

## Tiempo de respuesta de un sistema de medición de gasto cardíaco continuo por termodilución y saturación venosa mixta en una paciente con asistencia ventricular izquierda total

J. L. PÉREZ VELA, E. RENES Y N. PERALES

Unidad de Postoperatorio de Cirugía Cardíaca. Departamento de Medicina Intensiva.  
Hospital Universitario 12 de Octubre. Madrid.

La monitorización del gasto cardíaco continuo (GCC) por termodilución está disponible en la práctica clínica desde hace unos pocos años. Presentamos el caso de una paciente con disfunción grave del ventrículo izquierdo tras un *bypass* cardiopulmonar que requirió un dispositivo de asistencia ventricular izquierda (AVI); dado que la paciente presentaba la válvula mitral implantada trombosada, el dispositivo fue una asistencia ventricular "total" del ventrículo asistido. Los tiempos de respuesta real *in vivo* de los sistemas de monitorización del GCC y la saturación venosa mixta ( $S\bar{v}O_2$ ) fueron medidos tras aplicar cambios en el flujo de la AVI. Calculamos la correlación entre el GCC y el flujo de la AVI, entre el GCC y la medición de gasto cardíaco en bolo por termodilución tradicional, y entre el GCC y la  $S\bar{v}O_2$ . La monitorización continua de la  $S\bar{v}O_2$  y el GCC en pacientes inestables hemodinámicamente permite la detección precoz y el tratamiento de cualquier cambio significativo en el estado hemodinámico.

**PALABRAS CLAVE:** *gasto cardíaco continuo, termodilución, monitorización, saturación venosa mixta, asistencia ventricular izquierda, disfunción ventricular.*

### RESPONSE TIME OF A CONTINUOUS CARDIAC OUTPUT MEASURING SYSTEM USING THERMODILUTION AND MIXED VENOUS OXYGEN SATURATION IN A PATIENT WITH TOTAL LEFT VENTRICULAR ASSISTANCE

Continuous cardiac output (CCO) monitoring by thermodilution became available for use in clinical practice few years ago. We present a patient with severe left ventricular failure post cardiopulmonary by-pass who required a left ventricular assist device (LVAD); this was a total assistance device because of thrombosis of the implanted mitral valve. In vivo response time of CCO system and mixed venous oxygen saturation ( $S\bar{v}O_2$ ) was measured with changes in flow rate of LVAD. We calculated the correlation between CCO and LVAD flow rate, CCO and usual bolus thermodilution technique of measuring cardiac output and between CCO and  $S\bar{v}O_2$ . Continuous monitoring of  $S\bar{v}O_2$  and CCO in hemodynamically unstable patients allows the early detection and treatment of any significant change in the hemodynamic status.

**KEY WORDS:** *continuous cardiac output, thermodilution, monitoring, mixed venous oxygen saturation, left ventricular assist device, ventricular failure.*

(*Med Intensiva* 2001; 25: 164-168)

Correspondencia: Dr. J.L. Pérez Vela.  
Atardecer, 3. Pozuelo de Alarcón. 28223-Madrid.

Manuscrito aceptado el 25-1-2001.

### INTRODUCCIÓN

La monitorización continua de parámetros vitales es una práctica común en el manejo de pacientes crí-

tos; dichos parámetros nos permiten escoger las intervenciones diagnósticas y terapéuticas más adecuadas para cada paciente. El gasto cardíaco (GC) es una de las medidas de hemodinámica y perfusión más usadas; sin embargo, hasta hace poco tiempo, no hemos dispuesto en la práctica clínica de sistemas para su monitorización continua. Actualmente se dispone de sistemas de termodilución que, a diferencia de lo que pudiera pensarse, nos indican la tendencia del GC en el tiempo. Los valores observados en la pantalla no son a tiempo real, sino que aparecen con un retardo de varios minutos que precisan dichos sistemas para actualizar el valor del GC<sup>1</sup>.

Se han publicado muy pocos trabajos clínicos que hayan cuantificado este tiempo de retardo en la actualización del GC ya que en la clínica influyen muchas variables que pueden modificarlo y es difícil asociar una sola intervención terapéutica en un paciente con la modificación del GC en éste. Se presenta el caso clínico de una paciente con estenosis mitral grave que es intervenida realizándose una sustitución valvular mitral y que a la salida del *bypass* cardiopulmonar desarrolla un fracaso ventricular izquierdo que obliga a la implantación de una asistencia ventricular izquierda. En el postoperatorio, la válvula protésica se trombosó impidiendo la apertura de la misma, de manera que la asistencia se convirtió en un “modelo de asistencia total”, similar al que pudiera realizarse de forma experimental. La paciente se monitorizó con un sistema de gasto cardíaco continuo (GCC) por termodilución y saturación venosa mixta ( $S\bar{v}O_2$ ) continua, con el que además de medir y comprobar el GC en el circuito derecho ofertado por la asistencia, pudieron obtenerse los tiempos de respuesta del sistema de medición a los cambios de flujo proporcionados por la asistencia y manipulados por el observador.

## OBSERVACIÓN CLÍNICA

Mujer de 69 años, con antecedentes de hipertensión arterial, hipercolesterolemia y alergia a penicilinas, que presentaba una estenosis mitral grave e hipertensión pulmonar moderada. En el ingreso actual, la paciente es intervenida quirúrgicamente realizándose una sustitución valvular mitral por prótesis mecánica. Tras la salida del *bypass* cardiopulmonar se produce un shock refractario a fármacos vasoactivos, que obliga a reiniciar la circulación extracorpórea. Se realiza una ecocardiografía transesofágica que revela una prótesis normofuncionante y acinesia de la cara posterior y apical del ventrículo izquierdo. Ante la persistencia del fracaso ventricular izquierdo, con imposibilidad para la desconexión del *bypass* se implanta una asistencia ventricular izquierda (AVI) de tipo centrífuga (Bio-Medicus) y un balón de contrapulsación intraaórtico (BCIAo). La paciente ingresa en la unidad de cuidados intensivos (UCI) procedente del quirófano. Además de la monitorización continua habitual (electrocardiográfica, presión arterial sistémica, venosa central y saturación de

oxígeno arterial), se colocó un catéter de arteria pulmonar con sistema de medición de GCC por termodilución (Abott OptiQ SvO<sub>2</sub>/CCO®, Abbot Critical Care Systems. North Chicago, IL, USA) para la medición continua del GC y la  $S\bar{v}O_2$ . Este catéter dispone de un filamento térmico colocado en el ventrículo derecho que libera calor al torrente circulatorio. Los cambios en la temperatura son registrados por el termistor y correlacionados con la secuencia del input, con lo que se realiza el cálculo del GC correspondiente. El sistema de medición de  $S\bar{v}O_2$  usa fibra óptica conectando la fuente de luz con el extremo distal del catéter, empleando 3 longitudes de onda.

Durante las primeras 48 h de ingreso en la UVI, se consigue la estabilización hemodinámica gracias al soporte circulatorio mecánico con la AVI y el BCIAo, junto con el soporte farmacológico con aminas y expansión de volumen con coloides. En estos momentos, con un flujo de 1,5 l/min/m<sup>2</sup> en la AVI se conseguía un índice cardíaco (IC) superior a 2,5 l/min/m<sup>2</sup> y cuando el flujo se disminuía a 0,5 l/min/m<sup>2</sup>, la paciente era capaz de mantener una presión arterial sistólica (PAS) mayor de 80 mmHg, con un leve ascenso de la presión de enclavamiento pulmonar (PCP). Posteriormente, presenta un deterioro progresivo de la situación hemodinámica con disminución del IC, cuyo valor se asocia, de manera fija, al flujo establecido en la AVI en cualquier punto que éste fuera cambiado o modificado, observándose asimismo un aumento instantáneo de la PCP cuando el flujo de la AVI se redujo por debajo de 2 l/min/m<sup>2</sup>. Dado el empeoramiento hemodinámico, se realizó una segunda ecografía transesofágica. Ésta pone de manifiesto una hipocinesia generalizada grave y una trombosis sobre la válvula protésica. La medida del flujo valvular por eco-Doppler revela la ausencia de paso de flujo a través de la válvula.

Con el diagnóstico de trombosis valvular protésica es reintervenida a las 72 h del ingreso. Se observa un trombo sobre la prótesis que recubre las caras ventricular y auricular, que impide la apertura de la válvula. Se realiza nueva sustitución valvular mitral por prótesis mecánica. Tras la intervención ingresa de nuevo en la UCI, presentando una situación de fracaso multiorgánico, con shock cardiogénico refractario, insuficiencia respiratoria grave con un infiltrado intersticio-alveolar difuso y bilateral, oligoanuria progresiva y coagulopatía de consumo. Esta situación lleva al fallecimiento a las pocas horas de este segundo ingreso.

Tras el diagnóstico de trombosis valvular y previo a la reintervención, se miden de manera continua el GC y la  $S\bar{v}O_2$  (previamente calibrada por cooximetría) y se registran los tiempos de respuesta del sistema de ambos parámetros cuando se realizaron cambios en 0,5 l/min/m<sup>2</sup> en los flujos de la AVI. Ambos parámetros son registrados y grabados en un programa de adquisición automática de datos (Oxidual versión 2.0®) (fig. 1), utilizando un equipo IBM compatible donde se conectaron los dispositivos de monitorización de GC y  $S\bar{v}O_2$ . Los cambios

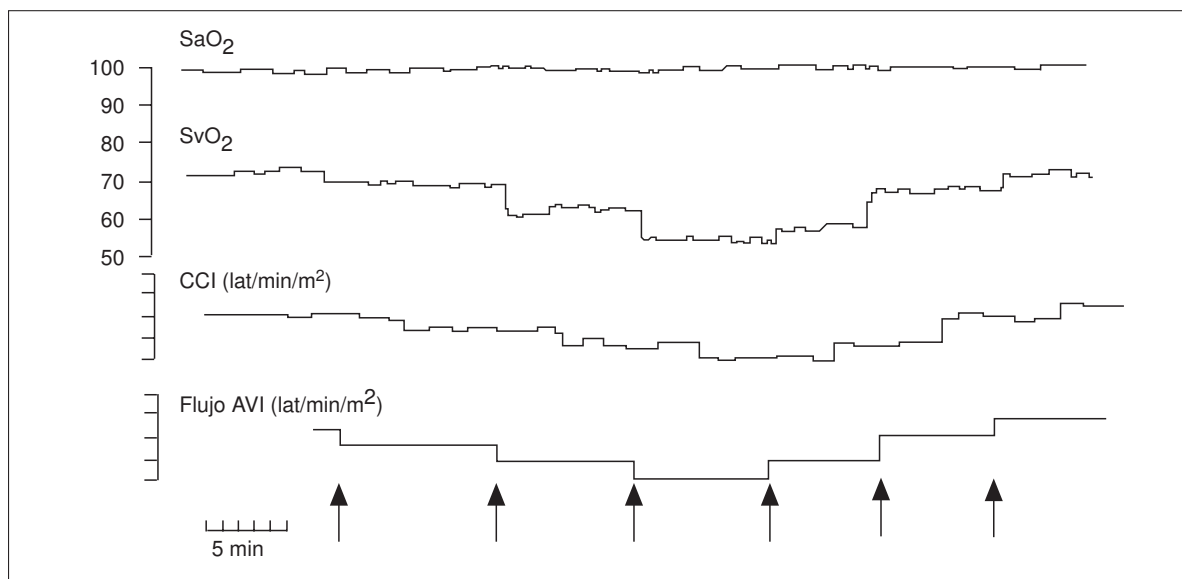


Fig. 1. Relación temporal de las diferentes variables analizadas: saturación arterial de oxígeno, saturación venosa mixta, índice cardíaco continuo (CCI) y flujo del dispositivo de asistencia ventricular izquierda. Asimismo, se señalan los momentos de intervención. SaO<sub>2</sub>: saturación arterial de O<sub>2</sub>; SvO<sub>2</sub>: saturación venosa mixta de O<sub>2</sub>; CCI: índice cardíaco; Flujo AVI: flujo de la asistencia ventricular izquierda.

en el GC reflejan el GC global, ya que en esta situación nos encontramos con una asistencia ventricular total, realizada en un ventrículo izquierdo no conectado con la aurícula izquierda debido a la obstrucción de la prótesis. Se objetiva un retraso medio de tiempo de 4,40 min (DE = 0,6) entre los cambios inducidos por el observador en el flujo de la AVI (GC real, manipulado) y el correspondiente cambio en el visor del GC en el sistema de medición del GCC, para las diferentes mediciones en distintos momentos de la evolución clínica. Por el contrario, los cambios en la SvO<sub>2</sub> se reflejan de forma casi instantánea (< 20 s), con un tiempo de estabilización inferior a 1 min. Asimismo, se mide la correlación entre GCC del sistema de monitorización, el GC proporcionado por la AVI y el GC medido de forma intermitente por termodilución convencional. El análisis de la comparación entre el GCC y el flujo de la AVI, utilizando el método de Bland y Altman<sup>2</sup>, demuestra una r<sup>2</sup> de 0,9 y un *bias* de 0,49, realizado sobre un total de 14 mediciones (fig. 2). Además, se realizan 9 mediciones de GC por termodilución convencional en diferentes momentos, que presentaron una buena correlación con los valores de GCC monitorizados en el momento del cálculo (r = 0,92), aunque la implicación de estas mediciones tienen una importancia limitada por el escaso número de las muestras consideradas. El coeficiente de correlación entre el flujo de la AVI y la SvO<sub>2</sub> es de r = 0,88.

## DISCUSIÓN

El propósito de los sistemas de monitorización es la obtención de diferentes variables fisiológicas que

nos permitan la detección rápida y eficaz de los cambios en el estado clínico del paciente. Asimismo, nos proporciona información para la toma de decisiones clínicas, para guiar mejor las intervenciones diagnósticas y terapéuticas y para medir sus resultados.

Se han realizado importantes esfuerzos en la búsqueda de un sistema de medición de GCC (ecocardiografía Doppler, bioimpedancia transtorácica, etc.), pero hasta hace pocos años no se ha conseguido un sistema aplicable a la práctica clínica de forma rutinaria, sencilla, fiable y segura. El sistema está basado en la dilución de un indicador térmico transportado por un filamento colocado en un catéter de arteria pulmonar modificado y en el análisis de los datos obtenidos mediante técnicas de identificación de sistemas estocásticos, propuesto por Yelderman et al<sup>3</sup>. Tras la generación de la señal térmica en el computador, ésta se conduce al filamento térmico que está situado en el ventrículo derecho, provocando pequeños cambios en la temperatura sanguínea del paciente, que son registrados por un termistor situado en el extremo distal del catéter en la arteria pulmonar. El ordenador analiza los datos recogidos y les aplica los cálculos matemáticos que estiman el valor del GC correspondiente. Los impulsos de energía calórica o indicador sustituyen al bolo de fluido tradicional en el cálculo del GC por termodilución en bolo. La pauta de impulsos se repite cada 30-60 s, de manera que el GC se actualiza en este tiempo, pero el valor reflejado en el monitor corresponde al promedio de los datos obtenidos en los minutos previos, por lo que presenta una tendencia en el tiempo del GC, pero no aporta una cifra de GC instantáneo.

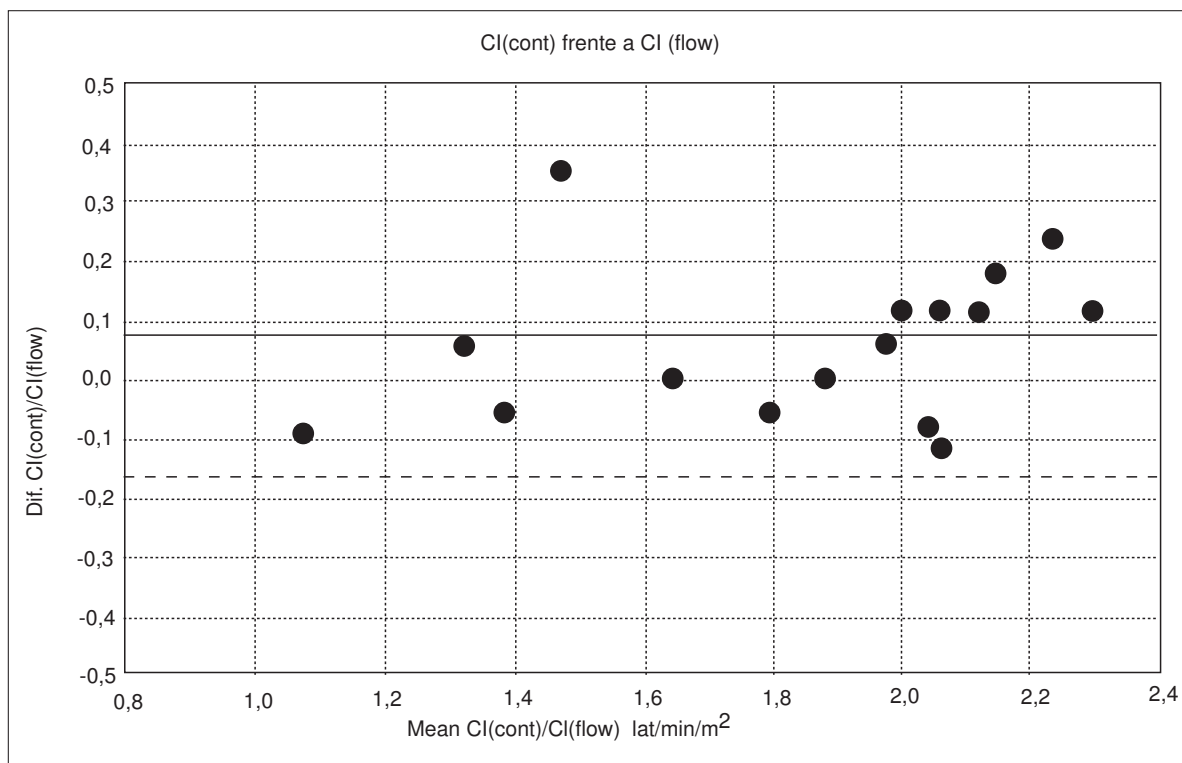


Fig. 2. Test de Bland y Altman entre el índice del gasto cardíaco continuo y el flujo de la asistencia ventricular izquierda. Mean CI (cont)/CI (flow) l/min/m<sup>2</sup>: índice cardíaco medio frente a flujo de la asistencia ventricular izquierda. Dif. CI (cont)/CI (flow): diferencia entre las dos técnicas.

Este sistema de medición de GCC por termodilución ha demostrado ser fiable y comparable al método de termodilución en bolo, utilizado como estándar en la clínica, en numerosos estudios experimentales y clínicos<sup>1,4-7</sup>. Sin embargo, pocos estudios han valorado los tiempos de respuesta *in vivo* de este sistema. Haller et al analizan los valores obtenidos en dos pacientes con shock cardiogénico que precisan una AVI. En estos pacientes se inducen cambios súbitos en el GC de un 1 lit/min variando el flujo de la AVI y se determina el tiempo de respuesta *in vivo* de este tipo de catéteres; estos autores obtienen ocho medidas; el 75% del tiempo de las respuestas fue de 10,5 min<sup>6</sup>.

La situación clínica extraordinaria de nuestra paciente nos permite considerar la AVI implantada como una asistencia ventricular total, como si de un modelo experimental se tratase, de manera que los cambios inducidos en el flujo de la asistencia son un fiel reflejo de los cambios en el GC real de la paciente. En esta situación se realizaron mediciones de GC por termodilución en bolo que fueron comparadas con las mediciones de GCC, y éstas con el flujo de la asistencia, así como la medición del tiempo de respuesta del sistema de GC por termodilución continua y la S $\bar{v}$ O<sub>2</sub> a los cambios inducidos en el GC por la manipulación en 500 ml/m de la asistencia (incrementos y decrementos). La comparación de ambos métodos de medición del GC demostró la fia-

bilidad y precisión del sistema de GCC. Por tanto, este sistema de monitorización debe ser considerado fiable y seguro en la aplicación rutinaria clínica y en el manejo de pacientes críticos, demostrando sus ventajas sobre el sistema tradicional en bolo: aporta información continua, está exento de aporte de fluidos y manipulaciones, además de evitar las variaciones interindividuales que pueden modificar el cálculo del GC. Sin embargo, es necesario conocer la limitación en el tiempo de respuesta para la detección inmediata de los cambios agudos en el GC, como se demuestra en nuestra paciente.

La monitorización continua de la S $\bar{v}$ O<sub>2</sub> refleja la relación entre el aporte y la demanda de oxígeno; no obstante, su papel en el manejo de pacientes críticos ha sido cuestionado debido a que la S $\bar{v}$ O<sub>2</sub> es un valor que se influencia por múltiples factores, como las variaciones en el consumo de oxígeno, las diferentes contribuciones de los flujos regionales a la S $\bar{v}$ O<sub>2</sub> global o las posibles alteraciones en la extracción periférica de oxígeno durante períodos postoperatorios de cirugía cardiovascular no complicados. Magillian et al no encontraron una correlación entre la S $\bar{v}$ O<sub>2</sub> y el GC en un grupo de pacientes durante el período postoperatorio de cirugía cardíaca<sup>8</sup>. Cernianu et al concluyeron en un estudio que la presencia de una S $\bar{v}$ O<sub>2</sub> superior a 65% en el postoperatorio de cirugía cardíaca era un reflejo de estabilidad hemodinámica<sup>9</sup>.

En el caso que se discute se encontró que la  $S\bar{v}O_2$ , no solamente se relacionaba estrechamente con el GC, sino que también variaba instantáneamente y de forma paralela a los cambios del GC. En pacientes hemodinámicamente inestables, que mantienen intactos los mecanismos reguladores para la extracción periférica de oxígeno, la monitorización continua de  $S\bar{v}O_2$  presenta un tiempo de respuesta más rápido y apropiado que el GCC, siendo un indicador precoz de los cambios en el estado hemodinámico del paciente en el que se monitoriza el GC, aunque ambos parámetros han de considerarse complementarios y no excluyentes. Dado que los dispositivos de asistencia circulatoria sólo proporcionan habitualmente un soporte circulatorio parcial, no se puede encontrar una relación lineal entre el flujo aportado por la AVI y el GC medido en el paciente (parte del flujo pasa a través del dispositivo mecánico y parte a través del ventrículo). Este hecho es más relevante durante el período de desconexión del dispositivo; por esta razón, es de gran importancia la monitorización continua del GC en estos enfermos. Aunque la medida continua de GCC es de enorme utilidad en estos pacientes, la  $S\bar{v}O_2$  tiene mayor sensibilidad y rapidez en la detección de cambios en el estado hemodinámico resultantes de la hipovolemia, la anemización o el descenso del GC, aspectos que ha subrayado Clavey et al<sup>10</sup>. En los pacientes con un dispositivo de asistencia ventricular derecha, la  $S\bar{v}O_2$  puede ser el único parámetro disponible para ser usado como guía de tratamiento, dado que el flujo ventricular derecho pasa en parte por el ventrículo derecho y en parte por la cánula de la asistencia y, por consiguiente, el GC por termodilución no es fiable.

Consideramos que la monitorización continua del GC debe ser acompañada de la monitorización continua de la  $S\bar{v}O_2$  en aquellos pacientes críticos que

se encuentren hemodinámicamente inestables, de manera que la información obtenida permita la detección y el tratamiento precoz de cualquier cambio significativo en la situación hemodinámica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez Vela JL, Renes Carreño E, Montejo González JC, Perales Rodríguez de Víguri N. Gasto cardíaco continuo por termodilución en el paciente crítico. *Med Intensiva* 1997; 21: 324-331.
2. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *Lancet* 1986; 1: 307-310.
3. Yelderman M, Ramsay MA, Quinn MD, Paulsen AW, McKown RC, Gilman PH ML. Continuous thermodilution cardiac output measurement in intensive care unit patients. *J Cardiothorac Vasc Anest* 1992; 6: 270-274.
4. Boldt J, Menges T, Wollbruck M, Hammerman H, Hempelmann G. Is continuous cardiac output measurement using thermodilution reliable in the critically ill patient? *Crit Care Med* 1994; 22: 1913-1918.
5. Mihaljevic T, Segesser LK, Tonz M, Leskosek B, Seifert B, Jenni R et al. Continuous vs bolus thermodilution measurements-A comparative study. *Crit Care Med* 1995; 23: 944-949.
6. Haller M, Zollner C, Briegel J, Forst H. Evaluation of a new continuous thermodilution cardiac output monitor in critically ill patients: a prospective criterion standard study. *Crit Care Med* 1995; 23: 860-866.
7. Mihm FG, Gettinger A, Hanson CW, Gilbert HC, Stover EP, Vender JS et al. A multicenter evaluation of a new continuous cardiac output pulmonary artery catheter system. *Crit Care Med* 1998; 26: 1346-1350.
8. Magilligan DJ, Teasdall R, Eisenminger R, Peterson E. Mixed venous oxygen saturation as a predictor of cardiac output in the postoperative surgical patient. *Ann Thorac Surg* 1987; 44: 260-262.
9. Cernianu AC, DelRossi AJ, Boatman GA. Continuous venous oximetry for hemodynamic and oxygen transport stability post cardiac surgery. *J Cardiovasc Surg* 1992; 33: 14-20.
10. Clavey M, Mattei MF, Hubbert T. Interet de la mesure en continue de la  $S\bar{v}O_2$  pendant une assistance circulatoire extreme. *Ann Fr Anest Reanim* 1990; 9: 83-86.