

ESTUDIO DE LA FUNCION CARDIOPULMONAR EN EL PACIENTE QUIRURGICO GRAVE

*RAÚL CASTAÑEDA
**RICARDO SÁNCHEZ
*ANGELA DÁVILA
*CECILIA MENDOZA

RESUMEN

Se describen los métodos que se pueden aplicar en nuestro medio para determinar algunas variables de caracter general que nos van a permitir desarrollar todo un programa de estudio sobre las diferentes etapas de la oxigenación y la función cardiovascular. También se describe la aplicación de cuatro nomogramas en la evaluación objetiva del tono vascular neto, cortocircuito periférico relativo, transporte efectivo de oxígeno y función ventricular. Junto con la descripción del procedimiento se van planteando algunos criterios de interpretación sobre el valor de las diferentes variables.

Palabras clave: Oxigenación. Función cardiovascular. Tono vascular. Cortocircuito periférico. Transporte efectivo de oxígeno. Función ventricular.

SUMMARY

In this paper are presented several methods available to the clinician which can be applied to patients in order to determine certain variables which in turn allow us to develop an evaluation program concerning different stages in the oxygenation as well as the cardiovascular function. It is also described the utilization of 4 nomograms for determining net vascular tone, relative peripheral shunt, effective oxygen transport and ventricular function. In making the description of the procedure it is shown which interpretation criteria may be applied upon the values of the different variables.

Key words: Oxygenation. Cardiovascular function. Vascular tone. Peripheral bypass. Oxygen transport. Ventricular function.

INTRODUCCION

En el paciente quirúrgico grave o con reserva funcional muy disminuida es necesario hacer una evaluación detallada de la oxigenación y condiciones hemodinámicas para tener una información más precisa sobre el estado actual y reserva funcional del sistema cardiopulmonar. Hasta hace poco tiempo, dicha valoración solos se podía hacer un servicios que contaban con personal y equipo especializado, lo cual limitaba su realización. Siegely col.¹⁻⁶ sistematizaron unos programas para valorar el consumo de oxígeno y el estado hemodinámico que se pueden aplicar prácticamente en cual-

quier medio y con un mínimo de equipo, estos programas se basan en la obtención de ciertos parámetros de base con los que haciendo las correlaciones indicadas se obtienen una serie de variables que nos amplían la información sobre el estado de la oxigenación y condiciones hemodinámicas. Después Cohn y col.⁷ diseñaron cuatro nomogramas que nos dan una orientación más global sobre el tono vascular neto, transporte efectivo de oxígeno, cortocircuito periférico relativo y función ventricular. Villazón y col.^{8, 9} han empleado estos programas y nomogramas en el estudio y monitoreo de pacientes con diferentes trastornos hemodinámicos.

El presente trabajo tiene por objeto describir la apli-

*Médico Anestesiólogo.

**Jefe de Servicio

Trabajo recibido. 30 de noviembre de 1986. Aceptado 10 de diciembre de 1986.

Trabajo recibido del Departamento de Anestesiología y Terapia Respiratoria. Hospital de Especialidades, C.M.N. IMSS.

Sobretiros: Raúl Castañeda. Pastorelas No. 14. Colina del-Sur. México 01430, D.F.

cación de estos programas y nomogramas en la valoración preoperatoria de la función cardiopulmonar, así como algunas modificaciones hechas en nuestro servicio con el objeto de simplificarlos y poderlos emplear en nuestro medio.

MÉTODOS

Procedimiento general.

Para obtener las variables de base en estos programas, se instala un catéter venoso central, catéter intraarterial y cardioscopio, y se obtiene una muestra de aire espirado; lo que nos permite determinar la presión venosa central y gases sanguíneos venosos centrales, presión arterial media y gases sanguíneos arteriales, frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno.

Estudio de la oxigenación.

A partir de las determinaciones de gases en sangre arterial (DGSA) y venosa central (DGSV) vamos a estudiar las siguientes variables:

1. Presión parcial arterial de oxígeno (PaO₂)

Mide la presión ejercida por el oxígeno en la sangre arterial y está relacionada, pero no es una medida, con el contenido total de oxígeno.

2. Saturación arterial de oxígeno (SaO₂)

Mide la cantidad de oxígeno en mililitros combinado con la hemoglobina relacionado a la capacidad máxima de la misma para unir oxígeno. Esta proporción de contenido a capacidad es expresada como un porcentaje, de acuerdo con la siguiente relación:

$$\% \text{ SaO}_2 = \frac{\text{O}_2 \text{ combinado con la hemoglobina}}{\text{Capacidad del O}_2 \text{ de la hemoglobina}} \times 100$$

3. Hemoglobina (Hb)

Cada molécula de Hb capta cuatro moléculas de oxígeno, siendo en esta forma el principal transportador del oxígeno; y por tanto, nos informa sobre el contenido total de oxígeno.

4. Presión parcial alveolar (PAO₂) y diferencia alveolo-arterial de oxígeno (DA-aO₂).

La PAO₂ mide la presión parcial que ejerce el oxígeno en el alveolo después de respirar una fracción inspirada de oxígeno del 100% (FiO₂ = 1.0) durante 15 minutos, con el objeto de desnitrógenar los alveolos y tejidos.¹⁰

$$\text{PAO}_2 = \text{PB} - \text{PH}_2\text{O} - \text{PACO}_2$$

donde PB = presión barométrica, PH₂O = presión parcial del vapor de agua (6.3 KPa), y PACO₂ = presión parcial alveolar del bióxido de carbono, convencionalmente igual que la presión parcial arterial (PaCO₂).

La DA-aO₂ mide la diferencia entre la presión parcial alveolar y la arterial de oxígeno:

$$\text{DA} - \text{aO}_2 = \text{PAO}_2 - \text{PaO}_2$$

La DA-aO₂ nos permite valorar la difusión a nivel alveolo-capilar.

5. Contenido arterial de oxígeno (CaO₂).

Mide la cantidad total de oxígeno que se encuentra en 100 ml. de sangre arterial, considerando el unido a la Hb y el disuelto en el plasma según la ley de Henry.¹¹

$\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2) + (\text{PaO}_2 \times 0.0031)$
donde 1.34 = volúmenes (vol) de oxígeno que transporta un gramo de Hb, y 0.0031 = coeficiente de solubilidad del oxígeno
(vol % / mm Hg).

$$1 \text{ KPa} = 7.5 \text{ Mm Hg}, 1 \text{ vol} = 1 \text{ ml}$$

6. Contenido venoso (CvO₂) y diferencia arterio-venosa de oxígeno (Da-vO₂).

El CvO₂ mide el contenido total de oxígeno de 100 ml. de sangre venosa central, y se calcula considerando el oxígeno unido a la Hb y el disuelto en el plasma.

$\text{CvO}_2 = (\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SvO}_2) + (\text{PvO}_2 \times 0.0031)$
donde SvO₂ = saturación venosa de oxígeno, y PvO₂ = presión parcial venosa de oxígeno.

La Da-vO₂ es la diferencia entre el contenido arterial y el venoso de oxígeno:

$$\text{Da-vO}_2 = \text{CaO}_2 - \text{CvO}_2$$

El CvO₂ y Da-vO₂ nos permiten valorar el grado de extracción periférica y el consumo de oxígeno. La Da-vO₂ nos permite calcular el gasto cardíaco aplicando el principio de Fick (ver después).

7. Cortocircuito pulmonar (Qs/Qt).

Mide la fracción del gasto cardíaco que no participa en el intercambio gaseoso, y se calcula a partir de las diferencias alveolo-arterial y arterio-venosa de oxígeno:

$$\text{Qs/Qt} = \frac{\text{Da} - \text{aO}_2 \times 0.0031}{\text{Da-vO}_2 \text{ Da-aO}_2 \times 0.0031}$$

Es una medida directa de la relación ventilación/perfusión.

8. Consumo de oxígeno (VO₂).

Mide la diferencia entre la fracción inspirada y la espirada de oxígeno:

$$\text{VO}_2 = (\text{VI} \times \text{FiO}_2) - (\text{VE} \times \text{FeO}_2)$$

donde VI = volumen inspirado por minuto, VE = volumen espirado por minuto, y FeO₂ = fracción espirada de oxígeno.

El VO₂ nos permite valorar en forma directa el consumo de oxígeno propiamente dicho, y además nos permite calcular el gasto cardíaco.

En los cuadros I y II se presentan los valores normales de estas variables determinadas a nivel del mar (PB = 101.3 KPa) y en la Ciudad de México (PB = 77.3 KPa) expresadas según el Sistema Internacional de Unidades (SIU).

Estudio cardiovascular.

Siguiendo la misma estrategia del programa anterior, vamos a determinar algunas variables de carácter

CUADRO I

VALORES MEDIOS DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN LA DETERMINACION DE GASES EN SANGRE ARTERIAL A NIVEL DEL MAR Y LA CIUDAD DE MEXICO A UNA $FiO_2 = 0.21$

	P.B. = 101.3 KPa	P.B. = 71.3 KPa
OXIGENACION		
PO ₂ (KPa)	12.9	9.3
SaO ₂ (%)	97.0	93.0
Hb (g%)	15.0	15.0
VENTILACION		
PCO ₂ (KPa)	5.3	4.8
ESTADO ACIDO-BASE		
pH (U)	7.4	7.4
EB (mmoles/L)	0	-0.75
BB (mmoles/L)	48.0	48.0
BS (mmoles/L)	24.0	24.0
BA (mmoles/L)	24.0	24.0
CO ₂ T (mmoles/L)	25.0	25.0

CUADRO II

VALORES MEDIOS NORMALES DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN EL PROGRAMA DE CONSUMO DE OXIGENO DETERMINADOS A NIVEL DEL MAR Y DE LA CIUDAD DE MEXICO A UNA $FiO_2 = 1.0$

	P.B. = 101.3 KPa	P.B. = 77.3 KPa
PAO ₂ (KPa)	89.7	66.2
PaO ₂ (KPa)	66.6	50.8
DA-aO ₂ (KPa)	23.0	15.4
CaO ₂ (vol %)	20.0	18.9
CvO ₂ (vol %)	15.0	15.2
Da-vO ₂ (vol %)	5.0	3.7
Q _s /Q _t (%)	4.0	4.0
VO ₂ (ml/min/m ²)	145.0	145.0

general que nos permiten calcular otras para tener una información más detallada sobre el estado de la función miocárdica y las condiciones hemodinámicas.

1. Presión venosa central (PVC).

Mide el retorno venoso y refleja la relación entre el volumen sanguíneo circulante y la capacidad cardiovascular total.

2. Presión arterial media (PAM).

Es la presión promedio durante un ciclo cardiaco, y depende del gasto cardiaco y la resistencia periférica total. Esta relación es expresada por la siguiente relación:

$$PAM = GC \times RPT$$

donde GC = gasto cardiaco, y RPT = resistencia periférica total.

La PAM es una medida cuantitativa de la función cardiovascular.

3. Frecuencia cardiaca (FC).

Mide el número de latidos durante un minuto, y es un determinante mayor del gasto cardiaco.

Es el índice general del funcionamiento cardiaco.

4. Gasto cardiaco (GC) e índice cardiaco (IC).

El GC representa el volumen de sangre que es bombeado por el corazón durante un minuto, y depende principalmente de la FC y el volumen latido.

El GC lo obtenemos en este programa a partir de la Da-vO₂ y el VO₂, según el principio de Fick.^{12, 15}

$$GC = VO_2 / Da-vO_2$$

El GC es una medida que refleja el estado del sistema circulatorio en su totalidad, y no solamente del corazón, sin embargo, tradicionalmente se ha interpretado como una estimación de la función de bomba del corazón.

El IC es una medida del GC corregida en relación con la superficie corporal:

$$IC = GC/SC$$

donde SC = superficie corporal.

De acuerdo con esto, el IC se convierte en una estimación de la perfusión tisular.

5. Volumen latido (VL) e índice volumen latido (IVL). El volumen latido representa el volumen de sangre que es bombeado por el ventrículo izquierdo durante un ciclo cardiaco (descarga sistólica):

$$VL = GC/FC$$

El VL está determinado por la fuerza contráctil y la cantidad de volumen sanguíneo, y por lo tanto, es una medida de contractilidad (inotropismo).

El IVL es el VL corregido en relación a la SC:

$$IVL = VL/SC$$

Con el IVL valoramos el estado inotrópico del corazón en relación con la SC.

6. Trabajo del ventrículo izquierdo por latido (TL).

El TL expresa la contractilidad ventricular en términos de trabajo mecánico.

$$TL = GC \times PAM \times 13.6/FC$$

donde 13.6 = densidad del Hg.

7. Resistencia periférica total (RPT).

Es una medida cuantitativa de la postcarga del ventrículo izquierdo.

$$RPT = 799 \times PAM/GC$$

donde 799 = factor para convertir mm Hg en dinas/cm.²

La RPT nos permite valorar la postcarga y clasificar el estado hemodinámico.

En el cuadro III se presentan los valores medios normales de estas variables expresadas según el SIU.

Nomogramas. De acuerdo con Cohn y col.⁷ podemos correlacionar algunas variables obtenidas y tener información objetiva sobre las siguientes variantes fisiológicas:

1. Tono vascular neto, relacionando el IC con el RPT (figura 1).

2. Transporte efectivo de oxígeno, relacionando el IC con el VO₂ (figura 2).

3. Cortocircuito periférico relativo, relacionando el transporte efectivo de oxígeno (TEO₂) con la RPT (figura 3).

4. Función ventricular, relacionando el TL con la PVC (figura 4).

La relación entre estas variables está representada por una función parabólica, pero convencionalmente se correlacionan en una escala logarítmica para obtener líneas rectas y de esta forma facilitar su manejo. Con base en estudios previos, los nomogramas del tono vascular, transporte efectivo de oxígeno y cortocircuito periférico, clasifican la condición hemodinámica del paciente en normal, hipo e hiperdinámica; por otro lado, el nomograma de función ventricular nos separa

CUADRO III
VALORES MEDIOS NORMALES DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN EL PROGRAMA DE ESTUDIO CÁRDIOVASCULAR

PVC (KPa)	0.4
PAM (KPa)	12.8
FC (/min)	70.0
GC (L/min)	5.3
IC (L/min/m ²)	3.2
VL (ml/latido)	76.0
IVL (ml/latido/m ²)	46.2
TL (g/m)	99.7
RPT (Kpa/seg/L)	145.5

cualitativamente la función ventricular en mala, regular y buena.

Estos nomogramas también nos permiten hacer una evaluación cuantitativa de la función cardiovascular, tomando en cuenta el desplazamiento angular que tiene el punto de un paciente dado en relación con la inter-

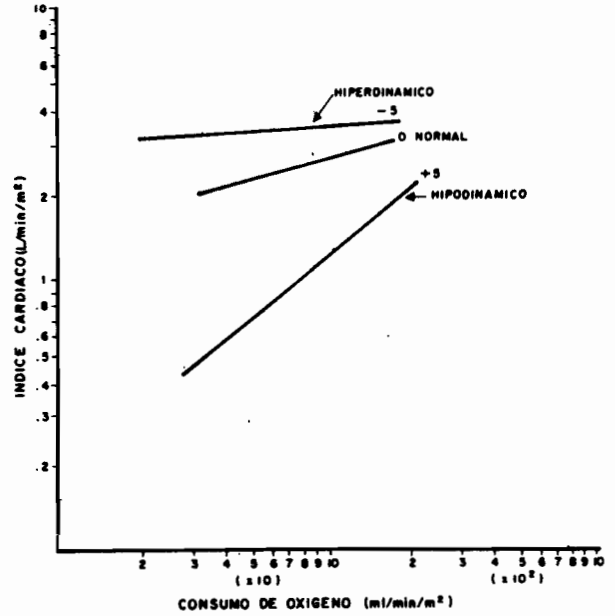


Figura 2. Transporte efectivo de oxígeno. Correlaciona el índice cardíaco en L/min/m² sobre la ordenada con el consumo de oxígeno en ml/min/m² sobre la abcisa. Las líneas y calificaciones corresponden a las mismas condiciones que en la figura 1.

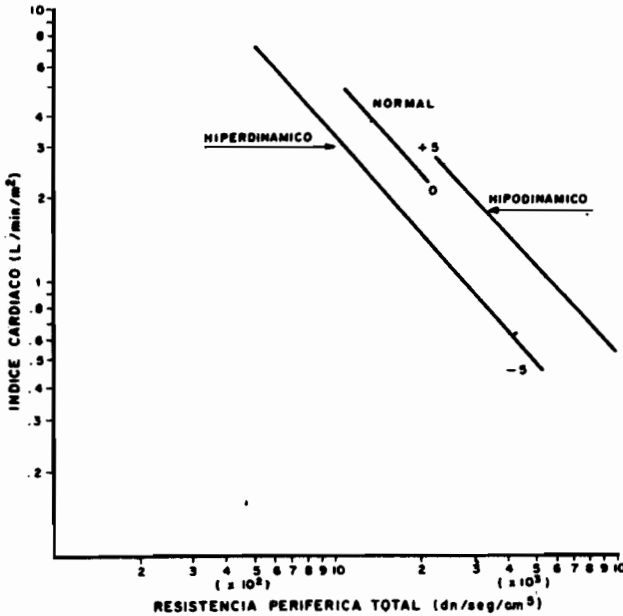


Figura 1. Tono vascular neto. Correlaciona el índice cardíaco en L/min/m² sobre la ordenada con la resistencia periférica total en dinas/seg/cm⁵ sobre la abcisa. Las líneas corresponden a rectas previamente fijadas con valores de pacientes normales, hipo e hiperdinámicos. Los valores de las líneas de referencia se han normalizado a una calificación angular entre -5 y +5. La calificación 0 corresponde al estado normal, -5 al estado hiperdinámico, y +5 al estado hipodinámico.

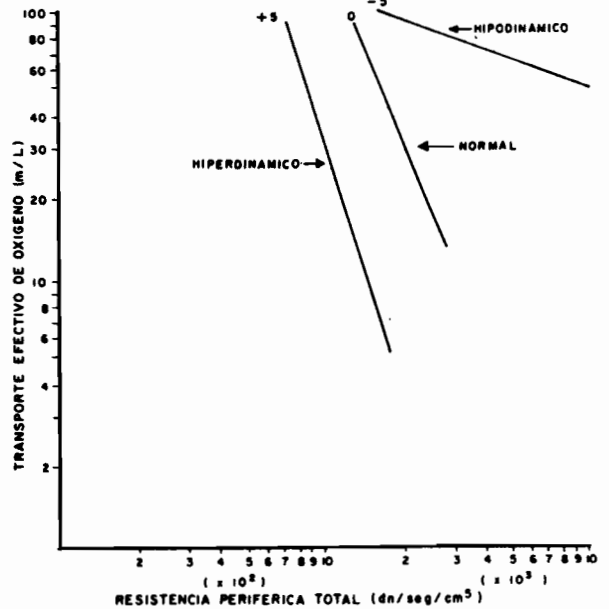


Figura 3. Cortocircuito periférico relativo. Correlaciona el transporte efectivo de oxígeno en ml/L sobre la ordenada con la resistencia periférica total en dinas/seg/cm⁵ sobre la abcisa. La calificación 0 corresponde al estado normal, +5 al estado hiperdinámico, y -5 al estado hipodinámico.

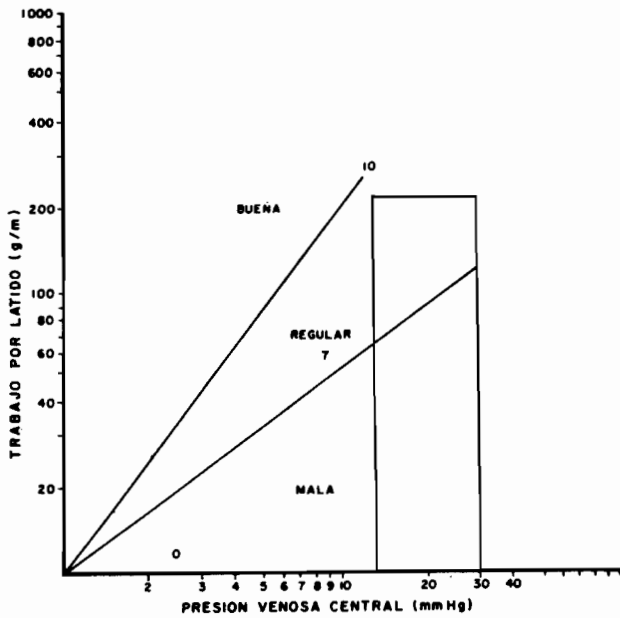


Figura 4. Función ventricular. Correlaciona el trabajo por latido del ventrículo izquierdo en g/m sobre la ordenada con la presión venosa central con mm Hg sobre la abcisa. Las líneas y calificaciones angulares previamente obtenidas clasifican la función ventricular en mala (calificación < 7), regular (calificación entre 7 y 10) y buena (calificación > 10).

sección de las líneas que representan la correlación de las variables consideradas durante un estado hipo e hiperdinámico. En el nomograma del tono vascular las dos curvas son prácticamente paralelas, por lo que el desplazamiento angular es simplemente la distancia desde una de las curvas. Las variables que se correlacionan en estos nomogramas no están expresadas en unidades SI para no modificar el diseño ni los criterios de interpretación originalmente propuestos.

En el cuadro IV se presentan los índices de función cardiovascular de acuerdo con los cuatro nomogramas descritos.

COMENTARIO

De acuerdo con la descripción general de los programas de Siegel y nomogramas de Cohn, contamos con un método rápido, sencillo y preciso para estudiar en forma detallada y completa la función cardiovascular. Así, el programa de consumo de oxígeno nos da varia-

CUADRO IV
VALORES HABITUALES (DESPLAZAMIENTO ANGULAR) DE LOS INDICES DE FUNCION CARDIOVASCULAR DE ACUERDO CON LA CONDICION HEMODINAMICA DEL PACIENTE

	Hiperdinámico	Hipodinámico	Normal
Tono vascular neto	-5	5	0
Transporte efectivo de oxígeno	-5	5	0
Cortocircuito periférico relativo	5	-5	0
Función ventricular	< 7	7-10	> 10

Fuente: Siegel H J, Williams B J: A computer based index for the prediction of operative survival in patients with cirrhosis and portal hypertension. Ann Surg 1969; 169:191-201.

bles que nos informan sobre las diferentes etapas de la oxigenación. Con el programa cardiovascular obtenemos información directa sobre el estado de la función miocárdica y el estado vascular, e indirecta sobre la situación hemodinámica. Al aplicar los nomogramas obtenemos una orientación más global sobre el estado fisiopatológico de nuestro paciente; así, el nomograma de función ventricular, al correlacionar el trabajo del ventrículo izquierdo por latido con la presión venosa central, nos informa objetivamente sobre el estado de la función miocárdica; los otros tres nomogramas, de acuerdo con las variables que correlacionan, nos permiten definir de manera objetiva la condición hemodinámica de nuestro paciente en base al tono vascular neto, cortocircuito periférico relativo y transporte efectivo de oxígeno.

A pesar de que se ha hecho mayor hincapie en las ventajas que tiene este programa, es necesario conocer sus limitaciones para no hacer falsas interpretaciones. Así, cuando una de las diversas variables se obtiene con un error, este error aumentará en forma progresiva a medida que es utilizada en los cálculos y correlaciones subsecuentes por otro lado, también es necesario considerar la sensibilidad y variabilidad de los datos obtenidos, por ejemplo, la presión venosa central está en relación directa con los cambios que se suceden en las cavidades derechas, pero no es buen índice para valorar, precozmente, lo que sucede en las cavidades izquierdas.

REFERENCIAS

1. SIEGEL H J, WILLIAMS B J: A computer based index for the prediction of operative survival in patients with cirrhosis and portal hypertension. Ann Surg 1969; 169: 191-201.
2. SIEGEL H J, FABIAN M: Therapeutic advantages of an inotropic vasodilator in endotoxin shock. JAMA 1967; 200:120-128.
3. SIEGEL H J, GREENSPAN M, COHN D J, DEL GUERCIO M R L: The prognostic implications of altered physiology in operations for portal hypertension. Gynecol Obstet 1968; 249-262.
4. SIEGEL H J, GREENSPAN M, DEL GUERCIO M R L: A abnormal vascular tone, defective oxygen transport and myocardial failure in human septic shock. Ann Surg 1967; 165:504-517.
5. SIEGEL H J: The myocardial contractile state and its role in the

- response to anesthesia and surgery.* Anesthesiology 1969; 30:519-564.
6. SIEGEL H J, FARRELL J E, MILLER M, GOLDWYN M R, FRIEDMAN P H: *Cardiorespiratory interactions as determinants of survival and the need for respiratory support in human shock states.* Traumatol 1973; 13:602-619.
 7. COHN J D, DEL GUERCIO L R: *Nomogram for the rapid calculation of cardiac output at the bedside.* Ann Surg 1966; 164:109-124.
 8. VILLAZÓN S A, MALDONADO C F, GUEVARA A M, SIERRA U A, LÓPEZ S F, TELICH C J: *Estudios hemodinámicos en el paciente grave.* Anuario del Hospital Español 1970; 1:119-142.
 9. MALDONADO C F, SIERRA U A, GUEVARA A M, VILLAZÓN S A: *Estudios hemodinámicos en el enfermo grave, su valor y aplicaciones actuales.* Cirugía y Cirujanos 1970; 38:437-487.
 10. TAYLOR P J: *Patient monitoring.* En: Manual of respiratory therapy. Second Edition, USA. The C.V. Mosby Company. 1978. Pp 117-126.
 11. DOWNES J J: *Respiratory physiology in the pediatric patient.* En: 1980 Annual Refresher Course Lectures. St. Louis, Missouri. p. 122.
 12. WILSON F R, GIBSON D: *The use of arterial-central venous oxygen differences to calculate cardiac output and oxygen consumption in critically ill surgical patients.* Surgery 1978; 84:362-369.
 13. NEUHOF H, WOLF H: *Method for continuously measured oxygen consumption and cardiac output for use in critically ill patients.* Critical Care Medicine 1978; 6:155-161.