

# Alteraciones fisiopatológicas durante la cirugía cardíaca (Valores en 54 pacientes consecutivos) (\*)

Por los Dres. J. ALBERTAL, E. V. SEGURA, H. GONZALEZ, A. CRISTOFANI, S. MINOTTI y A. BENGOLEA

## INTRODUCCION

En todos los pacientes sometidos a la cirugía cardíaca se obtienen una serie de datos sobre los parámetros fisiológicos de acuerdo con una sistemática determinada. El objetivo inmediato de estos análisis es el mejor tratamiento del paciente en base a sus datos de laboratorio. No obstante la recopilación y análisis de estos datos a posteriori permiten deducir patentes de respuestas fisiológicas durante estas intervenciones.

Este estudio se efectúa con el objeto de establecer en qué condiciones se presentan los pacientes a la operación, en base a la recopilación de los datos mencionados. Además se pretende saber cómo responden bajo el efecto de la anestesia y la cirugía, y qué alteraciones induce la circulación extracorpórea.

Correlacionando los datos hemodinámicos entre sí y con los valores de gases en sangre y el equilibrio ácido base, se determinan los valores promedio, la interdependencia de las diversas variables y se deduce de estos resultados el mejor manejo de los pacientes que se someten a la cirugía cardíaca.

## MATERIAL Y METODOS

Se han tomado los datos de laboratorio de 54 pacientes consecutivos que

fueron sometidos a la cirugía cardíaca correctora con circulación extracorpórea en esta Institución.\*

Los pacientes tenían una edad promedio de 30 (de 6 a 51 años), con una superficie corporal promedio de 1,54 (de 0,65 a 2,00) M<sub>2</sub>. Treinta y cuatro pacientes eran mujeres y 20 eran varones. Diez de los pacientes eran menores de 15 años que padecían las cardiopatías congénitas quirúrgicas más comunes. Trece de ellos eran adultos que no tenían síntomas de insuficiencia cardíaca y padecían cardiopatías congénitas (comunicación interauricular, comunicación interventricular, estenosis pulmonar aislada o asociada, y enfermedad de Fallot). Treinta y uno pacientes adultos tenían insuficiencia cardíaca debido a valvulopatías adquiridas.

Los primeros valores tabulados, fueron obtenidos, en ocasión de entrar el paciente a la sala de operaciones (Muestra 1, control).

Una segunda muestra fue obtenida luego de la inducción y bajo los efectos de la anestesia y la cirugía, al cabo de una y media a dos horas de iniciada ésta, y quince minutos antes de comenzar la circulación extracorpórea (Muestra 2, anestesia). Una tercer muestra fue obtenida antes de finalizar la circulación extracorpórea (Muestra 3, C.E.C.). En cada uno de estos períodos se obtuvieron: el pH, la presión parcial de anhídrido carbónico (pCO<sub>2</sub>), el exceso de base buffer (E.B.) y la presión parcial de oxígeno (pO<sub>2</sub>) en sangre arterial y venosa de acuerdo al método de Astrup

\* Instituto de Cardiología de la Academia Nacional de Medicina, Fundación H. Pombo de Rodríguez. Director: Dr. Juan J. Bertervide.

(1). Simultáneamente se midió la presión arterial en forma continua por medio de un catéter en la arteria radial, conectado a un transductor de presiones Statham 23 De, con lectura directa. Con estos datos se calcularon la saturación arterial y venosa y la diferencia arterio-venosa de oxígeno. Se consideran como valores normales para este último parámetro, de 3 a 5 con un promedio de 4 volúmenes por ciento de oxígeno. El consumo de oxígeno de la muestra de control fue obtenido de las tablas de Boothby, Berkson y Dunn (2), de acuerdo con la superficie corporal, edad y sexo de cada uno de los individuos. El consumo oxígeno durante la circulación extracorpórea se obtuvo de acuerdo con el principio de Fick, multiplicando el índice cardíaco por la diferencia arterio-venosa de oxígeno simultánea. Este mismo consumo de oxígeno se usó para los cálculos de la muestra durante la anestesia.

El índice cardíaco fue obtenido dividiendo el consumo de oxígeno por minuto y por metro cuadrado de superficie del paciente, por la diferencia arterio-venosa de oxígeno. Se consideran como valores normales para esta determinación de 2,5 a 4,5 con un promedio de 3,5 litros por minuto y por metro cuadrado de superficie corporal (3). El índice cardíaco durante la circulación extracorpórea, se obtuvo multiplicando las revoluciones de la bomba arterial por el desplazamiento inducido por cada revolución (33 centímetros cúbicos) y dividido por la superficie corporal del paciente. El índice de resistencia vascular sistémica fue obtenido de la simple división de la presión intraarterial media, medida en milímetros de mercurio, por el índice cardíaco, considerando como valores normales de 18 a 34 con un promedio de 26 unidades (3).

## RESULTADOS

### Valores de control

Cuarenta y ocho horas antes de la operación se suspendieron los tratamientos diuréticos y digitálicos en aquellos pacientes en insuficiencia cardíaca, recibiendo éstos 60 miliequivalentes diarios de cloruro de potasio por vía oral, durante la última semana pre-operatoria. Estos y los demás pacientes recibieron 3 mg/kg de peso

de secobarbital por vía oral (hasta 100 mg), la noche previa y se repite dos horas antes de la intervención quirúrgica. Una hora antes reciben 2 mg por kilogramo de peso de meperidina por vía intramuscular (hasta 100 gm).

Los pacientes ingresan a la sala de operaciones con una canalización de la vena yugular, cuyo extremo se controla radiológicamente para que esté a la altura de la aurícula derecha o vena cava superior. En estas condiciones y luego de la canalización arterial se toman las muestras de control preoperatorio (M1).

Como puede verse en la figura 1, la saturación arterial de oxígeno promedio fue en este momento de 95 (de 81 a 99) % y la saturación venosa fue de 71 (de 54 a 81) %, dando una diferencia arterio-venosa promedio de 4,8 (de 2,6 a 7,2) volúmenes por ciento. El consumo de oxígeno promedio calculado para estos pacientes fue de 135 (de 110 a 180) centímetros cúbicos de oxígeno por minuto y por metro cuadrado. El índice cardíaco promedio en estas condiciones fue de 2,8 (de 1,8 a 5,3) litros por minuto y por metro cuadrado. La presión arterial media promedio en estos pacientes despiertos fue de 89 (de 58 a 113) milímetros de mercurio, que dividido por los datos del índice cardíaco, dio un índice de resistencia vascular sistémica promedio de 32 (de 15 a 57) unidades.

El estado ácido base promedio en sangre arterial de los pacientes en estas condiciones (fig. 2), mostraba un pH de 7,40 (de 7,33 a 7,51), un pCO<sub>2</sub> de 35 (de 21 a 52) milímetros de mercurio y un déficit de bases buffer de 2,2 (de -8,0 a +5,5) miliequivalentes por litro de líquido extracelular. Simultáneamente el estado ácido base promedio en sangre venosa mixta demostraba un pH de 7,37 (de 7,31 a 7,48), un pCO<sub>2</sub> de 42 (de 22 a 50) milímetros de mercurio y un déficit de bases de 0,9 (de -9,0 a +5,5) miliequivalentes por litro de líquido extracelular.

### Valores durante la anestesia

Una vez obtenidas las muestras de control se induce la anestesia con tiobarbiturato de sodio oscilando la dosis entre 5 y 7 mg por kg de peso. Para la intubación se inyecta 1 mg por kg

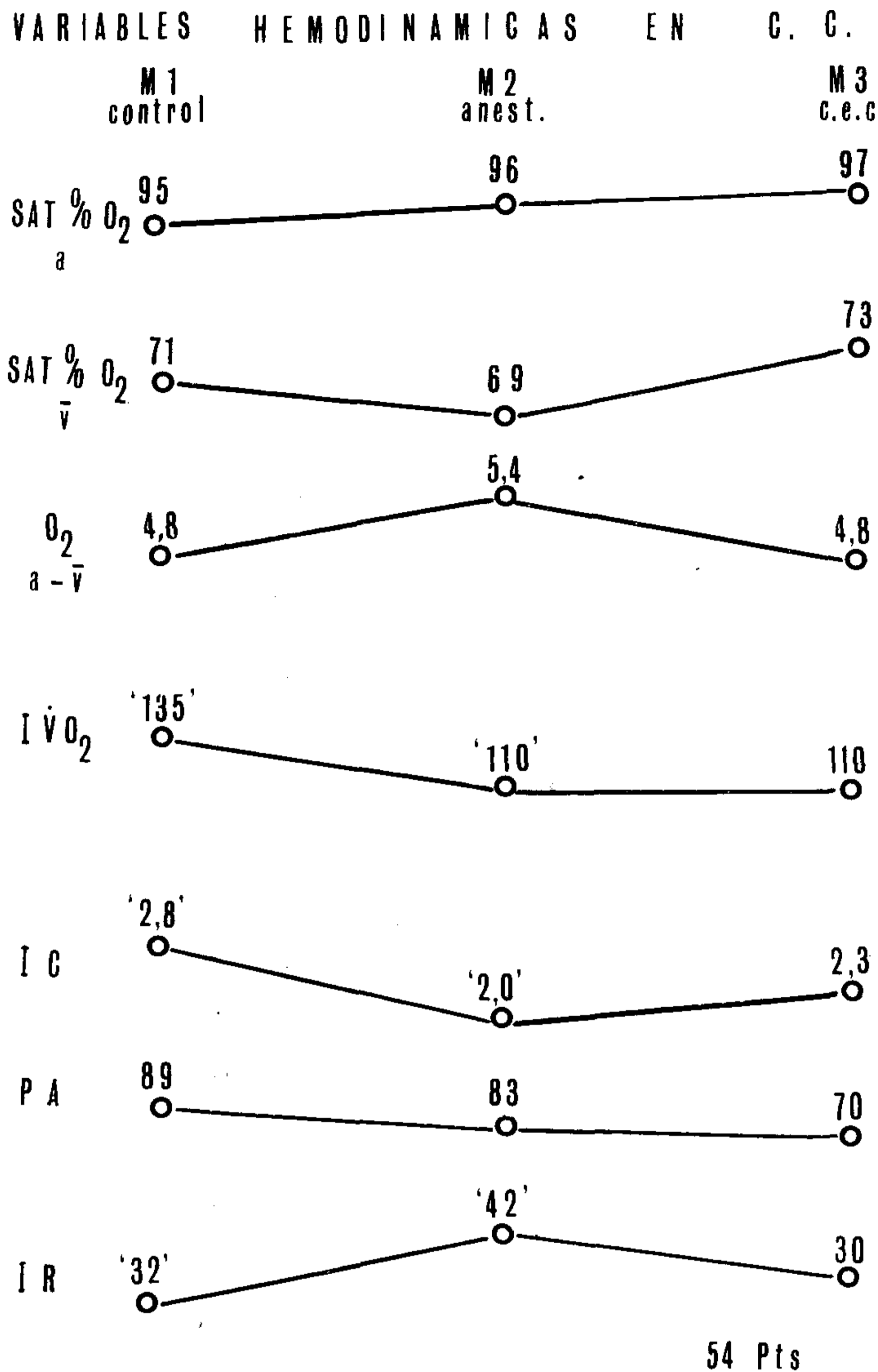


Figura 1.— Variables hemodinamias durante la cirugía cardíaca (valores promedios en 54 pacientes consecutivos). M1: Muestra

de Control; M2: Muestra durante la anestesia; M3: Muestra durante la circulación extracorpórea.

de peso de cloruro de succinilcolina y se coloca un tubo endotraqueal con manguito neumático.

El mantenimiento de la anestesia se realiza con una mezcla de gases constituida por 1.500 centímetros cúbicos de oxígeno por minuto y 2.500 centímetros cúbicos de protóxido de nitrógeno por minuto. A esta mezcla se agrega vapor de metoxiflurano, en concentraciones que oscilan entre 0,2 y 0,5 %. Se administra 80 mg de trietilioduro de gallamina intravenosos al comenzar la anestesia y se repiten dosis de 40 mg aproximadamente cada hora según la necesidad.

La máquina de anestesia consiste en un circuito circular con filtro de cal sodada de 1 kg, conectado con dos tubos corrugados a una válvula unidireccional colocada en el cabezal. En el tubo espiratorio se intercala un ventilómetro de Wright. El circuito está conectado a un fuelle mecánico Bird Mark 4, accionado por un respirador automático Bird Mark 8. Los gases que ingresan al circuito se miden en dos rotámetros de escala expandida. El metoxiflurano se vaporiza con vaporizador Pentec 2.

Al cabo de una hora y media a dos horas de cirugía se obtuvo la segun-

da muestra (M2) cuyos datos promedio pueden verse en la figura 1 y 2. La saturación arterial promedio de oxígeno fue de 96 (de 87 a 100) % y la saturación venosa promedio fue de 69 (de 44 a 90) %, dando una diferencia arterio venosa de oxígeno promedio de 5,4 (de 2,0 a 11,0) volúmenes por ciento.

El consumo de oxígeno promedio tomado para estos pacientes durante este período es el mismo que se obtuviera minutos después durante la circulación extracorpórea, o sea de 110 (de 50 a 190) centímetros cúbicos de oxígeno por minuto y por metro cuadrado. De los datos de la diferencia arterio venosa y el consumo de oxígeno

no mencionado puede deducirse que el índice cardíaco promedio en estas condiciones fue de 2,0 (de 0,7 a 5,0) litros por minuto y por metro cuadrado. La presión arterial media promedio era de 83 (de 60 a 126) milímetros de mercurio, que dividido por los datos del índice cardíaco mencionado, dan un índice de resistencia vascular sistémica promedio de 42 (de 13 a 120 unidades).

El estado ácido base promedio en sangre arterial de estos pacientes demostraba un pH de 7,40 (de 7,23 a 7,60), un  $pCO_2$  de 30 (de 16 a 51) milímetros de mercurio y un déficit de bases buffer de 4,7 (de -10,0 a +4,0) miliequivalentes por litro. Simultá-

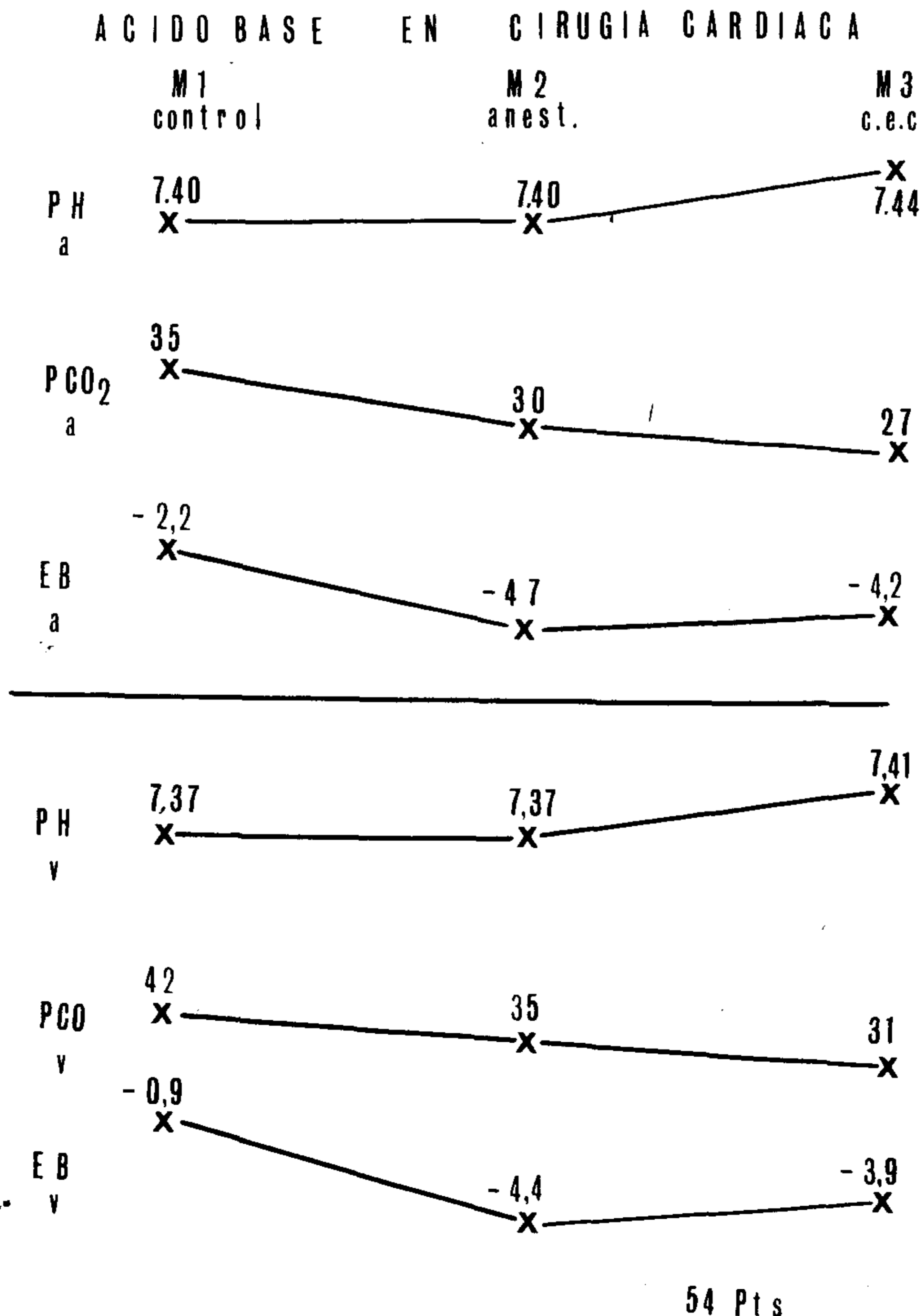


Figura 2. — Variables del estado ácido base durante la cirugía cardíaca. (Valores promedios en 54 pacientes consecutivos.) M1:

muestra de control; M2: muestra durante la anestesia; M3 muestra durante la circulación extracorpórea.

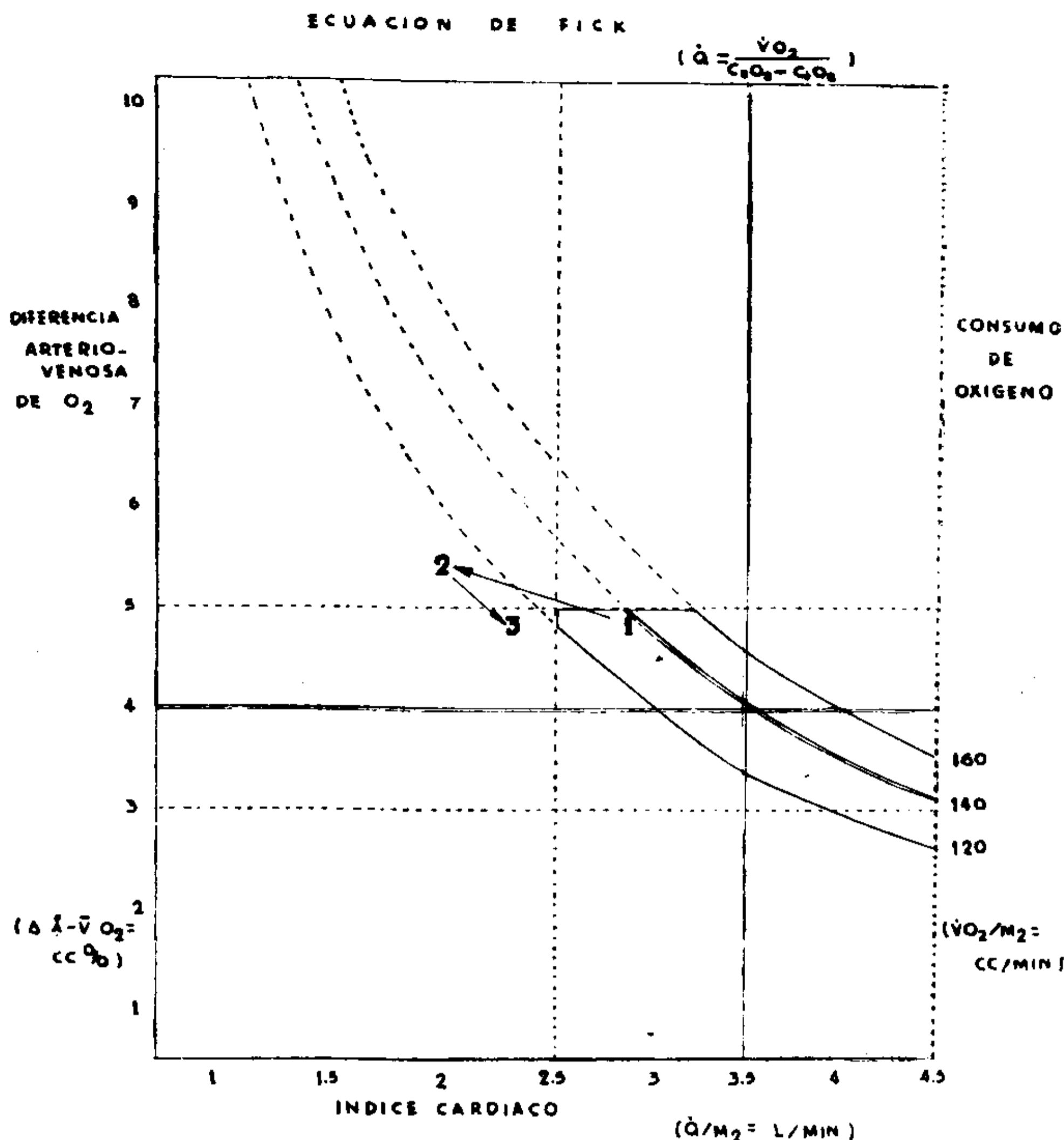


Figura 3. — Variaciones de la diferencia arteriovenosa de oxígeno, del índice cardíaco y del consumo de oxígeno durante la cirugía cardíaca. (Valores promedios de 54 pacientes consecutivos.) Representación gráfica de la ecuación de Fick. En la ordenada están representados los valores de la diferencia arteriovenosa de oxígeno en volúme-

nes %. En la abscisa están los valores del índice cardíaco en litro por minuto y por metro cuadrado de superficie corporal. En las coordenadas oblicuas están los valores del consumo de oxígeno en centímetros cúbicos por minuto y por metro cuadrado. 1: valores de control; 2: valores durante la anestesia; 3: valores durante la circulación extracorpórea.)

neamente el estado ácido base promedio en sangre venosa mixta demostraba un pH de 7,37 (de 7,26 a 7,49), un pCO<sub>2</sub> de 35 (de 18 a 58) milímetros de mercurio y un déficit de bases buffer de 4,4 (de -15,5 a +3,0) miliequivalentes por litro.

**Valores durante la circulación extracorpórea**

Una vez en condiciones de comenzar la cirugía intracardíaca se conecta al paciente con el corazón pulmón artificial, ya sea por dos tubos en ambas venas cavas colocados a través de un orificio único en la apéndice auricular derecha o por medio de un tubo en el tracto de salida del ventrículo derecho en el caso de las valvulopatías mitrales. La sangre venosa cae por gravedad directamente el pulmón artificial de discos corrugados de plástico. Allí se oxigena y pierde anhídrido carbónico al rotar los discos a razón de 120

revoluciones por minuto. Se ventila este oxigenador con un flujo de oxígeno correspondiente a 6 litros por minuto y por metro cuadrado del paciente.

Luego de arterializada se inyecta la sangre a 37° por medio de una bomba oclusiva tipo DeBakey a través de una cánula metálica colocada en la arteria femoral izquierda. Se mantiene un flujo arterial o índice cardíaco, bombeando 2,4 litros por minuto y por metro cuadrado en los niños y un flujo arterial standard de 4 litros por minuto en todos los pacientes adultos. El promedio para nuestra serie fue por lo tanto de 2,3 (de 1,4 a 2,8) litros por minuto y por metro cuadrado. (El valor mínimo usado de flujo arterial en condiciones normales fue de 2,0 litros por minuto y por metro cuadrado. En un paciente fue necesario disminuir el flujo a 1,4 litros por minuto y por metro cuadrado, debido a una obstrucción arterial de 250 mi-

límetros de mercurio de gradiente).

Los valores obtenidos al cabo de una hora a una hora y media de circulación extracorpórea y quince minutos antes de finalizar ésta, pueden verse en las figuras 1 y 2. La saturación arterial de oxígeno promedio obtenida en esos momentos fue de 97 (de 90 a 100) % y la saturación promedio de la sangre venosa fue de 73 (de 54 a 90) %. La diferencia arterio venosa de oxígeno promedio fue de 4,8 (de 2,0 a 8,0) volúmenes por ciento. El consumo de oxígeno promedio obtenido fue de 110 (de 50 a 190) centímetros cúbicos de oxígeno por minuto y por metro cuadrado. En estas circunstancias la presión arterial media promedio fue de 70 (de 45 a 120) milímetros de mercurio, que dividido por el índice cardíaco bombeado, da un índice de resistencia vascular sistémica de 30 (de 16 a 51 unidades).

El estado ácido base arterial demuestra un pH de 7,44 (de 7,25 a 7,57), un pCO<sub>2</sub> de 27 (de 10 a 42) milímetros de mercurio y un déficit de bases buffer de 4,2 (de -14,0 a +7,0) miliequivalentes por litro. Si-

multáneamente los valores promedio en sangre venosa fueron un pH de 7,41 (de 7,23 a 7,52) un pCO<sub>2</sub> de 32 (de 14 a 77) milímetros de mercurio y un déficit de bases buffer de 3,9 (de -13,7 a + 7,3) miliequivalentes por litro.

COMENTARIOS

Valores de control

Los pacientes llegan a la sala de operaciones con un mínimo aumento de la diferencia arterio-venosa de oxígeno (promedio aún dentro de límites normales), como puede verse en la figura 3. El organismo guarda un estrecho control de este parámetro de suficiencia circulatoria (4). Consecuentemente el gasto cardíaco promedio se encuentra en iguales condiciones o sea mínimamente disminuido aunque el promedio esté dentro de los valores aceptados como normales. La presión arterial se mantiene normal a expensas de un mínimo aumento de la resistencia periférica, siempre dentro de los límites normales (fig. 4).

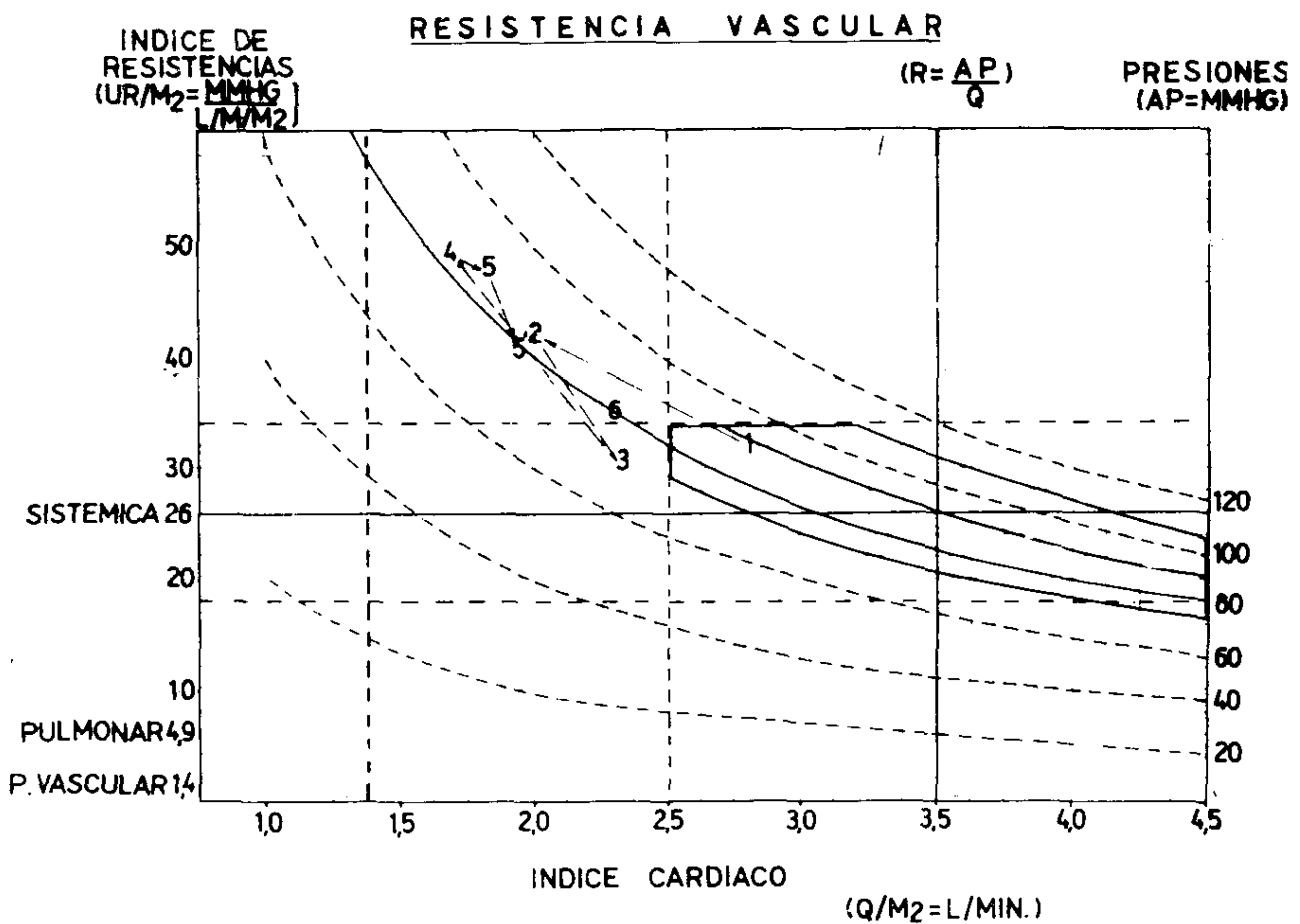
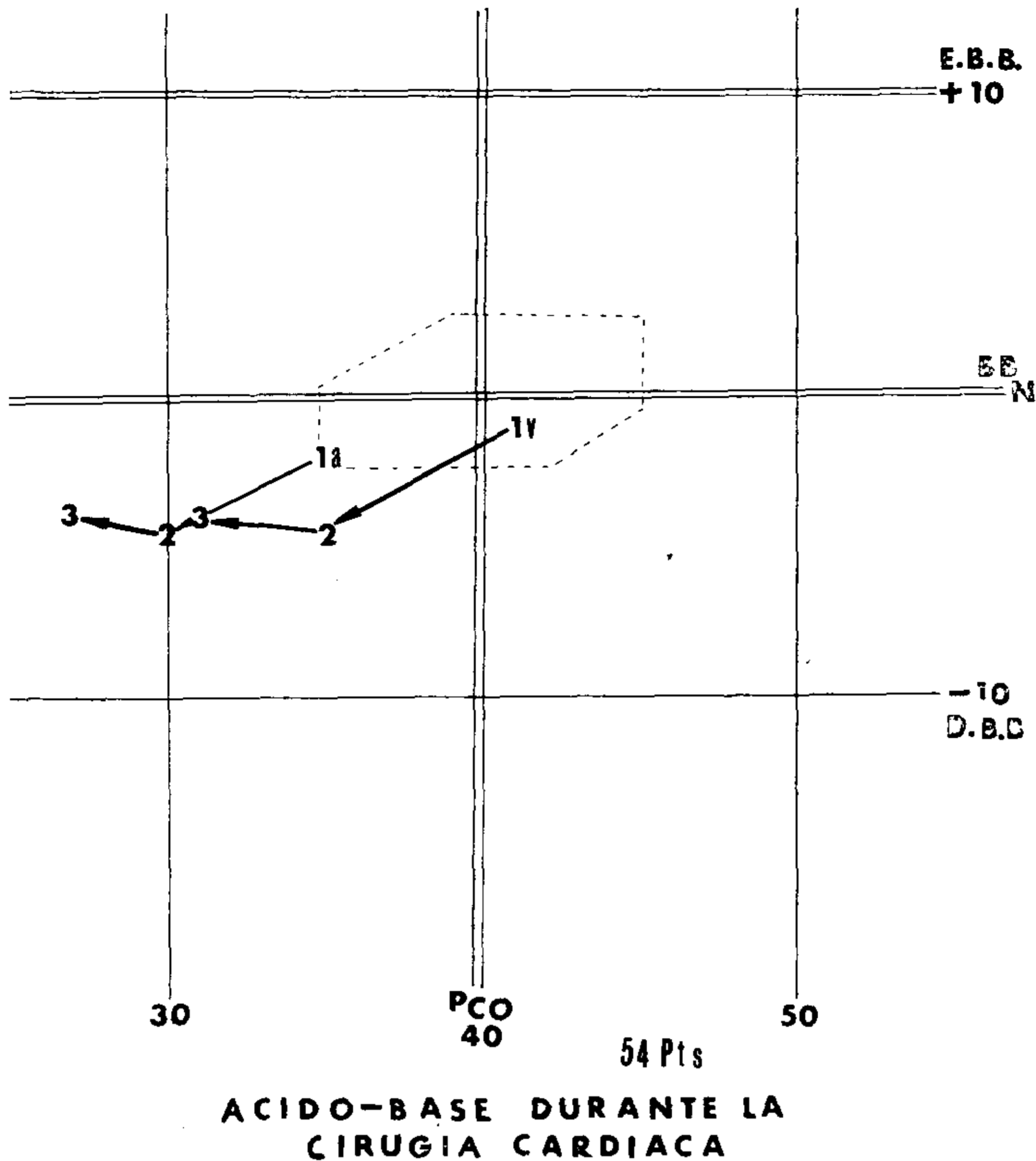


Figura 4. — Variaciones de la resistencia vascular sistémica, del índice cardíaco y de la presión arterial media durante la cirugía cardíaca. (Valores promedios de 54 pacientes consecutivos.) Representación gráfica de la ecuación de resistencia vascular. En la ordenada están los valores de resistencia vascular en unidades arbitrarias de milíme-

tros de mercurio divididas por litros por minuto y por metro cuadrado. En la abscisa están los valores del índice cardíaco en litros por minuto y por metro cuadrado. En las coordenadas oblicuas vemos los valores de la presión arterial media en milímetros de mercurio. (1: valores de control; 2: valores durante la anestesia; 3: valores durante la circulación extracorpórea.)



ACIDO-BASE DURANTE LA CIRUGIA CARDIACA

Figura 5. — Variaciones de las bases buffer, de la presión parcial de anhídrido carbónico y de la concentración de hidrogeniones durante la cirugía cardíaca. (Valores promedios de 54 pacientes consecutivos.) Representación gráfica de la ecuación de Henderson y Hasselbalch. En la ordenada están los valores de las bases buffer (BB). En la

abscisa están los valores de la presión parcial de anhídrido carbónico ( $P_{CO_2}$ ). Las coordenadas de la concentración de hidrogeniones han sido omitidas por simplificación. (1a y 1v: valores arteriales y venosos de control; 2a y 2v: valores durante la anestesia; 3a y 3v: valores durante la circulación extracorpórea.)

El estado ácido base es normal (figuras 5 y 6). En las presentes condiciones fue inducida la anestesia y comenzada la cirugía.

#### Valores durante la anestesia

Los gases respiratorios en sangre sufren escasas variaciones durante la anestesia, evidenciándose una elevación de la diferencia arteriovenosa de oxígeno de un 13 %, con respecto a los valores de control.

El índice cardíaco disminuye en un 29 % de promedio, bajo el efecto de la cirugía y la anestesia, con respecto al valor control del propio paciente. No obstante esta disminución marcada del gasto cardíaco, la presión arterial se mantiene aproximadamente igual a la del comienzo (disminución de un 7 %) a expensas de una vasoconstricción periférica demostrada

por el considerable aumento del 31 % del índice de resistencia vascular sistémica (figura 4).

Las determinaciones del estado ácido base demuestran algunas modificaciones con respecto al control (fig. 5). La presión parcial de anhídrido carbónico se mantiene baja por la hiperventilación producida por el respirador; de esta manera se mantiene un pH normal a pesar de que ha aumentado ligeramente el déficit de bases buffer en 2,5 miliequivalentes por litro, con respecto a los valores de control.

Este déficit se produce aproximadamente, en nuestra experiencia, a razón de 1 miliequivalente por litro y por hora de anestesia y cirugía. Como puede verse el déficit de bases buffer que presentan el grupo de niños tomado aisladamente en este período es aproximadamente el doble

que el que presentaron los pacientes adultos en circunstancias similares. Simultáneamente los niños presentan valores de resistencia vascular sistémica menores (28 en los niños y 54 unidades de promedio en los adultos) y consumo de oxígeno mayores (118 de promedio en los niños y 104 centímetros cúbicos por minuto de oxígeno por metro cuadrado de superficie consumido por los pacientes adultos tomados aisladamente). En estas condiciones el paciente fue conectado al corazón-pulmón artificial para comenzar la circulación extracorpórea y la intervención intracardiaca.

### Valores durante la circulación extracorpórea

En circunstancias en que la circulación se mantiene artificialmente con el corazón-pulmón artificial, se logra mantener una situación fisiológica que a pesar de las serias alteraciones inducidas en la mecánica circulatoria y respiratoria, los valores distan poco de la normalidad (5). Más aún algu-

nos valores retornan a límites normales.

La saturación arterial y venosa de oxígeno fueron normales y la diferencia arterio-venosa promedio aumentada durante la anestesia vuelve a límites normales. El consumo de oxígeno promedio fue del 18 % menor durante la circulación extracorpórea que el calculado para estos pacientes en condiciones basales (fig. 7). Este efecto se interpreta como debido a la depresión metabólica inducida por los anestésicos y la falta de trabajo muscular respiratorio y cardíaco (6). El gasto cardíaco artificial se mantuvo en un 18 % menor que el valor promedio de los pacientes antes de comenzar la cirugía, y un 34 % menor que el promedio aceptado como normal. Este flujo arterial mantenido arbitrariamente bajo por razones técnicas, es inyectado en forma retrógrada con respecto a la circulación normal y sin onda pulsátil. La presión arterial en estos momentos fue baja. El cálculo de resistencia periférica da cifras normales y menores que las de control.

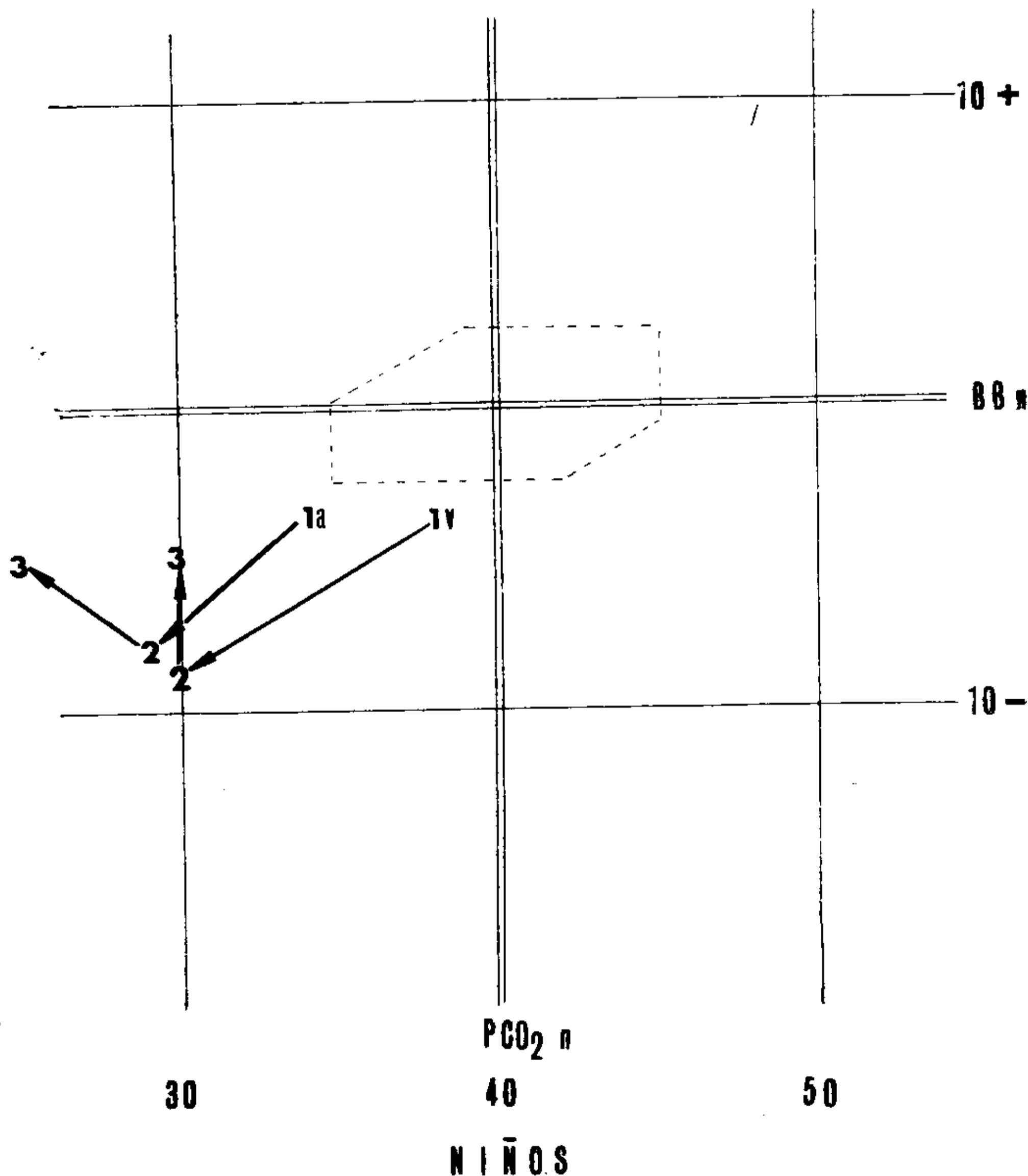


Figura 6. — Variaciones del estado ácido base en niños, durante la cirugía cardíaca. (Valores promedios en 10 niños). Representación gráfica similar a la figura 5.



La discreta acidosis metabólica previa a este período, muestra una estabilización y pequeña mejoría promedio, durante la circulación extracorpórea. El  $p\text{CO}_2$  está bajo por la hiperventilación inducida en el pulmón artificial. Esto produce una alcalosis respiratoria que en este caso sobrecompensa la mínima acidosis metabólica subyacente.

En estas condiciones y con la patología intracardíaca corregida los pacientes son puestos nuevamente en condiciones de mantener su propia circulación, respiración y medio interno, comenzando así el crítico período de la recuperación post-operatoria.

Esta labilidad especial de los niños no se asocia con mayor vasoconstricción relativa que los adultos, al contrario, su índice de resistencia periférica es menor. En estas situaciones los niños tienen un mayor consumo de oxígeno relativo al de los adultos, pudiendo ser esta mayor actividad metabólica la causa de las pronunciadas alteraciones del medio interno.

Las alteraciones mencionadas durante la cirugía cardíaca guardan estrecha relación con los estados de shock cardiogénico (7), y por lo tanto las alteraciones estudiadas tienen interés en la práctica cardiológica actual.

#### CONSUMO DE OXIGENO DURANTE LA CIRUGIA CARDIACA

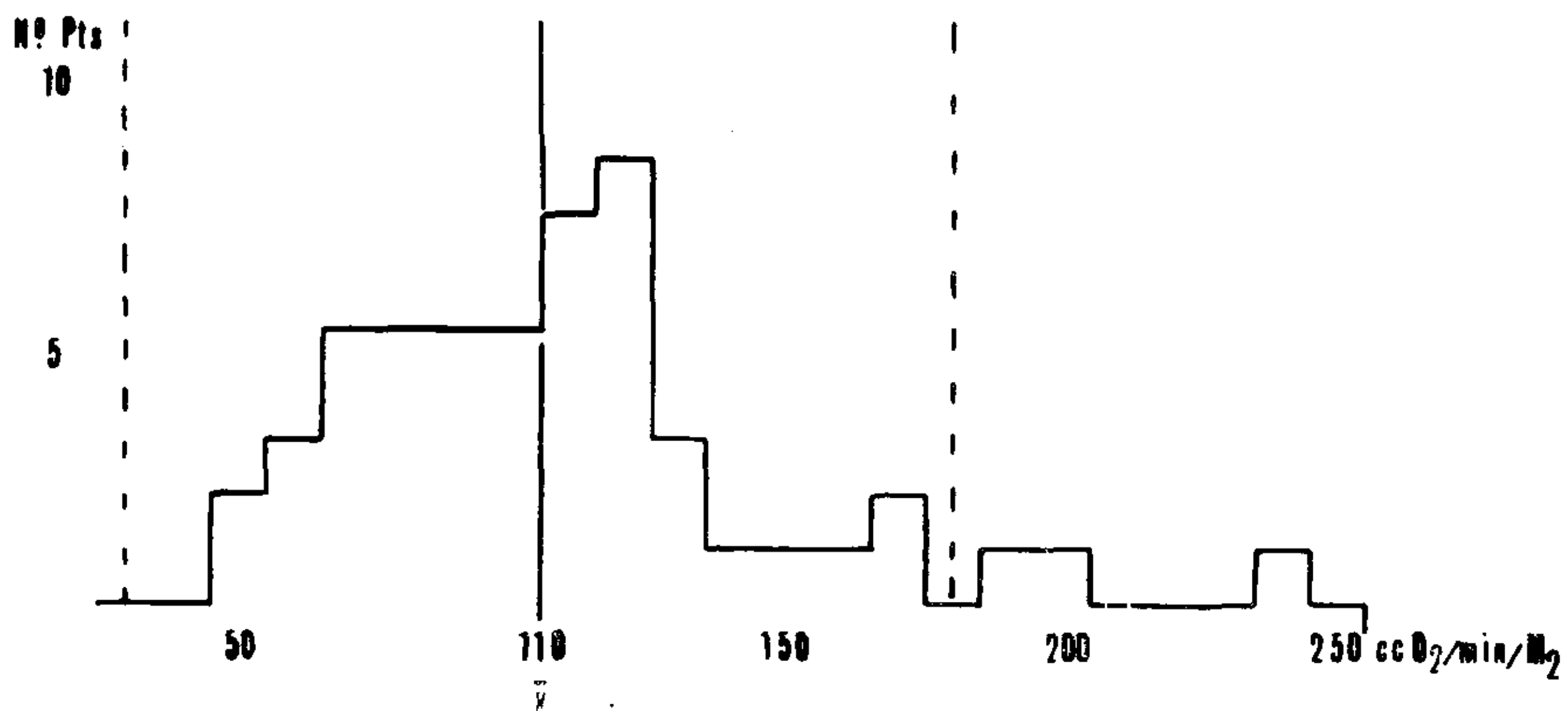


Figura 7. — Curva de distribución de los valores del consumo de oxígeno durante la circulación extracorpórea (Valores en 54 pacientes consecutivos).

#### CONCLUSIONES

Como puede verse la circulación extracorpórea, y en mayor grado la cirugía y la anestesia, producen efectos deleterios sobre el gasto cardíaco, con aumento de la resistencia periférica y acidosis metabólica al tiempo que disminuye el consumo de oxígeno.

Consecuentemente se desprende de lo observado que se debe emplear durante estas intervenciones todas las medidas profilácticas y terapéuticas que tiendan a mantener o elevar el gasto cardíaco, y evitar la vasoconstricción arteriolar.

Es de notar que se han obtenido datos objetivos, de una evidencia clínica ya conocida de que los niños producen acidosis metabólica con mayor facilidad que los adultos en circunstancias similares (fig. 6).

#### RESUMEN

Se analizan los datos hemodinámicos, respiratorios y del medio interno de 54 pacientes consecutivos sometidos a la cirugía cardíaca correctora con circulación extracorpórea. Se ha determinado que los pacientes llegan a la sala de operaciones con un gasto cardíaco ligeramente disminuido, y un estado ácido base normal. Al cabo de una hora y media de cirugía y anestesia el gesto cardíaco disminuye, aún más y la presión arterial se mantiene a expensas de un aumento de la resistencia periférica. En estas condiciones se nota el desarrollo de una mínima acidosis metabólica. Durante la circulación extracorpórea paradójicamente los valores tienden a retornar hacia la normalidad. La resistencia periférica se normaliza a pesar de que el gasto cardíaco no es ideal.

Simultáneamente el estado ácido base se mantiene con una alcalosis respiratoria debido a la hiperventilación, a pesar de la leve acidosis metabólica subyacente.

Se describen las variaciones metabólicas que presentan los niños, que son más intensas que las de los adultos. Al analizar las patentes fisiopatológicas comunes a este tipo de cirugía se pone en evidencia la terapéutica a seguir.

### SUMMARY

An analysis is made of the hemodynamic, respiratory and acid base changes in 54 consecutive patients that had corrective cardiac surgery with extracorporeal circulation.

The average of the data show that the patients arrived to the operating room with a slightly diminished cardiac output and a normal acid base status. After an hour and a half of surgery under general anesthesia the cardiac output is further diminished. A normal arterial pressure is maintained at the expense of an increased peripheral resistance. Under these conditions a minimal metabolic acidosis develops. During extracorporeal circulation, paradoxically the values tend towards normality. The peripheral resistance renders normal values in spite of an artificially maintained low cardiac output. Simultaneously the acid base status is one of moderate

metabolic acidosis with respiratory alkalosis due to the artificial hyperventilation of the heart lung apparatus. The acid base alterations in children are described, which are more marked than in the adults under identical conditions.

From an analysis of the physiopathologic patterns common to these patients, the therapeutic management becomes evident.

### BIBLIOGRAFIA

1. Siggaard-Andersen, O.: The acid-base status of the blood. The Williams and Wilkins Co., Balt. 1965.
2. Boothby, Berkson y Dunn: Nomogram for the determination of the basal metabolic rate. American J. of Physiol. 116; 468-494, July 1936.
3. Barratt-Boyes, B. G.; Wood, E.: Cardiac out put and related measurements and pressure values in the right heart and associated vessels, together with an analysis of the hemodynamic response to the inhalation of high oxygen mixtures in healthy subjects. J. Lab. Clin. Med. 51 (1); 72, 1958.
4. Reeves, J. T. et Al.: Cardiac output in normal resting man. J. Appl. Physiol. 16: 276, 1961.
5. Albertal, J. et al.: The effect of the composition of the ventilating gas mixture on acid-base pathways using the disc oxygenator. Am. J. Surg. 102(3): 444, 1961.
6. Clowes, G. H. A.: Extracorporeal maintenance of circulation and respiration. Physiol. Rev. r:826, 1960.
7. Dietzman, R. H. et al.: Low out put syndrome. J. Thorac Cardiac Surg. 57(1): 138, 1969.