

# Monitorización no invasiva del consumo de oxígeno durante la anestesia total endovenosa

Pablo Luis Fernández Daza,\* María Vanessa Rodríguez P,\*  
Miguel A González Velázquez,\* Rafael Álvarez González,\* Isaías Horta Bustillo,\*\*  
Hilario Genovés Gómez,\* César Zambada Zazueta\*

## RESUMEN

El consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) puede medirse de forma no invasiva durante la anestesia mediante un analizador de gases. Diversos estudios experimentales han demostrado que los anestésicos influyen en el consumo de oxígeno de todo el organismo: la cirugía realizada durante la anestesia general produce un incremento del consumo de oxígeno. Los objetivos de este estudio fueron: observar el comportamiento del consumo de oxígeno evaluado en forma no invasiva durante la anestesia total endovenosa y determinar cómo pueden detectarse de manera inmediata los cambios en el consumo de oxígeno, estableciendo la relación que existe entre el consumo de oxígeno y otros parámetros de profundidad anestésica. Fueron incluidos 40 pacientes en estado I-II de acuerdo a la clasificación de la *American Society of Anesthesiology* (ASA I-II), sometidos a anestesia total endovenosa con propofol y fentanil, ambos en régimen de infusión y cisatracurio por vía intravenosa, con una  $FIO_2$  de 68%; se comparó el consumo de oxígeno medido en forma no invasiva, la presión arterial y la frecuencia cardíaca, durante diferentes procedimientos quirúrgicos. Las alteraciones en el intercambio de gases y en las variables hemodinámicas fueron valoradas mediante análisis de varianza (ANOVA) para repetidas mediciones, considerando significativa una  $p < 0.05$ . El intercambio de gases respiratorios fue evaluado por medio del analizador de gases (DATEX-OHMEDA AS/3) durante 60 minutos. En el análisis estadístico se utilizó primero estadística descriptiva (univariada) y posteriormente estos valores fueron sometidos a estadística comparativa (bivariada) con el coeficiente de Pearson de correlación lineal. Se observó una correlación importante en las va-

riaciones del consumo de oxígeno, de la presión arterial y de la frecuencia cardíaca que resultó estadísticamente significativa,  $p = 0.01$  con una  $R^2 = 0.3865$ . La disminución del consumo de oxígeno obtenida coincidió con la notificada en otros estudios. La monitorización no invasiva del intercambio de gases puede proveer un método adicional de vigilancia durante la anestesia y de evaluación del grado de profundidad de la anestesia.

**Palabras clave:** Consumo de oxígeno, intercambio metabólico, monitorización.

## ABSTRACT

Oxygen consumption ( $VO_2$ ) can be measured by a non invasive way (ni) during total anesthesia by means of a gas analyzer. Some experimental studies have demonstrated that anesthetics influence the  $VO_2$  of the whole organism. When surgery takes place under total anesthesia there is an increment in oxygen demand. The objective of this study is to observe how  $VO_2$  (ni) behaves under intravenous total anesthesia, how changes in oxygen consumption can be immediately detected establishing the relation with other parameters of anesthetic depth. Forty patients ASA I-II were included, with total endovenous anesthesia using propofol, fentanyl, both with a regime of infusion and cisatracurio, with a  $FiO_2$  of 68%. Median blood pressure and cardiac frequency (FC) were compared during the various surgical procedures. Respiratory gases interchange was measured with a gas analyzer (DATEX-OHMEDA AS/3), during 60 minutes and in 40 patients submitted to different surgical procedures (laparotomies, rhinoseptoplasties, arthroscopies) under total endovenous anesthesia with propofol, fentanyl and cisatracurio. An important correlation among  $VO_2$ , PAM and FC variations was observed. This resulted to be statistically significant during induction ( $-0.662$  with an  $R^2 = 0.3865$ ) during some times of the transoperative period and during emersion ( $+0.559$ ,  $R^2 = 0.3128$ ). Monitoring non invasive gase interchange can provide an additional method to monitoring during anesthesia and in the evaluation of anesthesia depth level.

\* Departamento de Anestesiología, ABC Medical Center, México, D.F.

\*\* Departamento de Fisiología Pulmonar Inhaloterapia, ABC Medical Center.

Recibido para publicación: 25/03/00. Aceptado para publicación: 20/07/00.

Dirección para correspondencia: Dr. Pablo Luis Fernández Daza  
Hospital ABC. Departamento de Anestesiología.  
Calle Sur 136 esq. Observatorio. Col. Las Américas. 01120 México, D.F.  
Email: fdaza@avantel.net

**Key words:** Oxygen consumption, metabolic interchange, monitoring

## INTRODUCCIÓN

Todas las formas de vida requieren de energía para vivir, por lo que durante su evolución adaptaron muchos procedimientos para emplear la energía potencial a partir de la combustión oxidativa de moléculas complejas. Este metabolismo oxidativo consiste, en última instancia, en la transferencia de electrones hacia moléculas de oxígeno.<sup>1-4</sup>

La respuesta cardiovascular a la laringoscopia, a la intubación, al trauma quirúrgico y a la anestesia ha sido extensamente estudiada<sup>5-7</sup> y se han descrito varias técnicas para lograr atenuar estos cambios.<sup>8-13</sup>

Se sabe que el trauma incrementa el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ )<sup>14,15</sup> y, a su vez, que durante la anestesia se produce un decremento del  $\text{VO}_2$ <sup>16,17</sup>; esto es un reflejo del metabolismo celular ante el trauma quirúrgico y la anestesia. Durante la cirugía realizada bajo anestesia general y relajación muscular, existen signos de actividad autonómica que son fáciles de medir, por ejemplo: el aumento de la presión arterial (PA), de la frecuencia cardíaca (FC), la presencia de sudoración o lagrimeo, los cuales se utilizan frecuentemente como signos de monitoreo durante la anestesia. Sin embargo, la medición repetida del  $\text{VO}_2$  puede utilizarse como una herramienta más.

El uso de monitores estándar de oxígeno en la sala de operaciones permite obtener buenos resultados, ya que, además de no ser invasivos, son fáciles de interpretar y garantizan fundamentalmente la provisión de mezclas aceptables de gases y el establecimiento de la presencia de cierto nivel mínimo de la función pulmonar; sin embargo, aportan poco para satisfacer la finalidad de vigilar la oxigenación y el empleo tisular de oxígeno. Con la obtención de una cifra de  $\text{VO}_2$  adecuada podemos deducir que, durante la anestesia, el metabolismo basal no se encuentra totalmente deprimido, que la perfusión tisular y la función cardíaca no están comprometidas, y que la perfusión pulmonar así como la ventilación cumplen las demandas fisiológicas. Por otro lado, si observamos cambios agudos en la cifra de  $\text{VO}_2$ , éstos indicarían que se están presentando serios incidentes circulatorios o pulmonares.<sup>18</sup> Shoemaker ha demostrado la importancia de la monitorización no invasiva (incluido en ésta el  $\text{VO}_2$ ) en 209 pacientes graves que fueron sometidos a cirugía; observó que en los sujetos que fallecieron se había desarrollado un bajo flujo con pobre perfusión en el transoperatorio hacia el final de la cirugía, pudiendo detectar estas altera-

ciones a través de la monitorización no invasiva. Este estudio sugiere que es durante el transoperatorio cuando se origina el bajo flujo y la disminución en la oxigenación celular, producidos por un inadecuado aporte de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) responsable del desarrollo de choque, falla orgánica múltiple y muerte durante el postoperatorio.

El propósito de este estudio fue observar el comportamiento del  $\text{VO}_2$  en forma no invasiva, de la presión arterial media (PAM), de la frecuencia cardíaca (FC) y sus variaciones durante diferentes tipos de procedimientos quirúrgicos bajo anestesia total endovenosa (ATE).

## MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se diseñó como prospectivo, comparativo y longitudinal. Fue realizado, previa autorización del Comité de Ética, en el Departamento de Anestesiología, en colaboración con el Servicio de Fisiología Pulmonar e Inhaloterapia, del ABC Medical Center de México, D.F., durante el periodo comprendido entre octubre de 1999 y julio del 2000.

Fueron incluidos, en forma aleatoria, 40 pacientes de uno u otro sexo, mayores de 16 años y menores de 65 años, con riesgo quirúrgico en estado I y II de acuerdo a la clasificación de la *American Society of Anesthesiology* (ASA I-II), admitidos para cirugía como laparotomías electivas (colecistectomías, histerectomías, resección intestinal), artroscopias de rodilla y septoplastias. Fueron excluidos de este estudio los sujetos que presentaran una o varias de las siguientes condiciones: enfermedades metabólicas (hipertiroidismo, hipotiroidismo, diabetes mellitus), hipertensión arterial sistémica, afecciones cardiovasculares, anemia, sangrado importante durante el transoperatorio y afecciones respiratorias.

Durante el periodo preoperatorio, a todos los pacientes se les administró midazolam en dosis de 1-2 mg/kg por vía intravenosa una hora antes de la anestesia total endovenosa. Entre cinco y diez minutos antes de la inducción se inició una infusión endovenosa de fentanil a razón de 2 mg/kg para aumentar hasta 5 mg/kg. El sueño se indujo con propofol a 5 mg/kg por vía intravenosa. La relajación muscular se obtuvo con cisatracurio a dosis de intubación de 150-250 mg/kg también por vía intravenosa. Se realizó intubación endotraqueal en todos los casos. El mantenimiento se efectuó con fentanil en infusión de 3-5 mg/kg/hora, propofol 6-10 mg/kg/hora; la relajación muscular se obtuvo con cisatracurio a dosis de mantenimiento a 20 mg/kg. Como

recomiendan Meriläinen y Aukburg, no se utilizó óxido nitroso ni agentes volátiles y una FIO<sub>2</sub> de 68%. La ventilación de forma controlada se ajustó inicialmente a 7-10 mL/kg/hora y, posteriormente, según los parámetros ventilatorios (máquina de anestesia Datex-Ohmeda AS/3). La temperatura corporal se mantuvo con un calentador de aire y se modificó para mantener al paciente cerca de su temperatura basal.

El intercambio de gases metabólicos se obtuvo con el monitor de Datex-Ohmeda compacto CS/3 con la opción de intercambios de gases (m-covx), lo que permite la vigilancia de gases de la vía aérea, espirometría, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, gasto energético (EE por sus siglas en inglés) y el cociente respiratorio (RQ, por sus siglas en inglés), con calibración automática de los analizadores tanto de O<sub>2</sub> como de CO<sub>2</sub>. Los datos de gasto energético y cociente respiratorio no se describen por considerar que no son útiles en el presente trabajo.

Con el fin de obtener el consumo de oxígeno del paciente, el módulo mide la cantidad de oxígeno que es inhalado y sustrae un volumen de la cantidad exhalada. De igual forma, el monitor mide la cantidad de CO<sub>2</sub> y sustrae un volumen del total exhalado de CO<sub>2</sub>. Para conectar el tubo endotraqueal a la máquina estándar de anestesia (Datex-Ohmeda SW modelo 1999), se utilizó un circuito circular de

anestesia con una pieza en "Y" recta y un filtro para disminuir las impurezas.

Siguiendo un modelo propuesto por Viale y colaboradores, nosotros iniciamos nuestras mediciones después de la intubación, cuando el paciente se encuentra en estado estable, teniendo en cuenta los señalamientos propuestos por Aukburg y otros.<sup>19-28</sup> También nos basamos en lo indicado por Meriläinen (comunicación personal) quien señala la fuente de posibles fallas en la medición del VO<sub>2</sub> y cómo pueden solucionarse estos errores. En este sentido se consideró que la altitud de la Ciudad de México no altera las mediciones del VO<sub>2</sub>.

Las mediciones se iniciaron: cinco minutos después de la intubación endotraqueal (evento 1), cinco minutos después de la incisión quirúrgica (evento 2), cada 15 minutos durante todo el procedimiento anestésico (eventos 3, 4, 5 y 6).

La presión arterial, la frecuencia cardíaca, el electrocardiograma y la temperatura esofágica se evaluaron durante todo el procedimiento (Datex-Ohmeda AS/3). Se calcularon los valores promedio de cada intervalo y los cambios porcentuales de los valores basales que se presentan en el *cuadro I*.

Las alteraciones en el intercambio de gases y en las variables hemodinámicas se valoraron mediante el programa ANOVA durante repetidas mediciones; primero se utilizó estadística descriptiva (univariada), posteriormente se aplicó análisis comparativo (bivariado) con el coeficiente de correlación de Pearson (correlación lineal), considerando significativa una  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

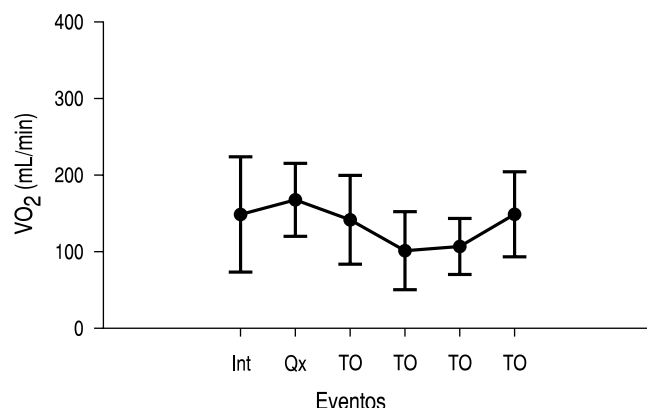
En nuestro estudio, con excepción de la edad, no hubo diferencias significativas entre los diferentes grupos en los datos demográficos o en variables basales (*Cuadro II* y *Figuras 1 a 3*).

**Cuadro I.** Datos demográficos de los pacientes sometidos a diferentes procedimientos quirúrgicos

|             | Laparotomías<br>n = 15 | Artroscopias<br>n = 10 | Rinoseptoplastias<br>n = 15 |
|-------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Edad (años) | 59 + 11                | 31 + 10                | 29 + 15                     |
| Sexo (M/F)  | 8/7                    | 4/6                    | 9/6                         |
| Peso (kg)   | 65 + 20                | 73 + 19                | 75.2 + 49.0                 |

**Cuadro II.** Análisis descriptivo por eventos del consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub> [mL/minuto] medido en forma no invasiva, de la frecuencia cardíaca (FC) [latidos/minuto] y de la presión arterial (PAM) [mm Hg], durante la anestesia total endovenosa.

| Evento             | VO <sub>2</sub> | FC          | PAM         |
|--------------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1. Intubación      | 110.0 + 103.3   | 65.0 + 47.0 | 85.7 + 16.0 |
| 2. Cirugía         | 190.0 + 39.5    | 67.0 + 3.9  | 89.0 + 11.0 |
| 3. Transoperatorio | 120.0 + 157.3   | 62.5 + 7.9  | 88.0 + 13.0 |
| 4. Transoperatorio | 95.0 + 72.9     | 64.0 + 5.8  | 81.0 + 11.5 |
| 5. Transoperatorio | 97.0 + 21.7     | 63.0 + 4.8  | 82.0 + 6.4  |
| 6. Transoperatorio | 110.0 + 40.2    | 66.0 + 4.4  | 80.5 + 9.7  |



Diferencia respecto a eventos:  $p = 0.01$

Diferencia respecto a variables:  $p < 0.001$

**Figura 1.** Consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) durante diferentes eventos de la anestesia total endovenosa.

Abreviaturas: Int = Intubación endotraqueal.

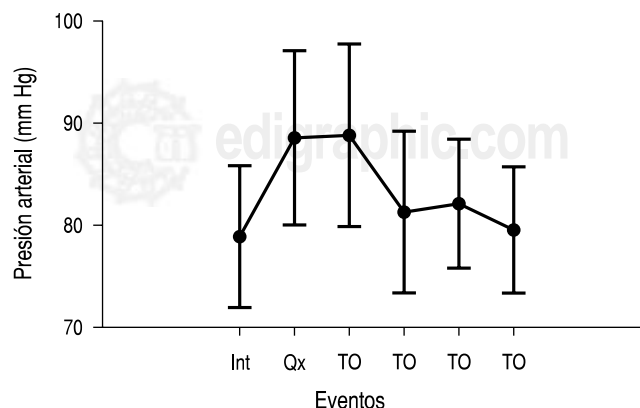
Qx = Incisión quirúrgica. TO = Transoperatorio.

Los resultados del análisis descriptivo por eventos del  $VO_2$  (mL/min),  $VCO_2$  (mL/min), PAM (mm Hg), FC (latidos/min.) se observan en el *cuadro I*. Además, las *figuras 1, 2 y 3* representan las variaciones del  $VO_2$ , de la PAM y de la FC respectivamente, en ellas se observa que cinco minutos después de la intubación (evento 1) el  $VO_2$  disminuye en un 29% acompañándose de una disminución de la PAM (*Figura 2*) y de la FC (*Figura 3*). El estímulo de la incisión quirúrgica (evento 2) produce un leve aumento del  $VO_2$  de un 12%, que se acompaña de un más acentuado aumento de la PAM ( $R^2: 332$ ) y de la FC ( $R^2: 149$ ). En el primer tiempo del transoperatorio se observa (evento 3) una disminución del  $VO_2$  del 15.44% que se acompaña de una disminución de la PAM, en el evento 4 del transoperatorio continúa la tendencia a disminuir del  $VO_2$  en un 28.75%, junto con una disminución de la FC, durante el evento 5 el  $VO_2$  tiende a aumentar levemente en un 5.52%, lo cual no es significativo, con un aumento proporcional de la FC y una disminución de la PAM, se continúa la tendencia, al aumento del consumo del  $VO_2$  en el evento 6 (19%).

## DISCUSIÓN

La incapacidad para proporcionar sangre oxigenada al cerebro y a otras estructuras vitales es la causa más rápida de muerte en un paciente.<sup>29-32</sup>

Los datos publicados por Torres sugieren que la disponibilidad de oxígeno no es un factor importante



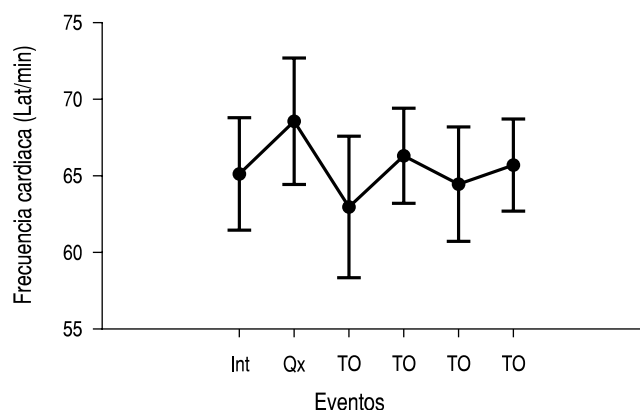
Diferencia respecto a eventos:  $p = 0.01$

Diferencia respecto a variables:  $p < 0.001$

**Figura 2.** Presión arterial durante diferentes eventos de la anestesia total endovenosa.

Abreviaturas: Int = Intubación endotraqueal.

Qx = Incisión quirúrgica. TO = Transoperatorio.



Diferencia respecto a eventos:  $P = 0.01$

Diferencia respecto a variables:  $p < 0.001$

**Figura 3.** Frecuencia cardíaca durante diferentes eventos de la anestesia total endovenosa. Abreviaturas: Int = Intubación endotraqueal.

Qx = Incisión quirúrgica. TO = Transoperatorio.

en la regulación de la síntesis mitocondrial de ATP, siempre que la  $PO_2$  sea superior al nivel crítico para saturar a la citocromo-c-oxidasa;<sup>34,35</sup> pero, como ha demostrado Forman, la disminución progresiva de la  $PO_2$  celular puede conducir a alteraciones del estado redox antes de poder detectar una disminución en la utilización de oxígeno.

Como Torres ha señalado, el suministro de oxígeno a las células está garantizado por las reservas implíci-

tas en: a) una presión arterial de oxígeno muy elevada respecto a la necesaria; b) un contenido de oxígeno superior al que podría transportarse con el oxígeno disuelto; c) los ajustes circulatorios locales que adecuan el flujo sanguíneo al metabolismo; d) la posibilidad de realizar ajustes centrales que aumenten todo el gasto cardiaco y e) la posibilidad de realizar cambios ventilatorios que suministren más oxígeno a la sangre.

Los pacientes sanos pueden tolerar incrementos en el  $\text{VO}_2$ ; sin embargo, estos cambios pueden ser deletéreos en pacientes con compromiso en la entrega de  $\text{O}_2$  a órganos vitales, como son los que se encuentran en estado crítico, los cuales ya presentan hipoxia que se agravaría con incrementos en el  $\text{VO}_2$ , produciéndose un débito importante de oxígeno.<sup>36-41</sup> Shoemaker<sup>42</sup> ha demostrado la importancia de la monitorización no invasiva, incluido el  $\text{VO}_2$ , como hemos señalado.

Desde la década de los 80, Nunn señaló que el papel que desempeña el  $\text{VO}_2$  ha recibido una atención insuficiente, ya que existe una tendencia nada afortunada a considerar que todos los pacientes consumen 250 mL de oxígeno/min en todas las circunstancias. Fue también este autor quien estableció los valores predictivos para el  $\text{VO}_2$  durante la anestesia eran de 200 mL/min.<sup>11,21</sup>

El trabajo de Viale, Annat y Bertrand reporta un sistema para medir de manera continua el  $\text{VO}_2$  con un circuito abierto de anestesia. Ellos llegaron a la conclusión de que el grupo de anestesia balanceada tuvo una pronunciada y sostenida disminución del  $\text{VO}_2$  y mayor estabilidad cardiovascular. Estos autores recomendaron la monitorización no invasiva del intercambio de gases como un buen sistema de vigilancia en la sala de operaciones.<sup>12</sup>

Svenson evaluó el  $\text{VO}_2$  durante anastomosis aorto-coronaria y reportó una disminución del  $\text{VO}_2$  de un 31%; validó los resultados obtenidos por este procedimiento no invasivo (calorimetría), comparándolo con el método del principio de Fick inverso y encontrando una buena correlación entre ambos ( $R = 0.88$ ).<sup>16,17</sup>

Una serie de 200 pacientes, publicada por Noe y Whity, reporta un aumento del  $\text{VO}_2$ , sin correlacionar ésta con las variables hemodinámicas.<sup>18</sup>

Lind<sup>14</sup> ha publicado recientemente dos trabajos. El primero de ellos incluyó 33 pacientes sometidos a procedimientos de ginecología y 22 a laparoscopias. En todos estos casos utilizó anestesia total endovenosa. Empleó una sola dosis de fentanil 2 mg/kg en la inducción y el mantenimiento lo realizó únicamente con propofol. Esto explicaría el aumento rápi-

do del  $\text{VO}_2$  que presentaron sus pacientes, a diferencia de los resultados alcanzados por nosotros y otros estudios en los cuales el  $\text{VO}_2$  disminuye al utilizar una dosis más alta de narcótico con un régimen de infusión.

En el segundo trabajo, en el que también empleó anestesia total endovenosa, con dosis bajas de fentanil de 2 mg/kg, Lind reportó un incremento del  $\text{VO}_2$  (6-7%) después de la incisión quirúrgica acompañado de un aumento en la frecuencia cardiaca (14%), lo que igualmente podría estar relacionado con la profundidad de la anestesia lograda con la dosis administrada de fentanil.<sup>15</sup>

En el presente estudio, el  $\text{VO}_2$  disminuye un 10% inicialmente, lo cual sugiere que el nivel de depresión del metabolismo inducido farmacológicamente es adecuado pues no produjo incremento del  $\text{VO}_2$ .

Con el inicio del transoperatorio, el  $\text{VO}_2$  inicia un descenso que en el primer evento del transoperatorio representa un 15% ( $p = 0.01$ ). Continúa el descenso del  $\text{VO}_2$  de un 54%, durante el TO.

Durante el último evento del transoperatorio se registró un aumento del  $\text{VO}_2$  asociado a un incremento de la presión arterial de igual magnitud, pero se observa una disminución no significativa de la frecuencia cardiaca. Este aumento coincide con lo informado por Zambada, quien estudió en México el  $\text{VO}_2$  durante la emersión y el posoperatorio, comparando dos técnicas de anestesia, obteniendo incrementos muy significativos del  $\text{VO}_2$  en esta etapa.<sup>41</sup>

Como señalan diversos autores, el  $\text{VO}_2$  durante la anestesia parece depender del estímulo quirúrgico y de la profundidad de la anestesia. Los resultados obtenidos en nuestro estudio coinciden con lo publicado en la literatura mundial. Podemos concluir que son necesarios más estudios para sustentar estas observaciones; la monitorización del  $\text{VO}_2$  durante la anestesia constituye un elemento que podría ser valioso junto con los que ya se utilizan para vigilar los signos de actividad autonómica, el aumento de la presión arterial, la frecuencia cardiaca, la presencia del sudoración o lagrimeo y el electroencefalograma biespectral.

#### BIBLIOGRAFÍA

- 1 Dejours P. Oxygen demand and gas exchange. In: Wood SC, Lefant C (eds). *Evolution of respiratory processes lung biology in health and disease*. Vol 13. New York: Marcel Dekker, 1979; 1-44.
- 2 Brenner C, Ahdout J, Finegan R. Transporte de oxígeno hacia los tejidos: Desde el pulmón hacia la mitocondria. En: *Cuidados intensivos. Temas actuales* 1/1991. México: Interamericana McGraw-Hill. Health Care Group, 1991; 19-33.

- 3 Cone JB. Vigilancia del oxígeno tisular. En: *Cuidados intensivos. Temas actuales 1/1991*. México: Interamericana McGraw-Hill. Health Care Group, 1991; 35-41.
- 4 Ducey J.B. Vigilancia del oxígeno durante la anestesia. En: *Cuidados intensivos. Temas actuales 1/1991*. México: Interamericana McGraw-Hill. Health Care Group, 1991; 97-106.
- 5 Kanwal JS. The stress response to surgical trauma: from physiological basis to therapeutic implications. *Progress in Food and Nutrition Science* 1986; 10: 67-132.
- 6 Prys-Roberts C, Greene LT. Studies of anaesthesia in relation to hypertension. II Haemodynamic consequences of induction and endotracheal intubation. *Br J Anaesth* 1971; 43: 531-547.
- 7 Stoelting RK. Attenuation of blood pressure response to laryngoscopy and intubation with sodium nitroprusside. *Anesth Analg* 1979; 58: 116-119.
- 8 Fassoulaki A, Kaniaris P. Intranasal administration of nitroglycerin attenuates the pressure response to laryngoscopy and intubation of the trachea. *Br J Anaesth* 1983; 52: 145-153.
- 9 Fassoulaki A, Kaniaris P. Does atropine premedication affect the cardiovascular response to laryngoscopy and intubation? *Br J Anaesth* 1982; 54: 1065-1069.
- 10 Fassoulaki et al. Metabolic responses ( $\text{VO}_2$ ,  $\text{VCO}_2$  and energy expenditure)- Associated with nasal intubation of the trachea. *Anesth Analg* 1989; 68: 112-115.
- 11 Nunn JF. *Applied respiratory physiology*. 3rd ed. London: Butterworths, 1987: 211-230.
- 12 Viale JP, Annat G, Bertrand O, Thouverez B, Hoen JP, Motin J. Continuous measurement of pulmonary gas exchange during general anaesthesia in man. *Acta Anaesthesiol Scand* 1988; 32: 691-697.
- 13 Schumacker PT, Cain SM. The concept of a critical oxygen delivery. *Intensive Care Medicine* 1987; 13: 223-229.
- 14 Lind L. Metabolic gas exchange during different surgical procedures. *Anaesthesia* 1995; 50: 304-307.
- 15 Lind L. Metabolic gas exchange during gynaecological laparotomy and laparoscopy. *Can J Anaesth* 1994; 41 (1): 19-22.
- 16 Svensson KL, Henriksson BA, Sonander HG, Stenqvist O. Metabolic gas exchange during aortocoronary bypass surgery using a double pump system and mechanical ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1991; 35: 185-189.
- 17 Svensson KL, Sonander HG, Stenqvist O. Validation of a system for measurement of metabolic gas exchange during anaesthesia with controlled ventilation in an oxygen consuming lung model. *Br J Anaesth* 1990; 64: 311-319.
- 18 Noe FE, Whitty AJ, Davies KR, Wickham BL. Noninvasive measurement of pulmonary gas exchange during general anaesthesia. *Anesth Analg* 1980; 59 (4): 263-269.
- 19 Aukburg SJ, Geer RT, Wollman H, Neufeld GR. Errors in measurement of oxygen uptake due to anesthetic gases. *Anesthesiology* 1995; 62: 54-59.
- 20 Smithies MN, Royston B, Makita K, Konieczko K, Nunn JF. Comparison of oxygen consumption measurements: Indirect calorimetry versus the reversed Fick method. *Critical Care Medicine* 1988; 19 (11): 89-99.
- 21 Nunn JF, Makita K, Royston B. Validation of oxygen consumption measurements during artificial ventilation. *American Physiological Society* 1989: 98-123.
- 22 Lum L, Salville A, Shekhar V. Accuracy of physiologic dead space measurement in intubated pediatric patients using a metabolic monitor: Comparison with the Douglas bag method. *Critical Care Medicine* 1988; 26 (4): 57-72.
- 23 Meriläinen PT. Metabolic monitor. *Internat J Clin Monitoring and Computing* 1987; 4: 167-177.
- 24 Weissman C, Sardar A, Kemper M. *In vitro* evaluation of a compact metabolic measurement instrument. *J Parenteral Entereral Nutrition* 1990; 2: 216-221.
- 25 Tissot S, Delafosse B, Bertrand O, Bouffard Y, Viale JP, Annat G. Clinical validation of the Deltatrac monitoring system in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Medicine* 1995; 21: 149-153.
- 26 Sheeren TW, Krossa M, Meriläinen P. Error in measurement of oxygen and carbon dioxide concentrations by the Deltatrac II metabolic monitor in the presence of desflurane. *Br J Anaesth* 1998; April: 142-149.
- 27 Lindahl SGE. Oxygen consumption and carbon dioxide elimination in infants and children during anesthesia and surgery. *Br J Anaesth* 1989; 62: 70-76.
- 28 Braun U et al. Evaluation of methods for indirect calorimetry with a ventilated lung model. *Intensive Care Medicine* 1989; 15: 196-202.
- 29 *ATLS: Manual del curso avanzado de apoyo vital en trauma*. Colegio Americano de Cirujanos, 1994; 55-59.
- 30 Henderson AM, Mosse CA, Forrester PC, Halsall D, Armstrong RF. A system for the continuous measurement of oxygen uptake and carbon dioxide output in artificially ventilated patients. *Br J Anaesth* 1983; 55: 701-706.
- 31 Hedenstierna G. Gas exchange during anaesthesia. *Br J Anaesth* 1990; 64: 507-514.
- 32 Lindahl SGE, Hulse MG, Hatch DJ. Ventilation and gas exchange during anaesthesia and surgery in spontaneously breathing infants and children. *Br J Anaesth* 1984; 56: 121-124.
- 33 Torres GE. Insuficiencia respiratoria. *Respiración normal e insuficiencia respiratoria*. 2da ed. Cap 1. México: Ediciones Científicas La Prensa, 1991; 1-19.
- 34 Torres GE. Insuficiencia respiratoria. *Clasificaciones epidemiológicas de la insuficiencia respiratoria*. 2da ed. Cap 2. México: Ediciones Científicas La Prensa, 1991; 10-35.
- 35 Breen P. *Respiración en anestesia: Fisiopatología y actualización clínica*. *Clin Norteam Anestesiol* 1998; 1: 23-28.
- 36 Benumof. Respiración en anestesia: Fisiopatología y actualización clínica. *Clin Norteam Anestesiol* 1998; 1: 31-32.
- 37 Wycoff CC. Endotracheal intubation: Effects on blood pressure and heart rate. *Anesthesiology* 1960; 21: 153-8.
- 38 Wolf YG, Cotev, Perel. Dependence of oxygen consumption on cardiac output in sepsis. *Critical Care Medicine* 1989; 15 (39): 198-203.
- 39 Snyder JV, Pinsky MR (eds). *Oxygen transport in the critically ill*. Chicago, London: Year Book Medical Publishers, 1998: 211-217.
- 40 Ramanathan Sivam, Chalon Jack, Satyanarayana Tangatur, Arismendy James, Turndorf Herman. Continuous and simultaneous on-line measurements of  $\text{VO}_2$  and  $\text{VCO}_2$  during endotracheal anesthesia. *Anesth Analg* 1982; 61 (4): 362-365.
- 41 Zambada Z, Seguí V, Holler, Horta B, Genovés H. Monitorización metabólica durante el postoperatorio. *Rev Asoc Mex Med Crit Ter Inten* 1998; 12 (4): 136-140.
- 42 Shoemaker W et al. Intraoperative evaluation of tissue perfusion in high-risk patients by invasive and noninvasive hemodynamic monitoring. *Crit Care Med* 1999; 27 (10): 2147-2152.