coordenador da Disciplina de Cirurgia Cardíaca da Faculdade de Ciências Médicas da Unicamp.

recebido em 6/8/79

aprovado em 9/8/79

AP 1650

mado para o metabolismo basal mede o volume efetivamente consumido de um fole repleto de oxigênio. Este é aplicado às vias aéreas do paciente que respira espontaneamente em um circuito fechado com cal sodada. Este sistema, evidentemente não pode ser empregado em pacientes com ventilação controlada com equipamento de pressão positiva intermitente (PPI).

Portanto, apresentamos um método alternativo e que se aplica a estes pacientes. Baseia-se na medida do gás carbônico e do oxigênio no ar expirado, associada à medida do volume-minuto respiratório. O consumo de oxigênio é calculado indiretamente pela relação entre a produção de gás carbônico e o quociente respiratório. Este método de medir gases no ar inspirado e expirado para a determinação do consumo de oxigênio tem sido amplamente usado em trabalhos desta natureza (1,9,12,17,18,19,22,23,24,25).

Os pulmões têm como principal função propiciar as trocas gasosas entre o meio ambiente e o organismo. E fazem isso captando o oxigênio do ar e eliminando o gás carbônico resultante do metabolismo intracelular. Podemos, portanto, obter um método de medir o consumo de oxigênio pelas células mediante a comparação do ar inspirado com o ar expirado. A condição fundamental para que estas medidas representem com fidelidade as trocas metabólicas ao nível celular é que os gases do meio externo, dos pulmões, do sangue e das células estejam em estado de equilíbrio ("steady-state") (13,18).

Dada as baixas reservas de oxigênio do organismo, este gás atinge facilmente o seu estado de equilíbrio, de tal modo que o método é bastante fiel para a determinação do consumo metabólico de oxigênio. Por outro lado, as reservas de gás carbônico do organismo são grandes. Assim sendo, é necessário um período relativamente longo de ventilação pulmonar para este gás alcançar o seu estado de equilíbrio, e as medidas expressarem com segurança a produção metabólica desse gás. De acordo com Nunn e Mathews (18) são necessários cerca de cinquenta minutos de ventilação uniforme para que o gás carbônico alcance seu estado de equilíbrio.

Chama-se consumo basal do oxigênio o consumo deste gás num indivíduo em repouso, jejum de doze horas e estado de tranqüilidade. Se expresso em calorias, metabolismo basal.

Certas condições, tais como exercício, febre ou emoções, exigem um maior consumo de oxigênio pelos tecidos. O organismo, em condições normais, procura atender o aumento energético exigido, mediante o aumento do débito cardíaco e da ventilação pulmonar.

Em qualquer condição porém, os gases, após determinado período de tempo, alcançam seu estado de equilíbrio.

Parece oportuna esta explanação do particular comportamento dos gases em relação a seu estado de equilíbrio, porque a metodologia aqui apresentada se baseia nas medidas dos gases inspirados e expirados.

A relação entre a produção de gás carbônico e o consumo de oxigênio é chamada de quociente respiratório (R). Esse quociente varia entre 0,7 a 1,0 e a razão desta variação reside nas quantidades relativas de carbo-hidratos, gorduras e proteínas metabolizadas (21). Em condições basais o indivíduo adulto normal produz 200 ml de gás carbônico por minuto e consome 250 ml de oxigênio por minuto:

$$R = \frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2} \quad (I) \quad R = \frac{200}{250} = 0,8$$

Valores fora desse intervalo podem indicar que os gases não se encontram em seu estado de equilíbrio, salvaguardada a hipótese de técnicas mal empregadas (3,18).

Teoricamente, se só hidrato de carbono fosse metabolizado, o quociente respiratório seria igual a 1,0, já que no metabolismo da glicose, seis moléculas de oxigênio são consumidas e seis moléculas de gás carbônico são produzidas.

Analogamente, no metabolismo das gorduras, o quociente respiratório seria aproximadamente 0,71 e, para as proteínas, em torno de 0,83.

Este método, embora bastante conhecido, não é o mais comumente usado por outros, que determinam o consumo de oxigênio por espirometria (5,7) ou pela diferença entre as concentrações de oxigênio nos volumes do ar inspirado e expirado (16,17,23,24).

Justifica-se o uso do presente método por não exigir ele o conhecimento do volume do ar inspirado, uma vez que a diferença entre o volume deste e o do ar expirado é relativamente pequena, sendo necessários para detectá-la aparelhos e técnicas de extrema sensibilidade.

O uso do ar atmosférico foi empregado para evitar erros embora a válvula unidirecional tenha sido adequadamente nas medidas de concentrações de oxigênio no ar expirado, testada.

Embora o consumo de oxigênio pelos tecidos seja idêntico, quer o paciente esteja ventilado com ar atmosférico, quer esteja com ar enriquecido (1,9,15), teve-se a preocupação de ventilar os pacientes com ar atmosférico. Além do mais, sa-



ambiente (TA), à pressão barométrica local, saturado com vapor de água ( $\dot{V}E_{ATPS}$ ).

Normalmente os dados de consumo de oxigênio são apontados na literatura como gás seco condições padrão. Torna-se necessário, portanto, transformar o  $\dot{V}E_{ATPS}$  em  $\dot{V}E_{STPD}$  (volume-minuto expirado seco e em condições padrão de temperatura (0°C ou 273°K) e pressão (760 mmHg)). Esta transformação é feita com a equação abaixo:

$$\dot{V}E_{STPD} = \dot{V}E_{ATPS} \cdot \frac{273 + TA}{273} \cdot \frac{760}{PB - 47} \quad (V)$$

#### b) Cálculo do quociente respiratório (R)

O quociente respiratório é determinado com dados obtidos a partir das concentrações de oxigênio no ar inspirado (no caso do ar atmosférico  $FIO_2 = 0,2093$ ) e da concentração, no gás expirado, do gás carbônico ( $FECO_2$ ) e do oxigênio ( $FEO_2$ ) (20). Estes por sua vez são calculados a partir das pressões parciais de oxigênio e gás carbônico medidos em pequena amostra retirada da bolsa tipo Doulgas por meio do analisador de gases IL 213.

$$\begin{aligned} FIO_2 &= 0,2093 \\ FE_{CO_2} &= PE_{CO_2} / (PG - 47) \\ FE_{O_2} &= PE_{O_2} / (PB - 47) \\ R &= \frac{(1 - FIO_2) FE_{CO_2}}{(1 - FE_{CO_2}) FIO_2 - FE_{O_2}} \quad (VI) \end{aligned}$$

O consumo de oxigênio, como vimos, é calculado substituindo as equações (III) e (IV) na equação (II) (20).

### RESULTADOS

Este método foi empregado em 16 pacientes sem comprometimento cardio-respiratório, em estado basal e respiração espontânea. Os resultados apontados no quadro I são comparados a oconsumo de oxigênio previsto pelas clássicas tabelas de Boothby e col. (2)

### DISCUSSÃO

Nos quadros II e III os resultados obtidos com o método proposto são comparados por teste estatístico com os dados

**QUADRO I**  
**RESULTADOS OBTIDOS NOS 16 PACIENTES ESTUDADOS**

Caso	Sexo	Idade	SC	R	$\dot{V}CO_2$	$\dot{V}CO_2/M2$	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}O_2/M2$	$\dot{V}O_2B/M2$
1	M	20	1,67	0,81	188	133	231	138	141
2	M	23	1,90	0,73	213	112	291	152	141
3	M	26	1,64	0,85	193	117	228	138	139
4	F	40	1,57	0,77	179	114	233	148	123
5	F	36	1,62	0,74	165	102	224	138	123
6	F	30	1,48	0,86	169	114	196	132	123
7	M	35	1,66	0,77	189	114	247	148	133
8	M	35	1,95	0,75	202	104	269	138	133
9	F	24	1,68	0,73	182	108	250	148	123
10	F	36	1,62	0,69	165	101	237	146	123
11	F	52	1,71	0,75	184	107	245	143	117
12	F	42	1,68	0,92	216	129	234	139	123
13	M	24	1,84	0,75	214	116	295	160	139
14	M	22	1,83	0,85	248	136	293	160	141
15	F	42	1,50	0,76	156	104	206	137	123
16	F	36	1,81	0,70	173	95	246	135	123
MÉDIA		33,1	1,7	0,78	190,3	112	345,3	144,5	129,2
D P		8,7	0,1	0,06	23,4	10	28,2	8,2	8,5

SC == superfície corpórea (M2)

R == quociente respiratório

$\dot{V}CO_2$  == produção de gás carbônico (ml/min)

$\dot{V}O_2$  == consumo de oxigênio (ml/min)

$\dot{V}CO_2/M2$  == produção de gás carbônico por metro quadrado de superfície corpórea (ml/min/m2)

$\dot{V}O_2/M2$  == consumo de oxigênio por metro quadrado de superfície corpórea (ml/min/m2)

$\dot{V}O_2B/M2$  == consumo de oxigênio por metro quadrado de superfície corpórea (ml/min/m2), de acordo com as tabelas de Boothby e col (2).

## QUADRO II

TESTE T PARA AMOSTRAS DEPENDENTES CONTRASTANDO O CONSUMO DE OXIGÊNIO POR METRO QUADRADO DE SUPERFÍCIE CORPÓREA (ml/min/m<sup>2</sup>) CALCULADO PELO MÉTODO DOS GASES EXPIRADOS E PELAS TABELAS DA MAYO FOUNDATION (2) EM AMBOS OS SEXOS

Grupo	Método	N	Média	DP	GL	t	t crit	SIG
Masculino	Gases Expirados	7	147,7	9,28	13	2,67	2,14	*
	Tabelas Mayo	7	138,1	3,36				
Feminino	Gases expirados	9	140,7	5,5	13	8,54	2,14	*
	Tabelas Mayo	9	122,3	1,89				

## QUADRO III

TESTE T PARA AMOSTRAS INDEPENDENTES CONTRASTANDO NÍVEIS DE CONSUMO DE OXIGÊNIO POR METRO QUADRADO DE SUPERFÍCIE CORPÓREA (ml/min/m<sup>2</sup>) ENTRE OS PACIENTES DO SEXO MASCULINO E DO SEXO FEMININO TANTO PARA OS VALORES OBTIDOS COM O MÉTODO DOS GASES EXPIRADOS, COMO PARA OS VALORES CALCULADOS PARA OS MESMOS PACIENTES A PARTIR DAS TABELAS DA MAYO FOUNDATION (2)

Método	Grupo	N	Média	DP	GL	t	t crit	SIG
Gases Expirados	Masculino	7	147,7	9,3	14	1,54	2,14	—
	Feminino	7	140,7	5,5				
Tabelas Mayo	Masculino	9	138,1	3,4	14	9,73	2,14	*
	Feminino	9	122,3	1,9				

obtidos por tabelas padrão, publicados nos Estados Unidos em 1936 por Boothby e col (2).

Quando os métodos são comparados em cada grupo dividido por sexo, observa-se uma diferença estatisticamente significativa em cada grupo (Quadro II). Com o método dos gases expirados o consumo de oxigênio foi aproximadamente 7% mais elevado no grupo de pacientes do sexo masculino e cerca de 15% mais elevado no grupo de pacientes do sexo feminino.

Por outro lado (Quadro III), quando dentro do mesmo método os pacientes do grupo feminino são comparados com os pacientes do sexo masculino só se comprova uma diferença significativa quando são empregadas as tabelas de BOOTHBY e col (2).

Não há uma explicação para este aparente maior consumo de oxigênio no grupo de pacientes do sexo feminino. Devemos lembrar, entretanto, que a diferença pode estar vinculada à diferença de metodologia empregada. É bem provável, também, que fatores ambientais e raciais influenciem nos resultados. Não é improvável, ainda, que o estado de ansiedade pré-operatória tenha sido, em parte, responsável por não ter sido atingido um estado perfeitamente basal.

De qualquer maneira, estes resultados se apresentam como um padrão para o nosso laboratório, para estudos comparativos que exijam um grupo controle. Um destes estudos a ser publicado refere-se ao efeito de neuroleptanalgesia sobre o consumo de oxigênio.

#### APÊNDICE

##### SÍMBOLOS EMPREGADOS NESTE TRABALHO

pEO <sub>2</sub>	— pressão parcial do oxigênio no ar expirado.
pECO <sub>2</sub>	— pressão parcial do gás carbônico no ar expirado
FIO <sub>2</sub>	— concentração de oxigênio no ar inspirado.
FEO <sub>2</sub>	— concentração de oxigênio no ar expirado.
FECO <sub>2</sub>	— concentração de gás carbônico no ar expirado.
VE ATPS	— volume minuto expiratório, para a temperatura e pressão barométrica ambiente, saturada com vapor d'água.
VE STPD	— volume minuto expiratório, como gás seco em condições padronizadas de temperatura e pressão; temperatura 0 graus centígrados e pressão barométrica de 760 milímetros de mercúrio.
PB	= pressão barométrica.



$\dot{V}O_2$  STPD = consumo de oxigênio em ml/min ETPD.

$\dot{V}CO_2$  STPD = produção de gás carbônico em ml/min STPD.

$\dot{V}O_2 / m^2$  = consumo de oxigênio em ml/min STPD por metro quadrado de superfície corporal.

$\dot{V}CO_2 / m^2$  = produção de gás carbônico STPD ml/min por metro quadrado de superfície corporal.

## SUMMARY

### A METHOD FOR MEASURING OXIGEN CONSUMPTION WITH EXPIRED GAS

Expired gases analysis was used to measure oxygen consumption in 16 pre-operative patients. The results were compared with conventional tables based on patients' age and sex.

## REFERÊNCIAS

1. Bergmann N A — Components of the alveolar-arterial oxygen tension in anesthetized man. *Anesthesiology*, 28:517, 1967.
2. Boothby, W M, Berkson J, Dunn H L — Studies of the energy of metabolism of normal individuals: a standard for basal metabolism with a normogram for clinical application. *Am J Physiol* 116:468, 1936.
3. Campbell E S M, Nunn J F, Peckett B W — A comparison of artificial ventilation and spontaneous respiration with particular reference to ventilation-blood flow relationships. *Brit J Anaesth* 30:166, 1958.
4. Cole P V — Blood oxygen saturation during anaesthesia with volatile agents vaporized in room air. *Brit J Anaesth* 33:365, 1961.
5. Di Fazio C A, Chen P Y C — A modified ENH spirometer for oxygen consumption. *Anesthesiology*, 29:1226, 1968.
6. Dolan W M, Stevens W C, Eger E I, Cromwell T H, Halsey M J, Shakespeare T F, Miller R D — The cardiovascular and respiratory effects of isofluorane-nitrous oxide anaesthesia. *Canad Anaesth Soc J* 21:557, 1974.
7. Engstrom C G — A method of oxygen consumption in the presence of inert gases during controlled ventilation. *Acta Anaesth Scand* 5:115, 1961.
8. Fishman A P — Respiratory gases in the regulation of the pulmonary circulation. *Physiol Rev* 41:214, 1961.
9. Groves A C, Duff J H, Lapointe R, McLean A P H, McLean L D — Oxygen consumption after therapy for hypoxemia. *J Thorac Cardiovasc Surg* 58:842, 1969.
10. Hoyt J, Boutros A R — A method for measuring oxygen consumption and cardiac output in Intensive Units. *Canad Anaesth Soc J* 22:460, 1975.
11. Ikezono E, Harmel M H, Kiny B D — Pulmonary ventilation and arterial oxygen saturation during ether-air anesthesia. *Anesthesiology* 20:597, 1959.
12. Karetzky M S, Cain S M — Effect of carbon dioxide on oxygen uptake during hyperventilation in normal man. *J Appl Physiol* 28:8, 1970.
13. Leigh J M, Strickland D A P, Conway C M — The interrelationships between  $FIO_2$  and the gas exchange ratio in the oxygen/carbon dioxide diagram. *Brit J Anaesth* 44:662, 1972.
14. Libonati M, Cooperman L H, Price H L — Time-dependent circulatory effects of methoxyfluorane in man. *Anesthesiology*, 34:439, 1971.

15. Marshall B E — Influence of induction agent on pulmonary venous admixture during halothane-oxygen anaesthesia with controlled respiration in man. *Canad Anaesth Soc J*, 21:461, 1974.
16. Nisbet H I A, Dobbins T L, Thomas T A, Pelton D A — Oxygen uptake in ventilated children during methoxyfluorane anaesthesia. *Canad Anaesth Soc J*, 20:334, 1973.
17. Nunn J F, Bergmann N A, Coleman A J — Factors influencing the arterial oxygen tension during anaesthesia with artificial ventilation. *Brit J Anaesth* 37:898, 1965.
18. Nunn J F, Matthews R L — Gaseous exchange during halothane anaesthesia: the steady respiratory state. *Brit J Anaesth* 31:330, 1959.
19. Nunn J F, Pouliot J C — The measurements of gaseous exchange during nitrous oxide anaesthesia. *Brit J Anaesth* 34:752, 1962.
20. Otis A B — Quantitative relationships in steady-state gas exchange. In: Fenn, W. O. e Rahn, H. ed. *Handbook Physiology*. Washington, American Physiological Society, 1964, Sect. 3: Respiration, v.1, p. 683.
21. Richardson H B — The Respiratory Quotient. *Phys Rev* 9:61, 1939.
22. Severinghaus J W, Cullen S C — Depression of myocardium and body oxygen consumption with fluothane. *Anesthesiology*, 19:165, 1958.
23. Theye R A, Tuohy G F — Considerations in the determinations of ventilatory performance during methoxyfluorane anesthesia in man. *Anesth Analg* 43:306, 1964.
24. Theye R A, Tuohy G F — Oxygen uptake during ether anesthesia in man. *Anesth Analg* 43:483, 1964.
25. Theye R A, Tuhy G F — Oxygen uptake during light anesthesia in man. *Anesthesiology*, 25:627, 1964.
26. Wakai J — Human oxygenation by air during anaesthesia: the relation of ventilatory volume and arterial oxygen saturation. *Brit J Anaesth* 35:414, 1963.