

UNIVERSIDAD MOTOLINIA

U.N.A.M.

DETERMINACION DE LAS VARIACIONES DEL EQUILIBRIO  
ACIDO BASICO EN CIRUGIA CARDIACA



QUIMICA

TESIS

Que para obtener el título de

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

PRESENTA

MARIA GUADALUPE NATALIA MUÑOZ ARELLANO



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO

PRESIDENTE.- PROF. JOSE SUAREZ ISLAS.  
VOCAL.- PROF. MARIA GUADALUPE CAMARENA T.  
SECRETARIO.- PROF. JAIME MONTIEL ROMERO.  
1er. SUPLENTE.- PROF. GUADALUPE VELEZ.  
2do. SUPLENTE.- PROF. ROSAURA LUGO ARCOS.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

HOSPITAL GENERAL DEL C.M.N. DEL I.N.S.S.

SUSTENTANTE:

MARIA GUADALUPE NATALIA MUÑOZ ARELLANO.

ASESOR DE TEMA:

DR. MARIANO ALVAREZ DEL CASTILLO.

DIRECTORA DE LA ESCUELA DE QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE TOLUCA:

Q.F.B. MARIA GUADALUPE CAMARENA T.

Este trabajo se llevó a cabo en el Departamento de Hemodinamia del Hospital General del Centro Médico Nacional del I.M.S.S. bajo la dirección del Sr. Dr. Mariano Alvarez del Castillo.

Agradezco las facilidades otorgadas para la elaboración de este trabajo a la dirección de este Hospital, así como al Departamento de Hemodinamia.

A MIS PADRES

A MIS TIOS

A MIS HERMANOS

## CAPITULOS:

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- MATERIAL Y METODO
- 3.- RESULTADOS
- 4.- DISCUSION
- 5.- CONCLUSIONES
- 6.- RESUMEN
- 7.- BIBLIOGRAFIA

## I N T R O D U C C I O N

La armonía funcional que el equilibrio ácido básico representa pone en juego la conjunción dinámica de fluidos y solutos, células activas y sustancias con poder adaptativo variable de acuerdo con sus propiedades físico químicas. Es un clima variable pero adecuado al organismo viviente de que se trate.

El régimen armónico subyacente es mantenido por una especie de inercia bioquímica, contiene la energía necesaria para mantener la vida a distintos niveles y ritmos y la mecánica de control para no salirse de ciertos confines que de ser traspuestos no permiten el retorno a sus primitivos límites.

Esta es la razón por la que tanto el clínico como el cirujano se empeñan en devolver al paciente el equilibrio perdido o pretenden conservarlo profilácticamente cuando amenaza con desaparecer.

Comenzó a conocerse con los experimentos de Lavoisier y con la extracción al vacío del  $\text{CO}_2$  por BÉLLÉguer. Se empezó a dominar cuando se analizaron tanto muestras de sangre por lo que a los gases toca y se completó el conocimiento sobre su papel funcional cuando se analizaron los gases inhalados y exhalados por los seres vivientes y se aprendió a llevar una constancia de los mismos. La certeza de la actividad química y físicoquímica y el conocimiento del ión y el radical y sus respectivas cargas eléctricas medidas explicaron hipótesis y eligieron leyes y en fin, la objetivización sencilla y manipulable de las energías y sus valores dieron el conocimiento del estado funcional rápida y oportunamente para la modificación inmediata, cuando es posible, de lo que hasta hace poco se llamaba homeostasis. Util para la clínica médica como para la quirúrgica, muchas veces no para solamente en diagnóstico sino la magnitud del daño funcional, el equilibrio ácido básico ha de ser conocido cuando se recupera, para cesar la acción terapéutica y el desequilibrio ha de ser reconocido para adoptar la conducta terapéutica adecuada y graduar su intensidad y duración.

El equilibrio ácido básico es un juego de fuerzas eléctricas -- actividad que oscilan dentro de ciertos límites que deben ser conservados--

tanto en reposo como en actividad y cuyo movimiento de válvén se vale de los elementos siguientes:

a) Un sistema casi instantáneo llamado buffer o amortiguador que automáticamente evita el exceso de cualquiera de los elementos bloqueándose se recíprocamente.

b) De la ventilación pulmonar cuando el desequilibrio es de cierta intensidad y duración. Este recurso puede restablecer la armonía en lapsos de uno a tres minutos y cabe recordar que los trastornos de la ventilación pueden ser también causa de desequilibrio transitorio si es fugaz y definitivo si no es reconocido y medido.

c) De la ventilación renal, el más lento de los recursos, pero poderoso y definitivo en el reajuste de la concentración del ión hidrógeno.

En el estado normal el pH de los líquidos extracelulares no suele variar, entre 7.35 y 7.45 y se mantiene en 7.40 poco más o menos. Las reacciones metabólicas intracelulares originan constantemente grandes cantidades de iones hidrógeno que llegan a estos líquidos, así pues para conservar este grado de constancia es necesario que se eliminen los iones hidrógeno de estos líquidos. Por lo tanto, los mecanismos de regulación del estado de neutralidad se refieren a mantener un estado de equilibrio entre la producción y la introducción (y la eliminación de iones hidrógeno).

Casi todos los datos exactos a cerca de los mecanismos de regulación de la concentración de iones hidrógeno en los líquidos corporales provienen de estudios hematológicos. Debido a que casi todos los factores importantes que participan difunden fácilmente a través de la pared capilar, cabe considerar que los aspectos fundamentales de la estructura del plasma sanguíneo manifiestan con exactitud el estado de los demás líquidos extracelulares importantes, en el sentido mencionado.

Según los conceptos modernos (Bronsted), un ácido se define como una sustancia (ión, molécula, partícula) que en solución ceden iones hidrógeno (protones) y una base, es todo lo que se combina con iones hidrógeno.

El no aplicar este concepto de ácidos y bases a las consideraciones clínicas del equilibrio ácido básico, ha traído gran confusión principalmente en la nomenclatura ya que desde el punto de vista clínico suele llamarse bases a los cationes de líquidos corporales (Na) y ácidos a los aniones (Cl). La suma de los cationes suele llamarse base total. Los



clínicos llaman reserva alcalina a la concentración del bicarbonato en plasma.

El amortiguador más importante del ácido carbónico es la hemoglobina. Además del bicarbonato los defensores del cuerpo contra la acidosis incluyen aniones, fosfatos y proteínas. La base total y la reserva alcalina o base amortiguadora del plasma pueden calcularse aproximadamente iguales a la suma de las concentraciones de los cationes menos la concentración de cloro. Su equivalencia catiónica debe restarse de la suma de los cationes si éste último va a usarse para calcular la base amortiguadora o reserva alcalina efectiva. Durante las oxidaciones celulares el ácido carbónico es el principal compuesto formado.

Es necesario que los iones hidrógeno y los aniones producidos por éstos ácidos sean excretados del organismo para que no se afecte perjudicialmente el pH esto se alcanza por medio de los mecanismos de regulación, del balance o equilibrio ácido básico que pueden bosquejarse de la siguiente manera:

- 1.- **Difusión:** los ácidos dentro del organismo se distribuyen en todos los volúmenes del líquido extracelular.
- 2.- **Sistemas amortiguadores** que limitan la modificación del pH de los líquidos corporales.
- 3.- **Respiración:** que consiste en la regulación de la excreción de  $\text{CO}_2$  y en consecuencia de la concentración de ácido carbónico en los líquidos extracelulares.
- 4.- **Mecanismo renal** o excreción definitiva del exceso ácido o base.

#### SISTEMAS AMORTIGUADORES FISIOLÓGICOS:

La facultad que tienen los líquidos extracelulares de transportar ácido desde donde se forman (células) hasta donde se excretan (riñón, pulmón); sin modificar el pH depende principalmente de los sistemas amortiguadores que poseen. Cada sistema amortiguador consiste en una mezcla de un ácido débil HA y de su sal BA.

Solo por razones de necesidad descriptiva se anuncia por separado los sistemas tampón, es fácil comprender que no actúan por separado, también exhiben una sinergia que no es fácil disociar y no habrá proceso que obstruyere uno de los sistemas que no acabe repercutiendo en los otros --

casi simultáneamente y esto es debido a que los fluidos son comunes a todos los sistemas por el principio que se ha denominado isohídrico que se expresa en la siguiente fórmula:

$$H^+ = \frac{K1 \times HA1}{A1^-} = \frac{K2 \times HA2}{A2^-} = \frac{K3 \times HA3}{A3^-}$$

K1, K2, K3, son las constantes de disociación de los tres ácidos débiles disociados respectivamente.

HA 1, 2, 3, y A-1, 2, 3, son las concentraciones de los iones negativos libres de los ácidos que en realidad constituyen la fórmula conjunta de funciones variables recíprocas.

Los sistemas también en realidad se amortiguan o moderan unos con otros. Entre los factores que actúan en la sangre regulando el pH y que pueden investigarse más o menos fácilmente están los siguientes:

1.- Base total: es la suma de las concentraciones de todos los cationes en mEq/lt.

2.- Concentración de ácido carbónico: es la concentración del mismo en milimoles/lt que está en equilibrio con la  $pCO_2$

3.-  $pCO_2$  es la tensión que ejerce sobre la sangre el  $CO_2$  ( $pCO_2$  en mm de Hg  $\times 0.03$  = al ácido carbónico en milimoles por litro).

4.- Concentración de  $CO_2$ : es la concentración de milimoles por litros del  $CO_2$  total en disolución.

5.- Concentración de  $HCO_3^-$ : suele calcularse como la diferencia entre la concentración de  $CO_2$  y  $H_2CO_3$ .

6.- Capacidad de  $CO_2$  o poder de combinación del  $CO_2$  es la concentración del  $HCO_3^-$  de la sangre o el plasma saturados con 5.5% de  $CO_2$  a 25°C.

7.- pH es el logaritmo de la recíproca de la concentración de iones  $H^+$ . pH actual se refiere al pH de una muestra de sangre anaeróbicamente obtenida.

8.- Base amortiguadora es la suma de las concentraciones de aniones amortiguadores.

9.-  $pCO_2$  actual: es la presión parcial de  $CO_2$  en una muestra de sangre anaeróbicamente obtenida. La concentración de ácido carbónico en el plasma es determinada como 0.03 por la  $pCO_2$  en mEq/lit.

10.- Concentración de bicarbonato actual: Es la concentración plasmática de bicarbonato en una muestra anaeróbicamente obtenida en mEq/lt.

11.- CO<sub>2</sub> total de plasma: Es el CO<sub>2</sub> determinado a partir del ácido carbónico del bicarbonato en plasma de una muestra sanguínea anaeróbicamente obtenida en mmHg. . .

12.- Poderes de combinación del CO<sub>2</sub> del plasma: Es el CO<sub>2</sub> plasmático total separado de la presión efectiva del CO<sub>2</sub> de las células y equilibrado con CO<sub>2</sub> a una presión de 40 mmHg<sup>2</sup> en mEq/lt.

13.- Bicarbonato catamático: es la concentración plasmática de Bicarbonato en mEq/lt de sangre equilibrada a una pCO<sub>2</sub> de 40 mm de Hg y completa saturación de la hemoglobina con oxígeno.

14.- Base Buffer: Es la suma de los aniones buffer, principalmente de bicarbonato y proteínato. La base buffer de la sangre total se refiere a sangre totalmente oxigenada y su valores en mEq/lt. La base Buffer plasmática es valores en mEq/lt de base buffer en plasma sin especificar que se refiere a sangre total.

15.- Base Buffer normal: Es la base buffer de la sangre con pH de 7.40 a una pCO<sub>2</sub> de 40 mm de Hg. Varía con la concentración de hemoglobina como sigue:

BBN = 40.8 + 0.16 x la concentración de hemoglobina en gramos por cada 100 ml (se dá en valores de mEq/lt).

16.- Exceso de base: Se dice que exceso de base es igual a cero para sangre a un pH de 7.40 y a una pCO<sub>2</sub> de 40 mm de Hg. Los valores positivos indican un exceso de base (Base Excesiva) indican un déficit de base o exceso de acidez fija. Los valores para exceso de base en total de sangre son dados en mEq/lt de sangre total prefiérendose a sangre total oxigenada. El exceso de base del plasma se expresa también en mEq/lt de plasma. Sin especificación expresa Exceso base (E.B.) indicará que se refiere a sangre total. Se relaciona con la base buffer como sigue:

$$EB = BB - BBN$$

En este estudio de equilibrio ácido básico no se hablará de electrolitos.

El objeto del presente trabajo es la determinación de las variaciones correlativas del pH, pCO<sub>2</sub>, EB, BB, B2, BA, CO<sub>2</sub> total como método de control del equilibrio ácido básico en enfermos operados de corazón con --

circulación extracorpórea, en los pacientes del servicio de Cardiología del Hospital General del Centro Médico Nacional.

#### MATERIALES Y MÉTODO.

Se determinaron valores de pH,  $pCO_2$ , exceso de base, base buffer, bicarbonato estándar, bicarbonato actual y  $CO_2$  total en 50 pacientes sometidos a circulación extracorpórea en el servicio de Cirugía de Corazón del Hospital General del Centro Médico Nacional.

En estos 50 pacientes se tomaron muestras en distintos momentos:

- 1.- Paciente despierto en el preoperatorio inmediato.
- 2.- Con el paciente anestesiado, al iniciar la operación la segunda muestra.
- 3.- Inmediatamente antes de iniciar la circulación extracorpórea.
- 4.- Al comenzar circulación extracorpórea.
- 5.- Cada 10 minutos durante la circulación extracorpórea.
- 6.- Al terminar circulación extracorpórea.
- 7.- Dos muestras con diferencia de una hora después de haber terminado circulación extracorpórea.
- 8.- Al día siguiente en la sala de recuperación una muestra (18 a 20 horas después de la operación).

Fueron operados todos usando dos tipos de bombas: la Zudhi y la Kay Cross, de las cuales fueron de Zudhi 23 y 27 de Kay-Cross.

Las cardiopatías corregidas con el método de Zudhi fueron:

Comunicación interauricular	3
Prótesis mitral	12
Plastia mitral	2
Comisurotómia mitral y plastia - tricuspídea	2
Prótesis mitral y plastia tricuspídea	1
Tumor canceroso de tráquea	1
Aneurisma aórtico	1
Plastia mitral y tricuspídea	1

Los operados con bomba de Kay Cross fueron los siguientes:

Prótesis aórtica	6
Prótesis mitro aórtica	9
Prótesis aórtica y comisurotomía mitral	5
Triple prótesis	3
Prótesis aórtica, comisurotomía mitral y plastia tricuspídea	1
Prótesis aórtica y plastia mitral	1
Comisurotomía mitroaórtica y plag tia tricuspídea	1
Resección de diafragma subaórtico	1

Las características de las bombas son las siguientes:

	ZUDHI	KAY-CROSS
Hemodilución y flujos	bajos	altos
Hemoliza	menos	mas
Escape de ácido carbónico	mayor	menor
Tipo de oxigenador	burbujas	discos
Sueros diluentes	Ringer o glucosa	Glucosa
Cantidad de bicarbonato	100 por m <sup>2</sup>	110 por m <sup>2</sup>
Se perfunde con	30 ml. de sangre por Kg y por min.	2000 ml. de san gre por m <sup>2</sup> de - S.C.

El método empleado para las determinaciones mencionadas fué descrito por Astrup en 1958 y se basa en lo siguiente:

Entre todos los ácidos y bases el ácido carbónico se encuentra en una situación especial por su gran producción endógena y por que su concentración está regulada por la respiración. Así pues, las alteraciones del equilibrio ácido básico se pueden etiquetar como respiratorias o no, respiratorias y metabólicas. Sabemos que una alteración primaria del metabolismo ácido básico, compensa hasta cierto punto, de tal forma que una acidosis respiratoria se compensa por mecanismo renal o viceversa. Si el pH tiende a bajar por la acumulación de un ácido no volátil, para compensar este fenómeno habrá hiperventilación tendiendo a disminuir la  $pCO_2$  arterial

(respiración de Kussmaul). Atendiendo a esto la condición clínica se puede determinar como no compensada, y compensada (pH no normal) y completamente compensada (pH normal).

### Cifras importantes para el diagnóstico.

1) El pH de la sangre arterial: depende de la relación de los componentes respiratorios y no respiratorios, del metabolismo ácido básico. Refleja por lo tanto la combinación de los trastornos respiratorios.

2) Tensión de  $\text{CO}_2$  ( $\text{pCO}_2$ ) arterial: cualquier desviación indica un trastorno en el metabolismo ácido básico respiratorio, ya sea primario o compensador.

3) Cualquier desviación del contenido normal de base en la sangre es medida de disturbio en el metabolismo ácido básico no respiratorio, ya sea primario o compensador.

4) El contenido de base deberá expresarse como bicarbonato estandar o como exceso de base (Déficit de base)

Bicarbonato estandar: Concentración de bicarbonato en el plasma - cuando la sangre total ha sido equilibrada con  $\text{CO}_2$  a una  $\text{pCO}_2$  de 40 mm de Hg. a 38°C estando la hemoglobina completamente saturada de oxígeno.

Exceso de base o déficit de base: Expresa la cantidad de una base fuerte o ácido agregado por litro de sangre cuando el valor normal ha sido fijado arbitrariamente en cero.

Cero + corresponde a la cantidad normal medida de bicarbonato estandar (22.9 mEq/l).

Cuando usamos exclusivamente el término exceso de base (EB) los valores positivos expresan el exceso de base, mientras que los negativos el déficit de base (exceso ácido).

Los valores normales son en el 95% de estos casos:

pH arterial 7.35 a 7.42

Bicarbonato estandar 21.3 a 24.8 mEq/l.

$\text{pCO}_2$  arterial 34 a 45 mm de Hg

Exceso de ba - 3.2 a + 2.3 mEq/l

Comentarios acerca del bicarbonato estandar y exceso de base.

La expresión "bicarbonato estándar" significa que este bicarbonato va a ser medido en un estándar para expresar la parte no respiratoria del metabolismo ácido básico.

Así pues, estas condiciones se logran teniendo una  $pCO_2$  fija y una oxigenación fija de la hemoglobina, de tal forma que la influencia de la respiración en el contenido básico de la sangre, puede ser completamente eliminado.

El autor saturó la hemoglobina completamente oxigenada y con un  $pCO_2$  de 40 mm de Hg a 38°C.

Si llenamos estas condiciones y el pH sanguíneo es medido por la ecuación de Henderson Hasselbalch nos dará el valor del bicarbonato actual.

$$pH = 6.10 + \log \frac{HCO_3}{pCO_2 \times 0.03}$$

Sin embargo el valor del bicarbonato estándar tiene como otros valores de bicarbonato la desventaja de que no muestra exactamente la cantidad en mEq/l de sangre, del ácido o base fijados causante del cambio en el contenido básico de la sangre examinada.

La razón de esto, es que el sistema dióxido de carbono bicarbonato solo forma aproximadamente el 75% de la acción buffer de la sangre entre los ácidos y bases fijas, cuando la  $pCO_2$  se mantiene constante. Así pues esta cifra puede ser corregida, esto se logra aproximadamente multiplicando por 1.2 la cantidad obtenida.

Una corrección exacta requiere el conocimiento exacto de la capacidad buffer de la sangre. La ventaja de usar cantidades que dan directamente el número de los ácidos o bases fijados por litro de sangre es evidente.

Aquí el uso del cambio de la base buffer y el exceso de base es útil.

Base buffer: Incluye otros aniones buffer además del bicarbonato especialmente iones de hemoglobina. Por esto es independiente la  $pCO_2$  y un cambio de base buffer en mEq/l, expresa directamente la cantidad de ácido o base causante del cambio.

Podemos decir también que representa la suma de diferentes capacidades buffer.

En cuanto a las cantidades de exceso de base estas nos darán directamente en mEq/l de sangre la cantidad de ácidos o bases fijos.

	No se agrega ácido ni base	10 mEq/l ácido fuerte x lt. de sangre.	10 mEq/l de base fuerte x lt. de sangre
Base buffer mEq/l. de sangre.	46.2	36.2	56.2
Exceso de base mEq/l. de sangre.	0	-10	+ 10
Bicarbonato estándar mEq/l de plasma.	22.9	15.9	30.7

El tratamiento de los disturbios ácido básicos desde el punto de vista cualitativo.-

1.- Trastornos respiratorios.-

Cambios de la ventilación alveolar debidos a trastornos respiratorios, estan caracterizados cualitativamente por la  $pCO_2$  de la sangre arterial, ya que en general podemos asumir que es igual a la  $pCO_2$  de la sangre alveolar.

La cantidad de  $CO_2$  eliminado en la respiración en la unidad de tiempo es constante en un individuo, el producto de la ventilación alveolar (A) y la  $pCO_2$  de la sangre es una constante (K).

$$A \times pCO_2 = K$$

Así pues, si la ventilación alveolar disminuye la  $pCO_2$  aumenta y viceversa.

2.- Trastornos no respiratorios.-

El problema es más complejo y el movimiento total de exceso de ácido o exceso de base en el organismo puede ser de importancia clínica. En realidad para un tratamiento adecuado hay que conocer la distribución de ácido o base en los diferentes compartimientos del organismo.



Sin embargo, las siguientes aproximaciones son de gran ayuda.

El déficit o exceso de base en el espacio extracelular puede ser  $\Delta$  estimado en mEq/l. multiplicando el valor positivo o negativo del exceso de base de la sangre por 0.3 por peso del paciente en Kg. (el factor 0.3 fue encontrado experimentalmente por Nallengaord y Astrup).

Peso  $\times$  valor de exceso de base  $\times$  mEq/l  $\times$  0.3 = Deficit o exceso de base en el espacio extracelular en mEq/lt.

Esta cifra (el resultado) corresponde a la cantidad de bicarbonato de sodio o cloruro de amonio respectivamente para neutralizar el disturbio respiratorio en el espacio extracelular.

Para el total del cuerpo el factor 0.7 deberá usarse en vez de 0.3 (Palmer y Van Slika 1917).

Sin embargo, ya en la práctica con el paciente, la cantidad de exceso o déficit en todo el cuerpo no siempre es proporcional a la sangre. - Así pues es preferible hacer o dirigir el tratamiento orientado para corregir las cifras en el espacio extracelular, únicamente y seguir el efecto - mediante exámenes frecuentes.

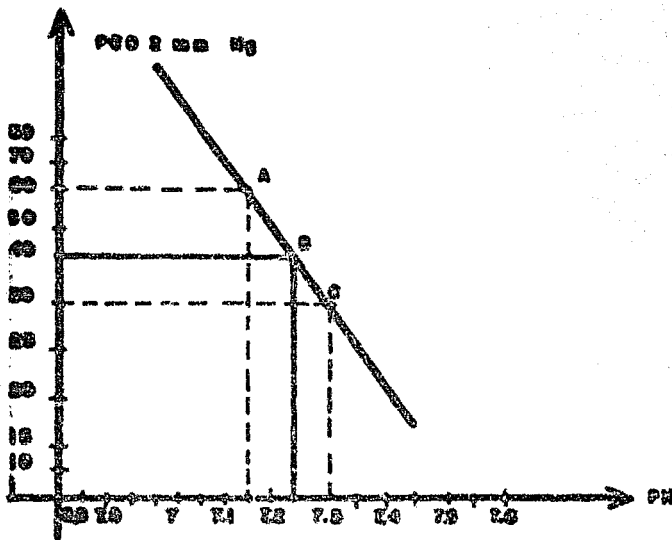
Un Micrométodo para determinar pH,  $pCO_2$ . Exceso de base, bicarbonato estándar usando sangre capilar.

Cuando se usa un macrométodo para determinar estos valores, es necesario hacer punción arterial. Es poco práctica cuando las determinaciones se tienen que efectuar con frecuencia. Así que el método usando aproximadamente 100  $\mu$ l. de sangre, y que fué ideado por Andersen es poco práctico.

#### Principio.-

El principio teórico basado para el cálculo de  $pCO_2$ , bicarbonato - estándar, y exceso de base en las gráficas que muestran la relación pH ---  $pCO_2$  con líneas rectas.

La curva de la línea depende de la capacidad buffer de la sangre. Equilibrando una muestra de sangre a dos  $pCO_2$  conocidas y midiendo el valor de pH la línea resultante está determinada. Si sabemos el pH actual - de la muestra de sangre la actual  $pCO_2$  se encontrará fácilmente.



Relación pH-log  $pCO_2$  para un ejemplo de sangre.

A = el pH (7.12) después de equilibrar  $pCO_2 = 60$  mm de Hg.

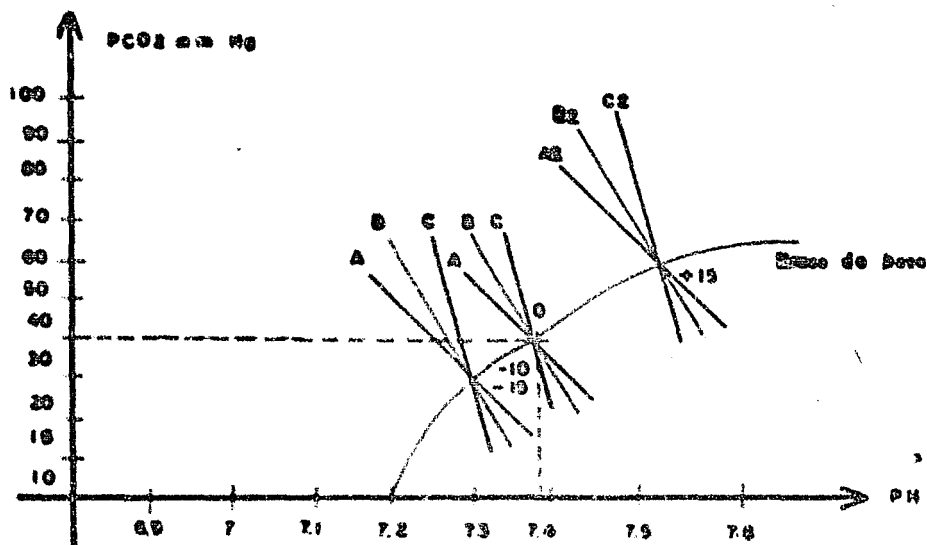
B = el pH (7.50) después de equilibrar  $pCO_2 = 30$  mm de Hg.

C = si se toma un ejemplo de sangre y se mide el pH es igual a 7.42, entonces la  $pCO_2$  se puede determinar en 38 mm de Hg.

Cuando se agrega un ácido fijo a la sangre, la línea se desplaza a la izquierda, cuando se agrega base a la derecha.

Ahora bien, se puede construir una gráfica que va a expresar el desplazamiento, cuando por cualquier cantidad de ácido o base, independientemente de la concentración de hemoglobina (Andersen).

Así el punto de intersección entre la línea pH/log  $pCO_2$  y la curva nos va a indicar en mEq/l el exceso de base por litro de sangre.



Línea pH/log  $pCO_2$  para muestras de sangre con diferentes concentraciones - de hemoglobina y distinto contenido de base.

ABC = sangre normal con 0, 10, y 20 gr. de hemoglobina x 100 cc. - respectivamente.

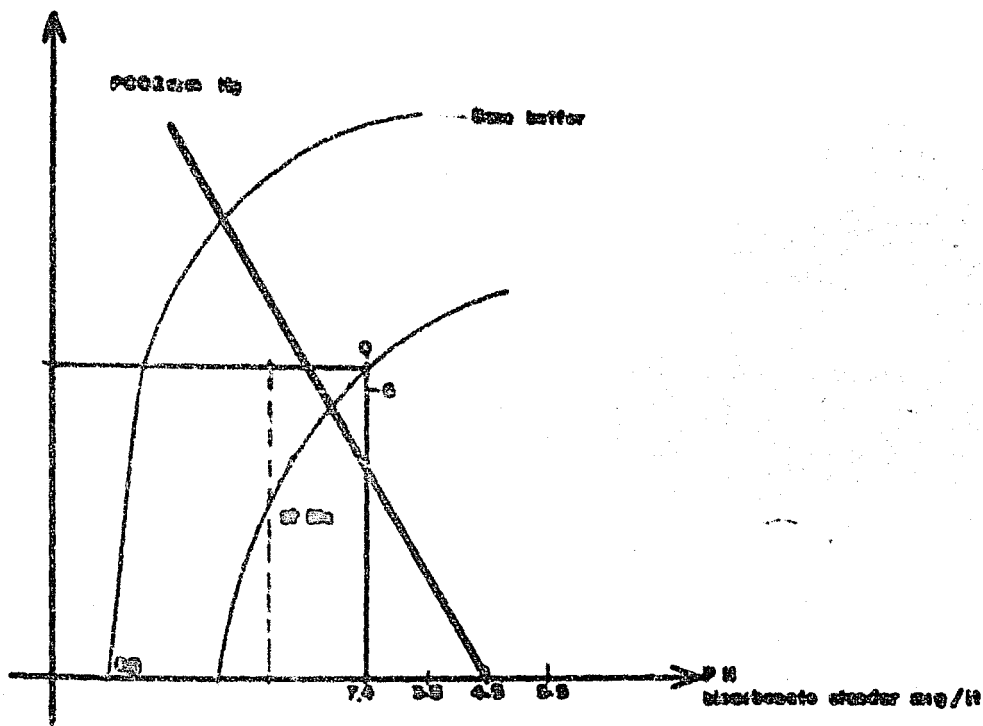
$A_1B_1C_1$  = sangre después de agregar 15 mEq. de ácido acético x lt. de sangre.

$A_2B_2C_2$  = Sangre después de agregar 15 mEq. de bicarbonato x lt. de -- sangre.

Como vemos los puntos de intersección de estas líneas, forman una curva (exceso de base) que indica la cantidad de exceso de base o déficit de base en cualquier ejemplo de sangre.

En el mismo diagrama se puede construir una curva (Andersen-Engel) que expresa el contenido de base buffer en el margen izquierdo de la gráfica.

Así pues se puede ver que una medida exacta del pH sanguíneo, a la  $p\text{CO}_2$  actual y dos valores conocidos para  $p\text{CO}_2$ , nos permiten calcular todos los valores relevantes concernientes al estado ácido básico.



La línea  $\text{pH}/\log p\text{CO}_2$  se determina como ya se dijo.

-  $\delta$  = exceso de base en mEq/l de sangre.

E = base buffer = 40 mEq/l.

El bicarbonato estándar se deriva del pH que marca la línea a --  
40 mm. de Hg de  $p\text{CO}_2$ .

MATERIALES.

Pacientes que van a ser intervenidos de corazón con circulación extracorpórea.

Aparato de Astrup modelo ABE I RADIONETER COPENHAGEN.

Tubos capilares heparinizados.

Plestitina o plasticín.

Mañ y berritas metálicas (que se introducen en el capilar con el fin de agitar la muestra de sangre).

Reloj minuto y desarmador.

Reactivos.-

Soluciones buffer de pH conocidos (6.840 y 7.381).

La solución buffer de pH 7.381 consta de las siguientes sustancias:

1.816 g.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$   
9.501 g.  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$   
1.000 Kg.  $\text{H}_2\text{O}$

La solución buffer de pH 6.80 tiene:

3.402 g.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$   
4.450 g.  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
1.000 Kg.  $\text{H}_2\text{O}$

Solución sobresaturada de cloruro de potasio.

Solución lavadora de fosfatos.

Tanques de  $\text{CO}_2$  con concentraciones aproximadamente de 5 y 10 vol. %

Cloruro de potasio y  
agua destilada.

DESCRIPCION DEL APARATO.

Con el ABE I Astrup microequipo, es posible realizar cuantificaciones en el equilibrio ácido-básico de la sangre. Estas cuantificaciones pueden ser clasificadas en pH arterial,  $\text{pCO}_2$ , exceso de base, base buffer, bicarbonato estándar, bicarbonato actual y  $\text{CO}_2$  total.

El equipo completo consiste en las siguientes partes:

Un medidor de pH, un electrodo capilar, complementado con un termostato, una bomba succionante para el llenado, una cámara para equilibrar por medio de un método de agitación para humidificar y calentar el gas y dos cilindros de gases con válvulas reductoras. El equipo puede ser fácilmente transportado y usado especialmente para hacer medidas en la cabecera del enfermo, tanto como para el trabajo del laboratorio.

#### Micro Equipo Astrup.-

1.- La escala de 160 mm entre los pH de 6.6 a 8.0 con divisiones para cada 0.01 de pH. La escala es calibrada individualmente y se pueden efectuar las lecturas con una aproximación de 0.005 de pH.

2.- El electrodo de vidrio microcapilar tipo G 297, y el electrodo de calomel tipo K 497 están designados para determinaciones específicas de sangre. La muestra requerida es un volumen aproximado de 20 microlitros.

Los hechos especiales son:

El microcapilar de vidrio está unido al cuerpo de electrodo de vidrio, el microcapilar está colocado horizontalmente, reduciendo en esta forma el tipo de errores debidas a sedimentación y difusión durante las mediciones.

Reemplazar un electrodo de vidrio es tan fácil como cambiar un foco de su socket.

Una vía de cuatro canales conecta el depósito de agua al termostato circulante, también acomoda el cable del electrodo de vidrio y efectúa la succión del electrodo. Cuando se necesita la succión para llenar el electrodo, se obstruye el orificio que se encuentra arriba, con el pulgar y un aditamento flexible.

3.- Montado en la parte inclinada del panel frontal, la unidad de equilibración está diseñada para manejo de dos muestras de sangre, utilizando una mezcla de oxígeno, - bióxido de carbono-separada para cada uno.

4.- Para cada una de las dos mezclas de gas hay una unidad humidificadora de termostato utilizado para equilibrar las muestras de sangre. Los humidificadores sirven también como indicadores del flujo del gas mismo que se ve burbujear. El tubo que lleva el gas de los humidificadores a la unidad equilibradora incluido en camisa con agua a la temperatura de 30 grados centígrados.

5.- Montada cerca de los humidificadores se encuentran dos válvulas de agujas iguales que regulan el flujo de gas hacia los humidificadores.

6.- Los termómetros están situados, uno donde entra el agua al sistema y el otro donde deja el sistema.

7.- Los enchufes para los cilindros de gas son dimensiones internacionales estandar.

8.- El equipo completo de Astrup incluye dos cilindros de gas de 2.5 lt. de capacidad y probados para 200 Kg/cm<sup>2</sup>. Uno está codificado para una mezcla de O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> con un contenido de  $\pm$  5% de CO<sub>2</sub>. El otro está codificado para una mezcla de O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> con un contenido  $\pm$  10% CO<sub>2</sub>.

9.- El gas con el que se llenan los cilindros es corroborado en sus porcentajes por análisis en el aparato Schollander.

10.- El termostato circulante tipo VTS 13, mantiene la temperatura del agua dentro de  $\pm$  o menos 0.2 grados centígrados y consta de una bomba y un sistema de tuberías para todos los elementos del aparato incluyendo los electrodos.

11.- El medidor de pH tipo K 22, está colocado en un gabinete. Para operar el medidor de pH está sujeto a los ajustes de buffer y abierto en la posición de empezar. No se requiere ajustar el cero.

12.- Todos los utensilios y reactivos para tomar la muestra de sangre y efectuar todo el procedimiento se guardan convenientemente en los cajones del lado izquierdo de la mesa.

13.- El contacto para lograr el equilibrio del dispositivo está colocado por debajo de la escala del medidor. Aquí también está el control de ajuste remoto del buffer.

#### Método Usado.-

La técnica del Astrup está basada en la equilibración de la muestra sanguínea con dos mezclas de oxígeno y bióxido de carbono de tensiones de CO<sub>2</sub> distintas pero conocidas. El micrométodo de Astrup equilibrará simultáneamente cuatro partes de la muestra, dos con una mezcla gaseosa y dos con otra.

### Calibración del aparato.-

a) Para la calibración del aparato se tienen buffer de 6.840 y -- 7.381 con el electrodo cargado con buffer de 6.840 se hace contacto introduciéndolo en el electrodo de calomel que cierra el circuito. Lívese -- con la cremallera la aguja del galvanómetro hasta la posición de 7.00 de -- la escala.

b) Lívese el capilar con agua y córquese con el buffer de 7.381 y -- con el tornillo de span lívese a 7.340

c) Lívese con la cremallera a 7.361

d) Lívese el capilar con agua.

e) Lívese el buffer de 6.840 y si la aguja marca la cifra conocida (6.840) el aparato está equilibrado.

f) En caso contrario repítase la operación hasta obtener el equilibrio indicado.

### Toma de la muestra.-

Al paciente que va a ser intervenido, quirúrgicamente con circulación extracorpórea, se le canaliza la arteria radial que sirve tanto para medir la presión arterial como para tomar muestras de sangre (se recomienda utilizar sangre arterial en el uso de este aparato).

La cánula introducida en la arteria tiene una llave de tres vías -- y es por aquí donde se toman las muestras, llenando el tubo capilar.

Se tiene la precaución de dejar escurrir el suero heparinizado con el objeto de usar sangre solamente.

Después de tomada la muestra, las cánulas deberán purgarse hasta -- que esté completamente limpia para evitar que se tape. Líense tres -- tubos capilares.

### Manejo de la muestra.-

a) Absórbase con el capilar vacío del electrodo, la muestra que con -- tiene un microcapilar al que se le ha sacado con el imán el agitador metálico. Cuidese de que no contenga burbujas de aire.

b) Póngase el capilar en posición de contacto introduciéndolo en el electrodo de calomel.

c) Casi simultáneamente hágase la lectura y se verá como la aguja -- se desplaza y anótese dicha lectura.



El se vacían dos de los tubos capilares en sendas cámaras en las que burbujan las mezclas gaseosas ( $\text{CO}_2$  5%,  $\text{O}_2$  95% y  $\text{CO}_2$  10%,  $\text{O}_2$  90%) y que se equilibran las presiones inducidas agitando el dispositivo durante tres a cinco minutos.

Al levado y vacío el capilar del electrodo de vidrio succiónese sucesivamente las muestras equilibradas, mismas que nos darán lecturas de pH referibles a líneas previamente trazadas en el nomograma y la intersección de las cifras leídas de pH con ambas líneas determinan una recta.

DISTINTOS EVENTOS DE LA HEMODILUCION, HIPOTENSIÓN REDUCIDA Y FLUJOS BAJOS

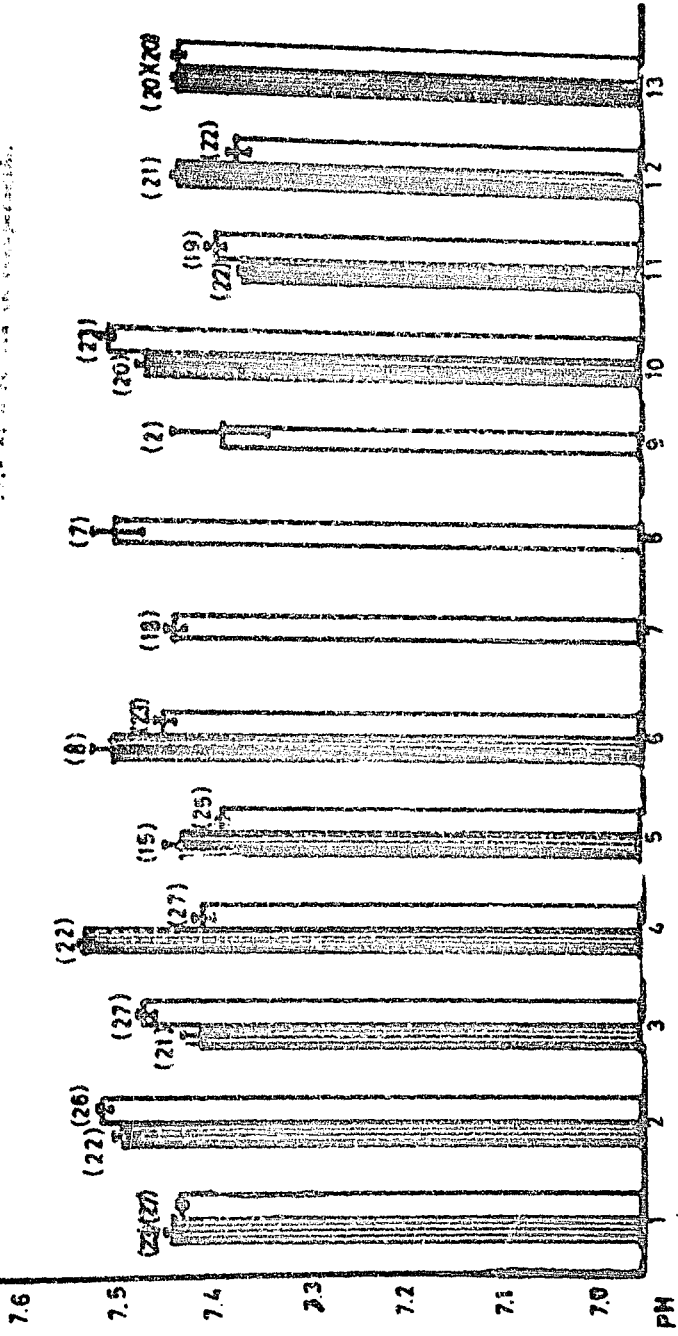
	pH	pCO <sub>2</sub>	L.S.	D.S.	D.L.	D.A.	CO <sub>2</sub> TOTAL
	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$	$\bar{Y} \pm S \sqrt{n}$
Paciente despierto	7.44 $\pm$ 0.0085(23)	35.37 $\pm$ 1.0(23)	-4.05 $\pm$ 0.6(23)	46.71 $\pm$ 0.8(23)	21.11 $\pm$ 0.4(23)	16.04 $\pm$ 0.7(23)	17.66 $\pm$ 0.7(23)
Paciente anestesiado	7.49 $\pm$ 0.0233(22)	31.84 $\pm$ 1.0(22)	-4.15 $\pm$ 0.7(22)	44.67 $\pm$ 1.1(22)	20.76 $\pm$ 0.5(22)	15.46 $\pm$ 0.6(22)	16.08 $\pm$ 0.6(22)
Antes de perfusión	7.41 $\pm$ 0.0407(21)	29.79 $\pm$ 1.5(21)	-6.86 $\pm$ 0.8(21)	43.17 $\pm$ 1.3(21)	18.93 $\pm$ 0.5(21)	15.02 $\pm$ 1.0(21)	15.77 $\pm$ 1.1(21)
Al comenzar perfusión	7.53 $\pm$ 0.0164(22)	23.72 $\pm$ 1.5(22)	+1.60 $\pm$ 1.1(22)	40.47 $\pm$ 1.7(22)	24.11 $\pm$ 1.0(22)	19.48 $\pm$ 1.1(22)	19.47 $\pm$ 1.1(22)
Media hora con perfusión	7.43 $\pm$ 0.4179(15)	24.38 $\pm$ 1.6(15)	-3.21 $\pm$ 1.1(15)	44.71 $\pm$ 1.7(15)	19.96 $\pm$ 0.7(15)	15.79 $\pm$ 0.9(15)	16.63 $\pm$ 0.9(15)
Una hora con perfusión	7.50 $\pm$ 0.0578(8)	30.12 $\pm$ 1.7(8)	+1.03 $\pm$ 1.3(8)	52.59 $\pm$ 4.9(8)	27.13 $\pm$ 1.4(8)	19.07 $\pm$ 1.5(8)	20.65 $\pm$ 1.5(8)
Al salir de perfusión	7.4780.0287(20)	27.23 $\pm$ 2.8(20)	-2.30 $\pm$ 1.1(20)	46.56 $\pm$ 1.8(20)	21.95 $\pm$ 0.9(20)	16.51 $\pm$ 0.9(20)	19.30 $\pm$ 0.9(20)
Una hora después de perfusión	7.39 $\pm$ 0.0139(22)	31.61 $\pm$ 1.2(22)	-4.50 $\pm$ 1.1(22)	44.21 $\pm$ 1.3(22)	20.65 $\pm$ 0.8(22)	16.88 $\pm$ 1.2(22)	19.89 $\pm$ 1.3(22)
Dos horas después de perfusión	7.39 $\pm$ 0.0192(21)	32.78 $\pm$ 2.4(21)	-4.60 $\pm$ 1.0(21)	44.35 $\pm$ 1.0(21)	20.52 $\pm$ 0.6(21)	16.52 $\pm$ 1.1(21)	19.44 $\pm$ 1.1(21)
Al otro día en recuperación	7.44 $\pm$ 0.0156(20)	33.42 $\pm$ 1.3(20)	-1.86 $\pm$ 0.9(20)	49.47 $\pm$ 2.1(20)	23.63 $\pm$ 0.8(20)	21.97 $\pm$ 1.1(20)	22.98 $\pm$ 1.2(20)

DISTINTOS EVENTOS DE LA NERVOSECCION, HIPOTERMIA PERIBASA Y FLEBOS ALTOS

	PH	PO <sub>2</sub>	S.O. <sub>2</sub>	R.B.	S.A.	CO <sub>2</sub> TOTAL
	7 2 5 7 0	7 2 5 7 0	7 2 5 7 0	7 2 5 7 0	7 2 5 7 0	7 2 5 7 0
Paciente despierto	7.43±0.005(127)	28.3±0.7(27)	46.4±1.7(21)	21.4±0.3(22)	14.2±0.4(22)	19.0±0.9(27)
Paciente anestesiado	7.51±0.016(176)	19.4±0.4(176)	44.4±1.1(176)	22.2±0.3(176)	12.4±0.3(176)	17.1±0.7(176)
Antes de perfusión	7.47±0.0174(27)	17.6±0.1(27)	42.4±0.1(27)	16.3±0.4(27)	12.2±0.3(27)	17.4±0.9(27)
Al comenzar perfusión	7.45±0.0297(27)	13.7±0.2(27)	14.1±0.2(27)	16.3±0.6(27)	11.7±0.2(27)	14.79±0.4(27)
Media hora con perfusión	7.39±0.0179(27)	27.4±0.5(27)	27.2±0.3(27)	13.4±0.1(27)	13.4±0.1(27)	15.20±1.1(27)
Una hora con perfusión	7.42±0.0145(23)	22.2±0.3(23)	42.2±0.3(23)	21.2±0.3(23)	12.1±0.3(23)	22.17±1.3(23)
Nota / media con perfusión	7.42±0.0276(116)	29.9±0.1(116)	44.6±0.1(116)	11.79±0.4(116)	14.0±0.1(116)	19.31±1.3(116)
Dos horas con perfusión	7.40±0.0545(17)	31.2±0.4(17)	36.9±0.3(17)	11.4±0.1(17)	12.9±0.2(17)	21.76±1.7(17)
Dos horas y media con perfusión	7.38±0.1600(7)	37.2±0.3(7)	44.0±0.1(7)	14.20±0.3(7)	14.72±0.6(7)	21.72±0.8(7)
Al salir de perfusión	7.51±0.0191(23)	17.0±0.3(23)	43.9±0.4(23)	21.4±0.1(23)	17.4±0.1(23)	18.40±1.1(23)
Una hora después de perfusión	7.40±0.0310(19)	31.1±0.3(19)	47.4±0.3(19)	20.09±0.7(19)	13.17±0.3(19)	19.20±1.4(19)
Dos horas después de perfusión	7.38±0.0202(22)	29.36±0.3(22)	47.6±0.1(22)	17.54±0.3(22)	17.30±0.9(22)	18.07±0.3(22)
Al otro día en recuperación	7.44±0.0127(20)	26.2±0.1(20)	47.7±0.4(20)	22.07±0.6(20)	19.00±0.1(20)	21.05±0.2(20)

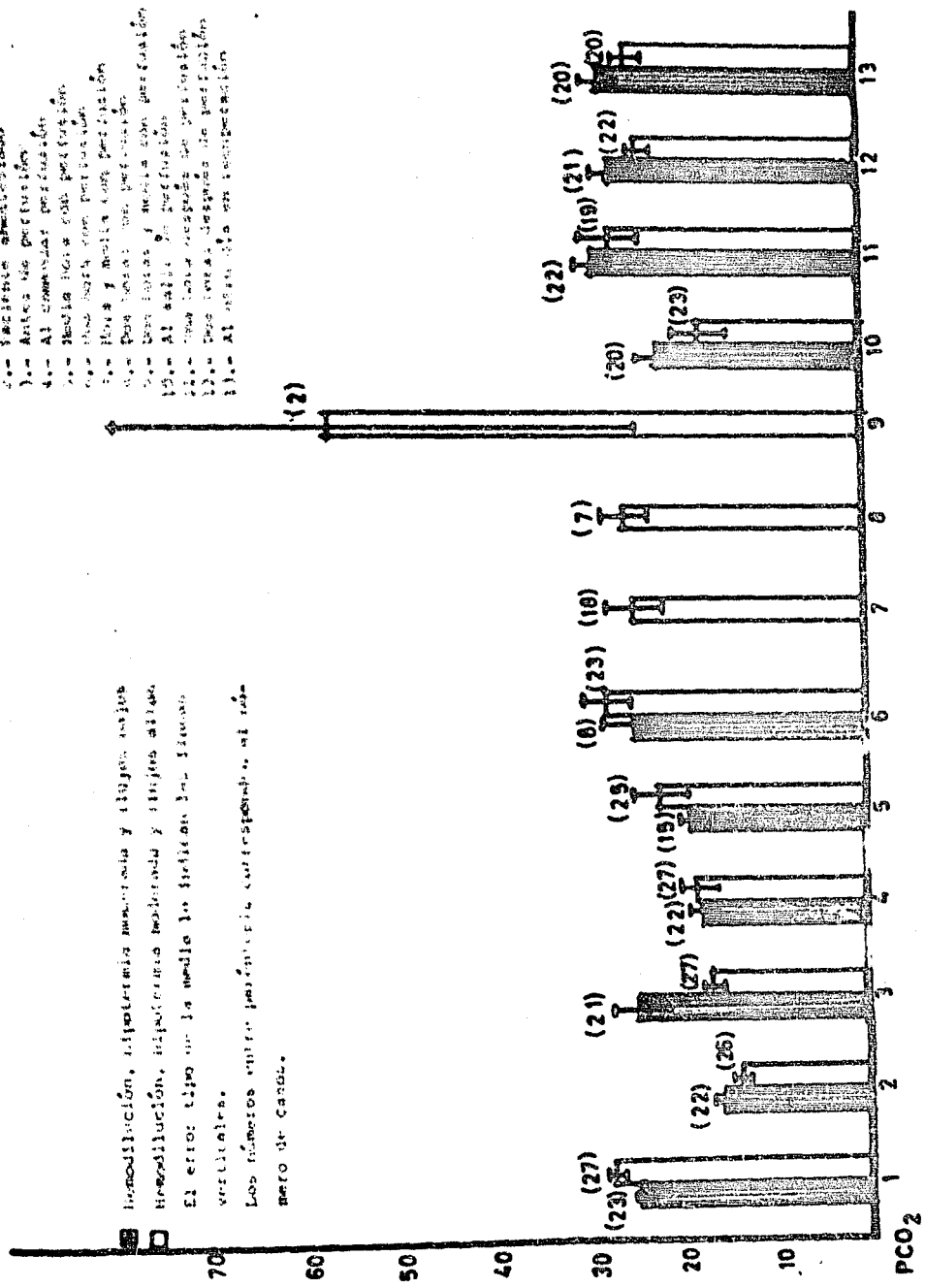
In general, higher values were found in the 2 highest layers.  
 Numerical data for percentage measurements of organic substance  
 in each layer are in brackets, in italics in the case of  
 water-soluble fraction.  
 Note that the water-soluble fraction is the only one which  
 may be analyzed.


1. In general, higher values  
 were found in the 2 highest  
 layers. Numerical data for  
 percentage measurements of  
 organic substance in each  
 layer are in brackets, in  
 italics in the case of  
 water-soluble fraction.  
 Note that the water-soluble  
 fraction is the only one  
 which may be analyzed.



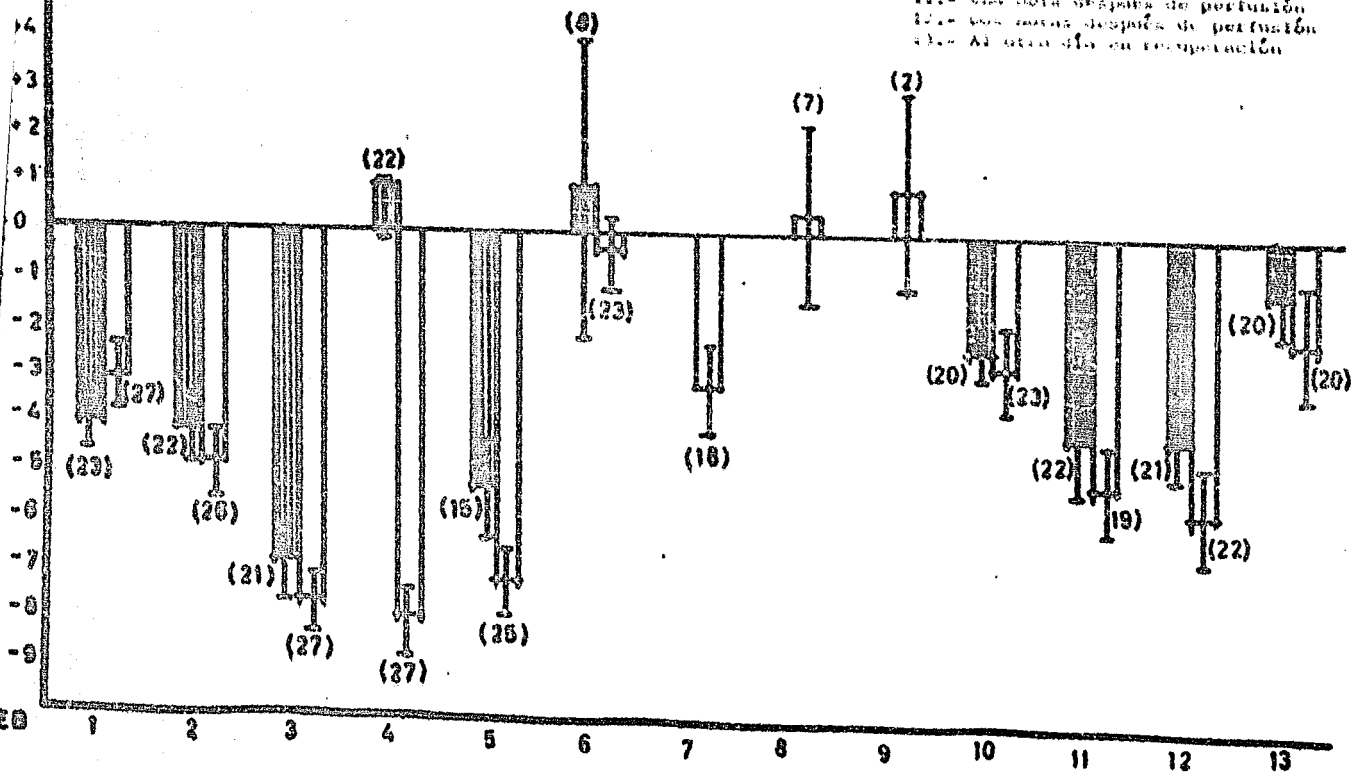
- 1.- Paciente aséptico
- 2.- Paciente aséptico
- 3.- Antes de perfusión
- 4.- Al comenzar perfusión
- 5.- Media hora con perfusión
- 6.- Una hora con perfusión
- 7.- Hora y media con perfusión
- 8.- Dos horas con perfusión
- 9.- Tres horas y media con perfusión
- 10.- Al salir de perfusión
- 11.- Una hora después de perfusión
- 12.- Dos horas después de perfusión
- 13.- Al salir de perfusión

Inmediación, hipotermia moderada y flujo cefálico  
 Hipermediación, hipertermia moderada y flujo cefálico  
 El error tipo en la media lo indican los números  
 verticales.  
 Los números entre paréntesis corresponden al número de casos.



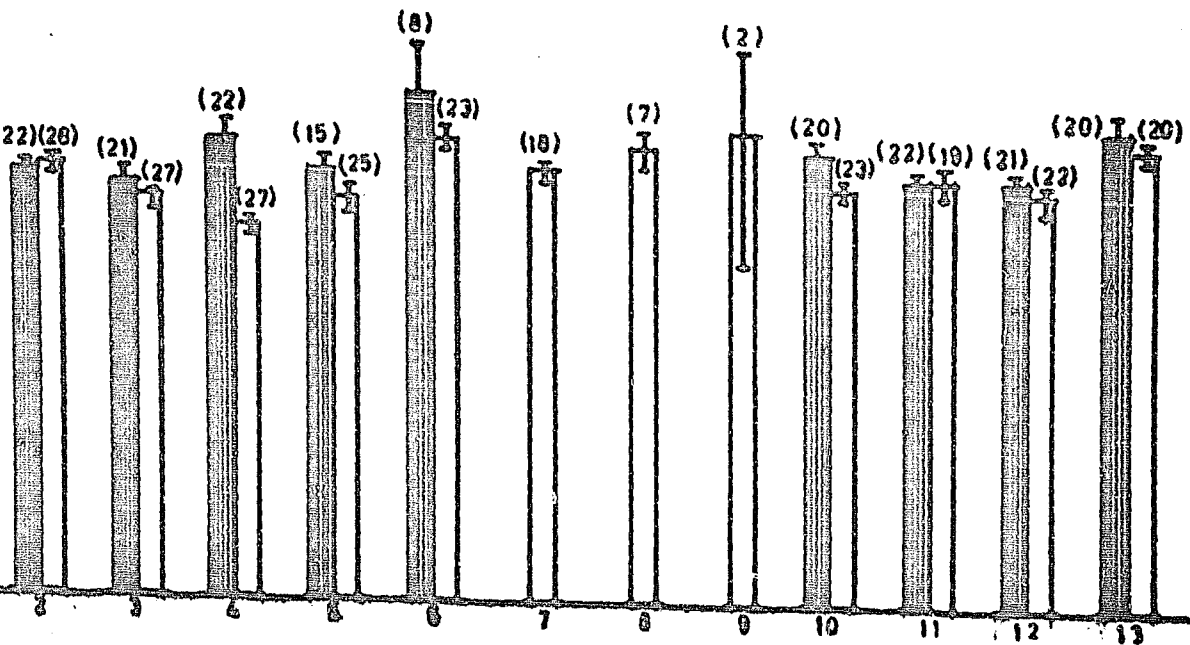

 Homodivisión, tripartición superior y inferior.
   
 Heterodivisión, tripartición superior y inferior.
   
 Al variar el tipo de la medida, las curvas de las líneas
   
 varían.
   
 Los números entre paréntesis corresponden al número de casos.

- 1.- Paciente despierto
- 2.- Paciente anestesiado
- 3.- Antes de perfusión
- 4.- Al comenzar perfusión
- 5.- Media hora con perfusión
- 6.- Una hora con perfusión
- 7.- Una hora y media con perfusión
- 8.- Dos horas con perfusión
- 9.- Dos horas y media con perfusión
- 10.- Al salir de perfusión
- 11.- Una hora después de perfusión
- 12.- Dos horas después de perfusión
- 13.- Al otro día en recuperación



acción, hipertensión sanguínea y flujo sanguíneo  
 acción, hipertensión sanguínea y flujo sanguíneo  
 el tipo de la acción lo indican los números  
 al lado de la barra correspondiente al número  
 de casos.

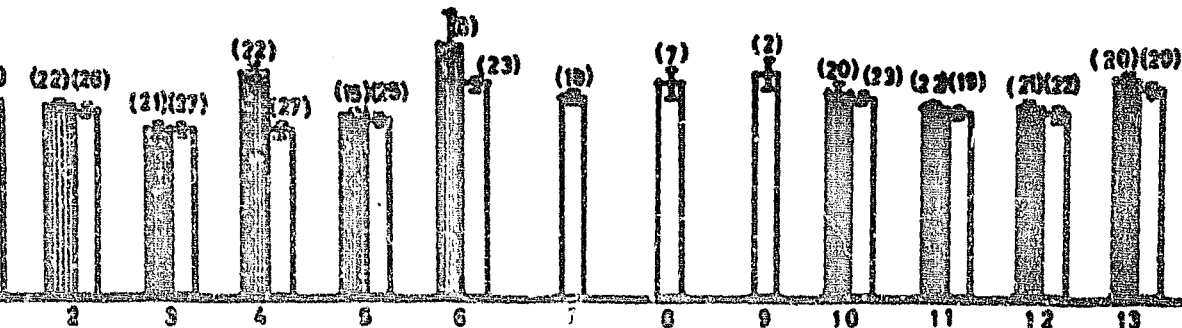
- 1.- Paciente despierto
- 2.- Paciente anestesiado
- 3.- Antes de perturbación
- 4.- Al comenzar perturbación
- 5.- Una hora con perturbación
- 6.- Dos horas con perturbación
- 7.- Una hora y media con perturbación
- 8.- Dos horas con perturbación
- 9.- Dos horas y media con perturbación
- 10.- Al salir de perturbación
- 11.- Una hora después de perturbación
- 12.- Dos horas después de perturbación
- 13.- Al otro día en recuperación.



Ilusión, hipotermia moderada y flujos bajos  
 Ilusión, hipotermia moderada y flujos altos  
 por tipo de la media, lo indican las líneas  
 sales.

Números entre paréntesis corresponden al número de casos.

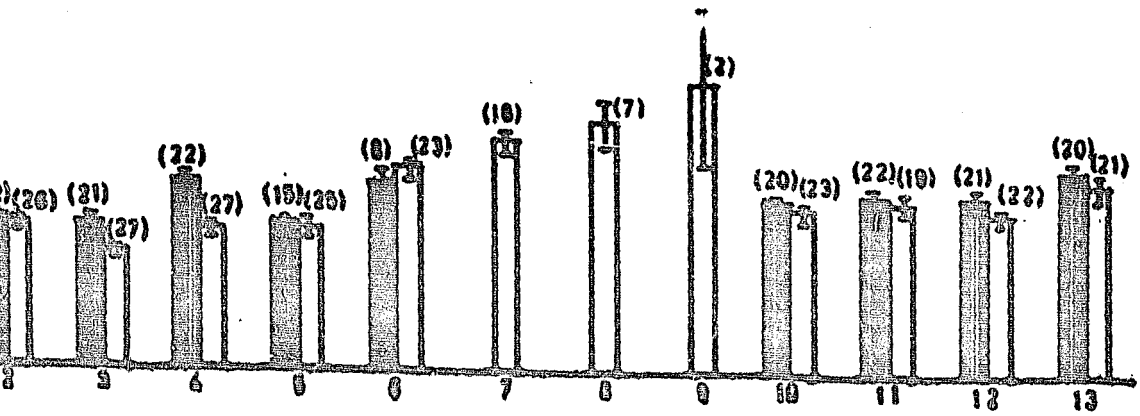
- 1.- Paciente despierto
- 2.- Paciente anestesiado
- 3.- Antes de perfusión
- 4.- Al comenzar perfusión
- 5.- Media hora con perfusión
- 6.- Una hora con perfusión
- 7.- Hora y media con perfusión
- 8.- Dos horas con perfusión
- 9.- Dos horas y media con perfusión
- 10.- Al salir de perfusión
- 11.- Una hora después de perfusión
- 12.- Dos horas después de perfusión
- 13.- Al otro día en recuperación





hipertensión moderada y fijar bajas  
 hipertensión moderada y fijar altas  
 de la media, lo indica las líneas  
 este procedimiento correspondiente al caso  
 2.

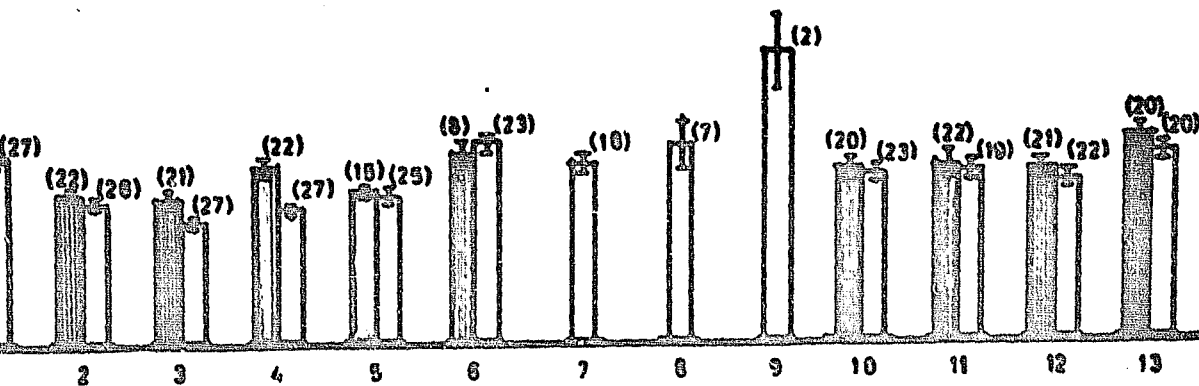
- 1.- Paciente despierto
- 2.- Paciente anestesiado
- 3.- Antes de perfusión
- 4.- Al comenzar perfusión
- 5.- Media hora con perfusión
- 6.- Una hora con perfusión
- 7.- Hora y media con perfusión
- 8.- Dos horas con perfusión
- 9.- Dos horas y media con perfusión
- 10.- Al cesa de perfusión
- 11.- Una hora después de perfusión
- 12.- Dos horas después de perfusión
- 13.- Al otro día en recuperación



Ilusión, hipertensión moderada, ojos bajos  
 Ilusión, hipertensión moderada y ojos altos  
 por tipo de la media, se listaron los 13 tipos  
 casos.

diferencia entre paréntesis correspondiente al  
 no de casos.

- 1.- Paciente despierto
- 2.- Paciente anestesiado
- 3.- Antes de percusión
- 4.- Al comenzar percusión
- 5.- Media hora con percusión
- 6.- Una hora con percusión
- 7.- Una hora y media con percusión
- 8.- Dos horas con percusión
- 9.- Dos horas y media con percusión
- 10.- Al salir de percusión
- 11.- Una hora después de percusión
- 12.- Dos horas después de percusión
- 13.- Al salir día en recuperación



RESULTADOS

Se operaron 50 pacientes, de los cuales fueron 23 utilizando oxigenador de burbujas, hemodilución, hipotermia moderada, y flujos bajos y 27 utilizando oxigenador de discos tipo Kay-Cross, hemodilución, hipotermia moderada y flujos altos.

Se hizo análisis estadístico de los hallazgos, con el objeto de evaluarlos de manera objetiva adecuada. Para ello se emplearon las siguientes fórmulas:

1.- Determinación del promedio ( $\bar{Y}$ ) y el error tipo.

$$a) \bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

Y = valor de cada determinación

$\bar{Y}$  = promedio de los valores de todas las determinaciones.

$$b) S_{\bar{Y}} = \sqrt{s^2_{\bar{Y}}}, \text{ en que:}$$

$$s^2_{\bar{Y}} = \frac{d. c.}{n^2 (n-1)}$$

$S_{\bar{Y}}$  = error tipo de la media.

$$d. c. = \sum Y^2 - (\sum Y)^2$$

Como se puede observar en la tabla correspondiente en el cual se anexaron por separado estadísticamente los datos de cada bomba; con el paciente despierto todos los hallazgos caben dentro de los límites normales del monograma; cuando se anestesió al paciente, subió el pH y bajó la  $pCO_2$  seguramente por el aumento de la ventilación dada por el anestesiólogo. Antes de circulación extracorpórea se encuentra en límites normales probablemente por que ya se estabilizó.

Al comenzar circulación extracorpórea, no es posible tomar la muestra inmediatamente ya que tiene que llevarse un control de presión, siendo esta la razón por la que dicha muestra se obtiene después de 5 a 10 minutos de haber entrado a perfusión habiendo puesto previamente una dosis de bicarbonato y observándose en el oxigenador de burbujas (Zudhi) tendencia a la alcalosis y en el de Kay-Cross datos normales, si bien el bicarbonato empieza a descender.

Media hora con perfusión los que entraron con Zuchi se encuentran en condiciones normales, en tanto que los de Kay-Cross por falta de bicarbonato tienden a la acidosis. Una hora después de haber entrado en circulación extracorpórea, se les agrega a todos los pacientes por medio de la bomba 110 ml/ml S.C. de bicarbonato de sodio al 10% o sea 121 mEq, por lo que, las muestras tomadas en esta hora vuelven a encontrarse; las de Kay-Cross en condiciones normales y las del oxigenador de burbujas en ligera alcalosis.

De aquí en adelante solo analizaremos las de Kay-Cross puesto que todas las del oxigenador de burbujas han salido de circulación extracorpórea.

Las de Kay-Cross con una hora y media dentro de perfusión se encuentran dentro de límites normales. Dos horas después se le vuelve a agregar bicarbonato de sodio en la misma proporción, entonces se encuentran en límites normales tendiendo a ligera alcalosis.

Una hora después de haber terminado la circulación extracorpórea en las muestras del oxigenador de burbujas se observa ligera acidosis metabólica y la de Kay-Cross está dentro de límites normales.

Dos horas después de perfusión generalmente el paciente se encuentra dentro de la sala de recuperación y con un ventilador de presión positiva conectado a una sonda endotraqueal con una frecuencia promedio de 18 a 20 respiraciones por minuto, con un volumen circulante de 500 ml. y con presión positiva de 20 mm de Hg. En estas condiciones las muestras se encuentran dentro de límites normales.

Al día siguiente en recuperación y con un ventilador de presión positiva el paciente se encuentra en condiciones normales.

Debemos hacer la aclaración que en el presente estudio todos aquellos casos que se encontraron completamente fuera del nomograma, así como los pacientes fallecidos no se tomaron en cuenta para el análisis estadístico.

### DISCUSION

Es un hecho bien establecido que una perfusión extracorpórea bien - manejada no presenta habitualmente alteraciones importantes del equilibrio-ácido básico, sin embargo no hay que olvidar que una discreta acidosis aparece en toda intervención que requiere circulación extracorpórea, debido a una descompensación circulatoria originada por la anestesia y las maniobras de canalización de venas cavas, acidosis que puede aumentar durante la exclusión cardiopulmonar si la perfusión es inadecuada.

Este tipo de acidosis puede progresar cuando la perfusión es prolongada, cuando existe una demanda de oxígeno, como la que sigue a un paro circulatorio total, con hipotermia o durante la fase de recalentamiento, sobre todo si este es más rápido a una recuperación satisfactoria de la función - miocárdica, o si existe hipovolemia.

Ahora bien cuando el período de perfusión es corto, es frecuente -- observar la acidosis en la fase inmediata a la suspensión de la perfusión - por descompensación miocárdica. Esto puede resultar:

- 1o.- Depresión miocárdica debido a la ventriculotomía
- 2o.- Paro circulatorio
- 3o.- Paro inducido
- 4o.- Empleo de grandes cantidades de sangre citratada
- 5o.- Por hipo o hipervolemia
- 6o.- Bloqueo auriculoventricular completo
- 7o.- Mal drenaje de cavidades izquierdas
- 8o.- Aumento de la resistencia vascular pulmonar y
- 9o.- Por acidosis respiratoria.

Para prevenir esa acidosis no respiratoria, es frecuente el empleo de soluciones de bicarbonato de sodio. En nuestros casos se utilizó siempre en la dosis de 110 ml./m<sup>2</sup> S.C. y por hora de perfusión. Sin embargo, - en determinados casos su empleo no deja de ser problemático por que:

- 1o.- Es un buffer predominantemente extracelular;
- 2o.- Difunde lentamente;
- 3o.- Requiere una eficiente ventilación pulmonar para su máximo -- efecto;
- 4o.- Se administra una cantidad extra de iones sodio.

Ahora bien, en los dos lotes de casos todos los pacientes antes de anestesiarlos los parámetros del equilibrio ácido básico estaban dentro de límites normales, una vez anestesiados observamos una tendencia franca hacia la alcalosis respiratoria, alcalosis que aumentaba al iniciar la perfusión y que se combinaba con cierto grado de acidosis metabólica debido a los factores descritos anteriormente.

Una vez iniciada la perfusión, la acidosis metabólica producida -- principalmente por la anestesia, la toracotomía y las maniobras de canulación, de venas cavae, se corrige pero se mantiene cierto grado de alcalosis respiratoria, con los dos tipos de perfusión, es decir tanto con hemodilución, hipotermia moderada y flujos bajos que con hemodilución, hipotermia moderada y flujos altos. Esta compensación de la acidosis metabólica es -- debida esencialmente a la administración fraccionada de bicarbonato de sodio al 10% a la dosis de 110 ml. por  $m^2$  y por hora de perfusión.

La persistencia de la alcalosis respiratoria dentro de la exclusión cardiopulmonar es debido al lavado de  $CO_2$  en el oxigenador siendo la magnitud de los dos lotes sensiblemente iguales, aunque esté descrito que utilizando el sistema Kay-Cross la pérdida del  $CO_2$  es mayor, hasta el grado de aconsejar utilizar una mezcla del 95% de oxígeno y 5% de  $CO_2$  en lugar de utilizar 100% de oxígeno, como en nuestros casos.

Hay que hacer notar que estas alcalosis respiratorias, aparentemente inocuas pueden ser un punto de partida de trastornos electrolíticos severos ya que hay que tener en cuenta que los pacientes intervenidos son en su mayoría pacientes cardíacos depletados de sodio y de potasio debido a la terapéutica empleada a largo plazo, concerniente en dieta hiposódica y tiazidas.

Esta alcalosis respiratoria puede ser factor determinante en la -- hipokalemia o hipercloremia más o menos severa que se observa en el postoperatorio temprano en este tipo de pacientes, con el consiguiente riesgo de aparición de trastornos del ritmo. No hay que olvidar además que una alcalosis respiratoria de cierta importancia, altera las resistencias cerebrovasculares produciendo una disminución del flujo sanguíneo cerebral. Como señalábamos antes los resultados obtenidos en los dos métodos son sensiblemente iguales, solamente en la novena determinación utilizando el oxigenador de Kay-Crossa con flujos elevados, observamos una discrepancia absoluta

con el resto. Hay que tener en cuenta que con este método y con esa duración (dos horas y media) solamente se intervinieron dos casos y coincidieron con problemas mecánicos del oxigenador y que explican la gran elevación de la  $p\text{CO}_2$ .

Después de la perfusión en el lote en los que se utilizó hemodilución, hipotermia moderada y flujos bajos (Zudhi) observamos una discreta acidosis metabólica con  $p\text{CO}_2$  normal y en el grupo en el que se utilizó el oxigenador tipo Kay-Cross observamos una discreta alcalosis respiratoria con una acidosis metabólica también de poca magnitud.

Al día siguiente de la intervención (promedio 18 horas) los pacientes de los dos lotes se encuentran prácticamente en condiciones normales, desde el punto de vista ácido básico.

Como se pueda concluir la ausencia de acidosis metabólica durante una perfusión sin accidentes, aún prolongada es debida esencialmente a la utilización de bicarbonato de sodio. Sin embargo esta no es una solución para perfusiones prolongadas ya que perfusiones mayores de tres horas producen alteraciones en las proteínas y en los elementos figurados de la sangre y provocan un cuadro similar al de un estado de shock irreversible.

Queremos hacer hincapié en la importancia de un control adecuado del equilibrio ácido básico de todos los pacientes sometidos a circulación extracorpórea.

Por último creemos que este trabajo puede normar hasta cierto punto el criterio del manejo del equilibrio ácido básico, en pacientes sometidos a cirugía cardíaca abierta en los que se utilizó hemodilución, hipotermia moderada y flujos ya sean altos o bajos.

### CONCLUSIONES

Las variaciones del equilibrio ácido básico encontradas en el grupo de pacientes estudiados, son muy similares a los reportados en otros centros.

La ausencia de acidosis metabólica durante una perfusión sin accidentes, aún prolongada es debida esencialmente a la utilización de bicarbonato de sodio.

Se enumeran los motivos por los cuales el empleo de bicarbonato de sodio no deja de ser problemático, y por último se hace hincapié en la necesidad de un estricto control del equilibrio ácido básico en todos los pacientes sometidos a cirugía abierta con circulación extracorpórea.



RESUMEN:

Se describen el método de determinación de pH,  $pCO_2$ , exceso de base, base buffer, bicarbonato estándar, bicarbonato actual, y  $CO_2$  total en grupos de 50 pacientes sometidos a cirugía cardíaca abierta con circulación extracorpórea. Se dividieron en dos lotes, uno de 27 pacientes utilizando hemodilución, hipotermia moderada y flujos altos, con oxigenador tipo Key-Cross (disco) y 23 pacientes en los que se empleó hemodilución, hipotermia moderada y flujos bajos con oxigenador tipo De Wall de burbuja gruesa.

Se hicieron determinaciones en el pre, trans y postoperatorio inmediato (24 horas después). No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la hemodilución hipotermia moderada y flujos altos y bajos - probablemente debido al empleo de bicarbonato de sodio.

Se enfatiza el uso razonado del bicarbonato como tratamiento profiláctico de la acedemia metabólica que normalmente se produce en cualquier exclusión cardiopulmonar. Se hace notar la bondad del método empleado para determinar el equilibrio ácido básico.

Se pone en relieve las siguientes ventajas del procedimiento empleado en la determinación:

- a) Estabilidad y exactitud de las determinaciones.
- b) La exactitud de las soluciones tipo, empleadas en la calibración.
- c) La pequeña cantidad de muestra sanguínea (método microcapilar).
- d) La rapidez de las determinaciones (10 minutos).
- e) La imagen completa del cuadro que el procedimiento implica.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Astrup, P.: Om erkendelsen af forstyrrelser i organismens syre-base - stoffskifte.  
Ugeskr. laeg. 1954, 116:756-776 (13, 14, 15, 16, 61, 73).
- 2.- Astrup, P.: A simple electrometric technique for the determination of carbon dioxide tension in blood and plasma, total content of carbon - dioxide in plasma and bicarbonate content in separated plasma at a -- fixed carbon dioxide tension (40 mm. Hg).
- 3.- Astrup, P. and Schroder, S.: Aparatus for anaerobic determination of - the pH blood at 35°C.  
Scand. J. Clin. Lab. Invest. 1956, 8: 30-32 (13,27,93).
- 4.- Astrup, P. Erkennung der Störungen des Säure/Base-Stoffwechsels und -- ihre Klinische Bedeutung.  
Klin. wochn. 1957, 35:33-34 (13,16,38,43,45,59,83,101).
- 5.- Astrup, P. Jørgensen, K. Siggsaer-Andersen, O. and Engel, K.: The acid-base metabolism. A new approach.
- 6.- Barcroft, J.: Some forms of apparatus for the equilibration of blood.  
J. Physiol. (Lond). 1954, 80:388-393 (101)
- 7.- Bernhard, W.F. Carroll, S.E. Schwarz, H.F. and Gross, R.E.  
Metabolic alterations associated with profound hypothermia and extracor - poreal circulation in the dog and men.  
J. Thoracic Surg. 1961, 42:793
- 8.- Davenport, H.C.: A simple anaerobic method of obtaining plasma.  
Science 1947, 105:103 (92)
- 9.- Davenport, H.W.: The ABC of acid-base chemistry. The elements of physiological blood gas chemistry for medical students and physicians. 4 ed. Chicago 1958, (13,16,18,31,45,47, 9,73).
- 10.- Henderson, L.J.: Blood. A study in general physiology.  
New Haven 1928 (26).
- 11.- Mc lean, F.C.: Application of the law of chemical equilibrium (law -- of mass action) to biological problems.  
Physiol. W.W. and Van Syke, D.D.: Relationship between alkali reten - tion and alkali-reserve in normal and pathological individuals.



J. Biol. Chem. 1917, 32:499-507 (62).

- 13.- Fierce E.C. II and Jabba, C.H.: Metabolic acidosis and oxygen consumption before, during and following total cardiopulmonary bypass with - and without hypothermia.  
Surg. Forum 1960, 10:535.
- 14.- Siggaard-Andersen, G., Engel, K. and Astrup, p.: A micro method for -- determination of pH, carbon dioxide tension, base excess and standard bicarbonate in capillary blood.  
Scand. J. clin. lab. invest. 1960, 12: 172-176 (13,26,36,88,94,101, - 102).
- 15.- Siggaard-Andersen, G., and Engel, K.: A new acid-base nomogram/  
An improved method for the calculation of the relevant blood acid-base data.  
Scand.J. clin lab. invest. 1960, 12:177-186 (14,33,43,49,50,51,54,64, 111).
- 16.- Siggaard- Andersen, G.: Sampling and storing of blood for determination of acid-base statistics.  
Scand. J. clin.lab. invest. 1961, a 13:196-204 (13,14,83,91,92).
- 17.- Siggaard-Andersen, G.: The first dissociation exponent of carbonic --- acid as a function pH.  
Scand.clin. lab. invest. 1962 b, 14:587-597 (14,18,30,31,37,60).
- 18.- Siggaard-Andersen, G.: The pH log pCO<sub>2</sub> blood acid-base nomogram revised.  
Scand. clin. lab. invest. 1962, 14:598-604 (14,28,33,43,50,76,78,111)
- 19.- Siggaard-Andersen, G.: Blood acid-base alignment nomogram. Scales for - pH, pCO<sub>2</sub> base excess of whole blood of different hemoglobin concentrations, plasma total-CO<sub>2</sub>  
Scand. J. clin. lab. invest. 1963, 15:211-217 (14,54,111).