

## Monitoreo metabólico no invasivo. Comparación de dos técnicas anestésicas

César Luciano Zambada Zazueta,\* Paulina Segui Vizcaíno,\*  
Ulrike Holler,\* Elías Horta Bustillo,† Hilario Genovés Gómez‡

### RESUMEN

**Objetivo.** Evaluar la medición del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), la producción del bióxido de carbono ( $VCO_2$ ) y el gasto energético (GE), utilizando dos diferentes procedimientos.

**Diseño.** Estudio clínico prospectivo, comparativo.

**Sitio.** Un departamento de anestesiología y un departamento de inhaloterapia de un hospital de enseñanza de la Ciudad de México.

**Pacientes.** Veintidós pacientes adultos sometidos a cirugía laparoscópica.

**Intervenciones.** Once pacientes (grupo 1) recibieron sevoflurano más fentanyl 2-5 mg/kg/h anestesia general balanceada; otros once pacientes (grupo 2) fueron tratados con una dosis única de sevoflurano más fentanyl, 2 mg/kg y anestesia general inhalada.

**Mediciones y resultados principales.** El  $VO_2$  se incrementó en ambos grupos,  $199 \pm 59$  mL/min en el grupo 1  $1,268 \pm 56$  mL/min, en el grupo 2  $p < 0.01$ . El  $VCO_2$  fue  $194 \pm 54$  mL/min (grupo 1) y  $257 \pm 71$  mL/min (grupo 2);  $p < 0.003$ . El GE fue  $1421 \pm 317$  kcal/24 h (grupo 1) vs  $1923 \pm 495$  kcal/24 h (grupo 2);  $p < 0.01$ .

**Conclusión.** El uso de fentanyl en infusión, evita probablemente el aumento del  $VCO_2$  durante el período de recuperación de los pacientes adultos sometidos a cirugía laparoscópica.

**Palabras clave.** Consumo de oxígeno, producción de bióxido de carbono, gasto energético, fentanyl, cirugía laparoscópica, pacientes adultos.

### SUMMARY

**Objective.** To evaluate the measurement of oxygen consumption ( $VO_2$ ), carbone dyoxide production ( $VCO_2$ ) and energy expenditure (EE), usign two different procedures.

**Design.** Clinical prospective comparative study.

**Setting.** An anesthesiology deparment and an inhalotherapy department of a teaching hospital of Mexico City.

**Patients.** Twenty two adult patients undergoing to laparoscopic surgery.

**Interventions.** Eleven patients (group 1) received sevoflurano plus fentanyl 2-5 mg/kg/h and balanced general anesthesia; other eleven patients (group 2) were treated with a single dose of sevoflurano and fentanyl, 2 mg/kg and inhalated general anesthesia.

**Measurements and principal results.**  $VO_2$  was increased in both groups,  $199 \pm 59$  mL/min in group 1 and,  $268 \pm 56$  mL/min; in group 2  $p < 0.01$ .  $VCO_2$  was  $194 \pm 54$  mL/min (group 1) and  $257 \pm 71$  mL/min (group 2);  $p < 0.003$ . EE was  $1421 \pm 317$  kcal/24 h (group 1) vs  $1923 \pm 495$  kcal/24 h (group 2);  $p < 0.01$ .

**Conclusion.** The use of fentanyl in continuos infusion probably avoids the increasing of  $VCO_2$  during the recovery period of adult patients undergoing to laparoscopic surgery.

**Key words.** Oxygen consumption, carbone dyoxide production, energy expenditure, fentanyl, laparoscopic surgery, adult patients.

\* Adscrito al Departamento de Anestesiología del Hospital ABC.

† Jefe del Departamento de Inhaloterapia del Hospital ABC.

‡ Jefe del Departamento de Anestesiología del Hospital ABC.

para eliminar cualquier otra fuente de producción de calor; todo esto hace que el procedimiento sea caro y debido a sus requerimientos, poco práctico. La agricultura se ha beneficiado incrementando la producción de carne, huevos y leche a bajos costos con este método. La calorimetría indirecta de forma no invasiva calcula la producción de calor a través del intercambio gaseoso, existiendo medidas específicas de consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) y producción de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ), los resultados de  $VO_2$  y  $VCO_2$  son convertidos en gasto energético (kcal/día) por la ecuación de Weir. Gasto energético =  $[(VO_2)(3.941) + (VCO_2)(1.11)] \cdot 1440$ , donde el  $VO_2$  y  $VCO_2$  son expresados en L/min, y 1440 equivale al número de minutos en 24 horas.<sup>1</sup> Los aparatos de calorimetría indirecta pueden ser clasificados en dos tipos, uno basado en el método de medición del  $VO_2$ , (calorímetro indirecto de circuito abierto) determina el  $VO_2$  midiendo la diferencia entre las concentraciones de gas inspirado y espirado y la ventilación minuto:  $(VE) VO_2 = VI(FIO_2) - VE(FECO_2)$ , donde: VI = Ventilación minuto inspirada,  $FIO_2$  = Fracción inspirada de oxígeno, VE = Ventilación minuto espirada,  $FECO_2$  = Fracción espirada de bióxido de carbono.

Con el circuito cerrado se logra la medición del cambio volumétrico de un reservorio de  $O_2$  en tiempo. Los dos tipos de calorímetros tienen variaciones suficientes para considerarse individuales. El circuito abierto utiliza una cámara mezcladora, dilución o técnica de respiro por respiro y el sistema cerrado utiliza la pérdida volumétrica o técnica de reemplazo.<sup>1</sup> Se propone que la hipotermia es el trastorno más frecuente de la homeostasia de la temperatura durante la anestesia e intervención quirúrgica. La hipotermia transoperatoria es de dos variedades: la primera es intencional, como se utiliza de manera sistemática para proteger los órganos vitales durante procedimientos quirúrgicos en los cuales se anticipa isquemia. La hipotermia también puede ocurrir de modo inadvertido en el transcurso de una operación como resultado de múltiples factores contribuyentes que inhiben los mecanismos homeotérmicos del organismo.<sup>2</sup> La mayoría de los pacientes en quienes se instituye anestesia para la intervención quirúrgica no cardiaca presentan cierto grado de hipotermia leve inadvertida (2-3 °C) por debajo de lo normal o temperaturas centrales entre (33 y 36 °C) debido a que los anestésicos deprimen tanto la producción de calor de origen metabólico como la termorregulación central y a que los pacientes pierden el calor al enfrentarse al ambiente frío del quirófano.<sup>3</sup> Quienes se someten a hipotermia transoperatoria inadvertida

pueden experimentar cambios fisiológicos postoperatorios de suma importancia en el transcurso de la restitución de la temperatura.<sup>2</sup> El escalofrío que presentan los pacientes durante el periodo de recuperación es un mecanismo de producción de calor e incremento de la temperatura corporal, no siendo del todo inocuo.

Se ha propuesto que los pacientes con enfermedad cardiopulmonar pueden no tolerar el incremento de demanda metabólica asociado al escalofrío postoperatorio y pueden tener una evolución adversa. El valor normal del  $VO_2$  corporal total es de (100 a 180 mL/min/m<sup>2</sup>), se puede incrementar en diferentes estados de hipermetabolismo: sepsis, hipertiroidismo, hipertermia, escalofrío, etc., a valores por arriba de 300 a 400% y el gasto cardiaco se puede ver afectado con una elevación de más del 50% en este tipo de pacientes. Las entidades que disminuyen los requerimientos metabólicos son: hipotiroidismo, hipotermia moderada a profunda, efectos de algunos medicamentos, (relajantes musculares, narcóticos), etc. Existen estudios que demuestran que uno de cada doce pacientes que presentan escalofrío tienen aumento del consumo metabólico en un 486%, sin embargo la media es de aproximadamente 130%; la mayoría de los pacientes son jóvenes y se han utilizado anestésicos inhalados; en los ancianos la analgesia con narcóticos se asocia con un incremento menos importante del  $VO_2$ ,<sup>4</sup> existiendo controversia acerca del papel que juegan los diferentes tipos de anestesia en relación a los cambios metabólicos del  $VO_2$  que presentan los pacientes en el periodo de emersión en la sala recuperación.<sup>5</sup>

El objetivo de este trabajo fue evaluar la medición del consumo de oxígeno producción de  $CO_2$  y gasto energético en pacientes adultos sometidos a cirugía laparoscópica, comparando dos diferentes técnicas anestésicas.

## PACIENTES Y MÉTODOS

Estudio prospectivo, comparativo, observacional y longitudinal realizado en el Departamento de Anestesiología en forma conjunta con el Servicio de Inhaloterapia del Hospital ABC en la Ciudad de México: Se llevó a cabo con el consentimiento previo de los pacientes. Se incluyeron al azar 22 pacientes, de uno y otro sexo, con edad menor de 65 años, peso, talla, ASA I y II, sometidos a cirugía laparoscópica abdominal bajo anestesia general, todos con monitoreo de signos vitales, saturación de  $O_2$  y  $CO_2$  al final de la espiración por medio de oxícamnograma.

Los pacientes se dividieron en dos grupos. Grupo 1: anestesia general balanceada (AGB), la inducción se realizó con tiopental 5 mg/kg, fentanyl 2 µg/kg, bromuro de atracurio 0.5 mg/kg y el mantenimiento se hizo con O<sub>2</sub> al 100%, sevofluorano de 1 a 2 Vol% más fentanyl en infusión a una tasa de 2-5 µg/kg/h y relajante muscular según requerimientos (once pacientes). Grupo 2: bajo anestesia general inhalatoria (AGI), la inducción se realizó con tiopental 5 mg/kg, fentanyl 2 µg/kg, bromuro de atracurio 0.5 mg/kg y mantenimiento con O<sub>2</sub> al 100%, sevofluorano 0.5 a 3 Vol% y relajante muscular según requerimientos (once pacientes). A los 20 minutos de la llegada de los pacientes a la sala de recuperación, se retiró el suplemento de O<sub>2</sub> pero con monitoreo de la saturación de O<sub>2</sub>, por oximetría de pulso manteniendo valores > 90%; se colocó la campana de calorímetro indirecto (Daltatrac) durante 15 minutos y se registraron cada minuto las mediciones del VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, y gasto energético. Se registró la temperatura central antes del egreso de la sala de quirófano por medio de termómetro esofágico (Bi-Temp TM-200D) localizado en tercio medio del esófago. Se excluyen los pacientes con edad mayor de 65 años, aquellos que no tolerasen 15 minutos en la campana del calorímetro o que presentasen descenso de la saturación de O<sub>2</sub> sostenida (< 90%) registrada mediante oximetría de pulso, así como los que recibieron medidas para el control de la temperatura durante el transoperatorio o en la sala de recuperación, y aquellos a los que se les administraban dosis adicionales de narcóticos durante el transoperatorio o durante los primeros 20 minutos de su llegada a sala de recuperación.

Se utilizó prueba estadística de t de Student para el análisis de los resultados. Una p < 0.05 fue considerada como significativa.

## RESULTADOS

Nuestro estudio fue realizado durante los meses de abril y mayo de 1997, tiempo durante el cual fueron captados 22 pacientes sometidos a cirugía laparoscópica bajo anestesia general. Los procedimientos quirúrgicos fueron 20 colecistectomías y dos hernioplastias cinco hombres y seis mujeres en el grupo 1; cinco hombres y seis mujeres, hombres sin diferencia estadística cuando se compararon ambos grupos. El promedio de edad de los pacientes fue de 40 ± 12 años para el grupo 1 y de 40 ± 12 años para el grupo 2. No existió diferencia significativa cuando se analizó el peso y la talla (*cuadro I*).

La temperatura central registrada en el tercio medio del esófago al finalizar la cirugía tuvo una media para el grupo de AGB de 35.1 ± 0.49 y para el grupo de AGI de 34.9 ± 0.72 °C, p = 0.6.

El VO<sub>2</sub> fue de 199 ± 59 mL/min en el grupo 1 y 268 ± 56 mL/min en el grupo 2 (p = 0.01), el VCO<sub>2</sub>

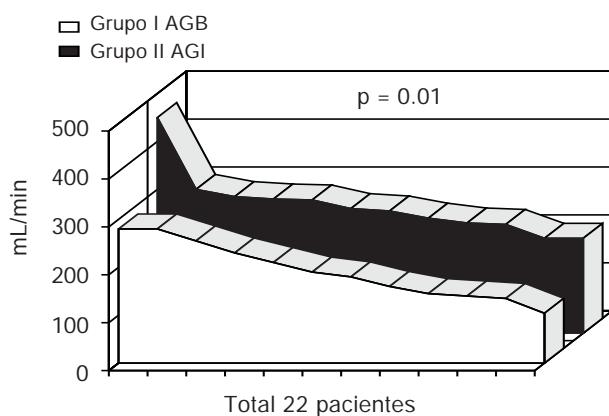
**Cuadro I.**

| Grupo | Peso (kg)              | Talla (cm)            |
|-------|------------------------|-----------------------|
| 1     | 62.8 ± 13 <sup>a</sup> | 164 ± 11 <sup>b</sup> |
| 2     | 72.8 ± 16              | 170 ± 15              |

<sup>a</sup> p = 0.12. <sup>b</sup> p = 0.3

**Cuadro II.**

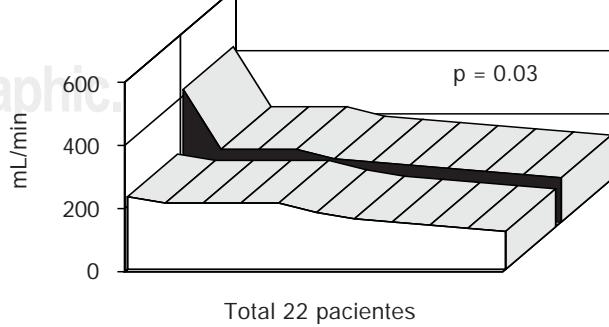
|         | VO <sub>2</sub> mL/min | VCO <sub>2</sub> mL/min | GE kcal/24 horas |
|---------|------------------------|-------------------------|------------------|
| Grupo 1 | 199 ± 59               | 194 ± 54                | 1421 ± 317       |
| Grupo 2 | 268 ± 56               | 257 ± 71                | 1923 ± 495       |
| p=      | 0.01                   | 0.03                    | 0.01             |



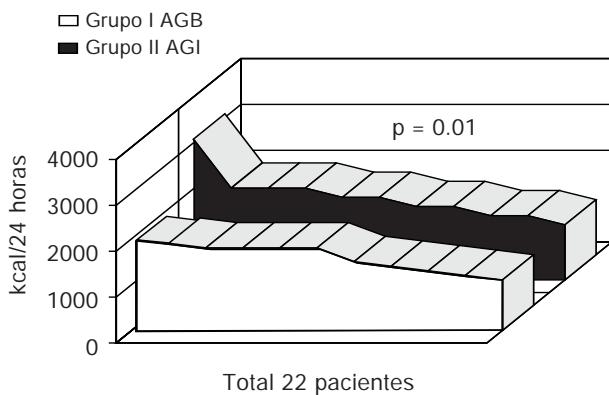
**Figura 1.** Comparación del consumo de oxígeno, entre ambos grupos.

■ Grupo I AGB

■ Grupo II AGI



**Figura 2.** Comparación de la producción de CO<sub>2</sub> entre ambos grupos.



**Figura 3.** Comparación del gasto energético, entre ambos grupos.

$194 \pm 54$  mL/min en el grupo 1 y  $257 \pm 71$  mL/min en el grupo 2 ( $p = 0.03$ ) y el gasto energético fue de  $1421 \pm 317$  kcal/24 horas en el grupo 1 y  $1423 \pm 495$  kcal en el grupo 2 ( $p = 0.01$ ), como se observa en el cuadro II y en las figuras 1 a 3.

Todos los pacientes permanecieron con la campana durante los 15 minutos. Hubo tres pacientes del grupo 2 con saturaciones de  $O_2$  de 90% el resto de la población total estudiada se mantuvo con saturaciones de 93 a 94% (con oximetría de pulso).

## DISCUSIÓN

En esta serie de pacientes sometidos a anestesia general para la realización de cirugía laparoscópica, el incremento del  $VO_2$  corporal total fue de 40% para el grupo de anestesia general inhalatoria y de sólo el 10% para el grupo de anestesia general balanceada con diferencia estadísticamente significativa cuando se compararon ambos grupos. El valor promedio de incremento del  $VO_2$  encontrado en nuestro estudio fue de (30%) siendo muy inferior a los reportados por la literatura en personas jóvenes que presentan escalofrío en el postoperatorio (100-730%), o voluntarios que desarrollan escalofrío después de exponerse al frío (200-300%).<sup>4,5</sup> Cuando lo comparamos con los resultados de los pacientes mayores de 60 años en quienes se emplearon narcóticos transoperatorios, o en el postoperatorio, hubo un incremento del (38%) en aquellos pacientes que presentaron escalofrío; los resultados son muy similares, aunque existen diferentes factores que no son comparables: la edad promedio es de 70 vs 44 años y masa muscular mucho más reducida en los pacientes ancianos,<sup>8</sup> elementos muy im-

portantes en la determinación de los incrementos del  $VO_2$ . Nosotros no valoramos la incidencia de escalofrío durante el periodo de recuperación. Cuando se comparó la edad, talla y superficie corporal de ambos grupos no se encontró diferencia, en nuestra población no fueron factores importantes en la determinación del gasto metabólico como se reporta en la literatura.<sup>8</sup> Bay et al.,<sup>4</sup> midieron el  $VO_2$  postoperatorio en 11 pacientes con escalofrío y ocho sin este problema, cuya edad promedio era 47 años y que recibieron poco o nada de opioides en el intra o postoperatorio, la media del  $VO_2$  corporal total fue de  $531 \pm 76$  mL/min y  $230 \pm 14$  mL/min con y sin escalofrío respectivamente, representando un incremento del 130% del  $VO_2$  en pacientes con escalofrío,<sup>4</sup> esta diferencia tan importante en comparación a nuestros resultados se debe al uso de narcóticos (fentanyl) en cualquiera de las fases de la anestesia general, lo que sugiere que este fármaco utilizado en la inducción como dosis única y durante el transoperatorio, disminuye los requerimientos metabólicos del  $VO_2$ ,  $VCO_2$  y los requerimientos energéticos durante la recuperación, siendo aún más importante cuando se utiliza en infusión. Esto es un indicio que el uso de AGB en todos los pacientes que van a ser sometidos a procedimientos quirúrgicos con función cardiopulmonar normal o límitrofe reciben mayor protección metabólica con el uso de fentanyl en infusión que utilizando una sola dosis al inicio de la inducción. Es importante señalar que la mayoría de los estudios realizados para valorar el incremento de las demandas metabólicas durante el periodo de recuperación, son hechos, para cuantificar el poder de reducción de diferentes drogas (meperidina, fentanyl, morfina, etc.) sobre el  $VO_2$  y  $VCO_2$  administradas durante el periodo de recuperación.<sup>5,6</sup> No valoran por separado el efecto que tienen los diferentes narcóticos utilizados durante la inducción y mantenimiento anestésico sobre las demandas metabólicas y si éstos por sí solos son capaces de mantener el  $VO_2$ ,  $VCO_2$  y GE en rangos que no comprometan la disponibilidad y consumo de  $O_2$  para no someter a un riesgo innecesario a los diferentes tejidos.

La hipotermia leve inadvertida se presentó en el 100% de nuestros pacientes, muy similar a lo reportado por otros estudios donde demuestran la elevada incidencia (94%) de hipotermia leve; se sabe que la cirugía laparoscópica tiene mayor tendencia a la disminución de la temperatura por múltiples factores como grandes volúmenes de gas, el más común bióxido de carbono y el uso de líquidos fríos para el

lavado intraabdominal;<sup>7</sup> no podemos concluir que éste sea un factor importante en la diferencia del VO<sub>2</sub>, CVO<sub>2</sub> y GE entre ambos grupos, ya que los 22 pacientes la desarrollaron; y no se observó diferencia estadística en ambos grupos. Está bien documentado que la hipotermia es común durante el periodo perioperatorio y tiene efectos favorables y desfavorables. La hipotermia moderada al reducir los requerimientos metabólicos y el VO<sub>2</sub> tiene un efecto protector durante los periodos de isquemia tisular y es utilizada de manera común en procedimientos cardiacos y neuroquirúrgicos. Los efectos adversos son numerosos e incluyen estrés cardiaco, arritmias ventriculares, retraso en el metabolismo de las drogas, escalofrío y prolongación de la recuperación, incremento de las resistencias vasculares y desviación a la izquierda de la curva de saturación de O<sub>2</sub> de la hemoglobina resultando en una disminución del aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos.<sup>8-10</sup> Además de estos efectos, los cambios metabólicos asociados al recalentamiento incrementan las demandas del sistema cardiovascular y esto puede ser difícilmente tolerado, como lo reporta el estudio de Steven M. Frank et al.<sup>10</sup> donde se observa mayor número de cambios electrocardiográficos de isquemia miocárdica en el grupo de hipotermia leve vs el grupo de normotermia.

## CONCLUSIONES

- El fentanyl utilizado durante la inducción en dosis única y como soporte durante el mantenimiento de los procedimientos quirúrgicos disminuye los requerimientos metabólicos del VO<sub>2</sub>, CVO<sub>2</sub> y GE.
- La AGB con el uso de fentanyl demostró ser una excelente forma de disminuir los requerimientos de consumo de O<sub>2</sub>, por lo que se podría considerar un método seguro en aquellos pacientes con reserva cardiopulmonar límitrofe, sin necesidad de utilizar otros tipos de drogas durante el periodo de recuperación para disminuir las elevadas demandas metabólicas.

- Todos nuestros pacientes presentaron hipotermia leve por lo que se deben instituir métodos de control térmico transoperatorio, ya que es el principal determinante junto con el uso o no de narcóticos durante la anestesia general, en el incremento de las demandas metabólicas; esto puede ser prevenible.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Branson RD. The measurement of energy expenditure: instrumentation, practical considerations, and clinical application. *Respiratory Care* 1990; 35: 640-650.
2. Levitt RC. Vigilancia de la temperatura corporal. *Clinicas de Anestesiología de Norteamérica* 1994; 3: 423-441.
3. Sessler DY. Monitorización de la temperatura. en: Miller RD. *Anestesia* 2a. ed. Ediciones Doyma. 1993; 2: 1117-1132.
4. Bay J, Nunn JF, Prys-Roberts C. Factors influencing arterial PO<sub>2</sub> during recovery from anaesthesia. *Br J Anaesth* 1968; 17: 398-407.
5. MacIntyre PE, Pavlin EG, Dwersteg JF. Effect of meperidine on oxygen consumption, carbon dioxide production, and respiratory gas exchange in postanesthetic shivering. *Anesth Analg* 1987; 66: 751-755.
6. Pauca AL, Savage RT, Simpson S, Roy RC. Effect of pethidine, fentanyl and morphine on post-operative shivering in man. *Acta Anaesthesiol Scand* 1984; 28(2): 138-43.
7. Steven M, Fleisher LA, Olson KF, Gorman RE, Higgins MS, Breslow MS et al. Multivariate determinants of early postoperative oxygen consumption in elderly patients. *Anesthesiology* 1995; 83: 241-249.
8. Hausmann D, Nadstawek J, Krajewski W. Oxygen uptake in the recovery period. The effect of the anesthetic procedure and the postoperative administration of pethidine. *Anesthesiologist* 1991; 40: 229-234.
9. Moore SS, Green CR, Wang FL, Sujit K, Hurd P, Hurd WW. The role of irrigation in the development of hypothermia during laparoscopic surgery. *Am J Obstet Gynecol* 1997; 176: 598-602.
10. Frank KSM, Beattie C, Christopherson R, Norris EJ, Perler BA, Williams M, Gottlieb SO. Unintentional hypothermia is associated with postoperative myocardial ischemia. *Anesthesiology* 1993; 78: 468-476.

### Correspondencia:

Dr. César Luciano Zambada  
Departamento de Anestesiología  
Hospital ABC, Sur 136, No. 116  
Col. Las Américas, CP 01120  
Tel. 2-30-80-00, Ext. 8201 y 8202