

CONTRIBUCIONES ORIGINALES

**HEMODILUCION EXTREMA SIMULTANEA A EXSANGUINACION
EN DERIVACION CARDIOPULMONAR***

RUBÉN ARGÜERO,† § GUILLERMO ESCALANTE-PERALES,§ ENRIQUE OCHOA § y MARIO A. ESPONDA §

La necesidad tradicional de transfusiones profusas en los enfermos que se someten a operaciones con circulación extracorpórea conlleva peligros variados, complica el procedimiento, y encarece la cirugía. Por eso ha sido preocupación de muchos grupos de trabajo sustituir o disminuir la cantidad de sangre utilizada.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio experimental y de un estudio clínico. En el primero se utilizaron perros que se sometieron a una operación intratorácica con exclusión cardiopulmonar de la circulación por un cierto tiempo, pero se llenó la bomba con soluciones cristaloides o coloides y se realizó extracción de una gran parte del volumen sanguíneo con conservación de sangre para reinfusión posterior a la operación; los resultados, a juzgar por la sobrevivencia, el análisis de gases sanguíneos y otras pruebas de laboratorio fueron muy satisfactorios.

En la parte clínica se repitieron los procedimientos en un grupo de 10 pacientes y los resultados fueron igualmente satisfactorios.

Se concluye que la hemodilución en la circulación extracorpórea no sólo no es un factor de peligro sino, por el contrario, facilita el manejo de los enfermos,

evita complicaciones como los trastornos de coagulación y de isoimmunización y hasta mejora el transporte de oxígeno y el intercambio de gases.

El grupo de enfermos es todavía pequeño y los autores se proponen continuar con la observación y el análisis de otros parámetros importantes.

La cirugía a corazón abierto se ha incrementado y con ello la demanda de sangre fresca en volúmenes considerables, cuyo manejo y estudios de compatibilidad significan la inversión de tiempo y esfuerzo de personal altamente calificado por cada operación. Por otra parte, casos tales como isoimmunización previa, diátesis hemorrágica consecutiva a transfusión copiosa de sangre homóloga, alteración de los factores de coagulación, la posibilidad de transmitir agentes infecciosos, así como el traumatismo de la sangre en el circuito de derivación cardiopulmonar, han motivado el intento de hallar un método para disminuir los requerimientos de sangre total. El estudio experimental de exsanguinación, aunado a la experiencia clínica con el objeto de encontrar una solución a los problemas antes anotados, son el motivo fundamental de esta comunicación.

El principio consistió en el reemplazo sanguíneo hasta del 94 por ciento del volumen circulante por soluciones electrolíticas, macromoléculas y plasma, al-

* Trabajo leído en sesión ordinaria de la Academia Nacional de Medicina, el 22 de septiembre de 1976.

† Académico numerario.

§ Hospital de Enfermedades del Tórax. Centro Médico Nacional. Instituto Mexicano del Seguro Social.

Cuadro 1 Composición de las soluciones

Llenado primario del circuito extracorpóreo	
Normosol R (con heparina al 0.35 por ciento)	3 060 ml.
Manitol al 15 por ciento	500 ml.
Bicarbonato de sodio al 4 por ciento	440 ml.
Cloruro de potasio	80 mEq.
Total	4 000 ml.
Rellenado	
Normosol R (con heparina al 0.35 por ciento)	435 ml.
Bicarbonato de sodio al 4 por ciento	65 ml.
Cloruro de potasio	10 mEq.
Total	500 ml.

macenamiento temporal de la sangre obtenida, abstención del uso de sangre en el llenado primario del circuito extracorpóreo y en el reemplazo de las pérdidas transoperatorias y, finalmente, una vez concluida la derivación cardiopulmonar, retransfusión de la sangre almacenada.

El presente trabajo comprende tres etapas:

a) La experimental, desarrollada en perros, y b) dos fases clínicas: 1. sustitución del volumen sanguíneo por soluciones electrolíticas, y 2. reemplazo sanguíneo por soluciones electrolíticas, macromoléculas y plasma, en un grupo de pacientes con cardiopatía sometidos a cirugía de corazón abierto.

Fase experimental. Material y métodos

En diez perros criollos, cuyo peso varió de 4 a 23 Kg., se hizo derivación cardiopulmonar, con un tiempo

mínimo de 60 minutos e hipotermia de 30-34°C. El volumen de sangre extraída fue de 300 a 1 300 ml.

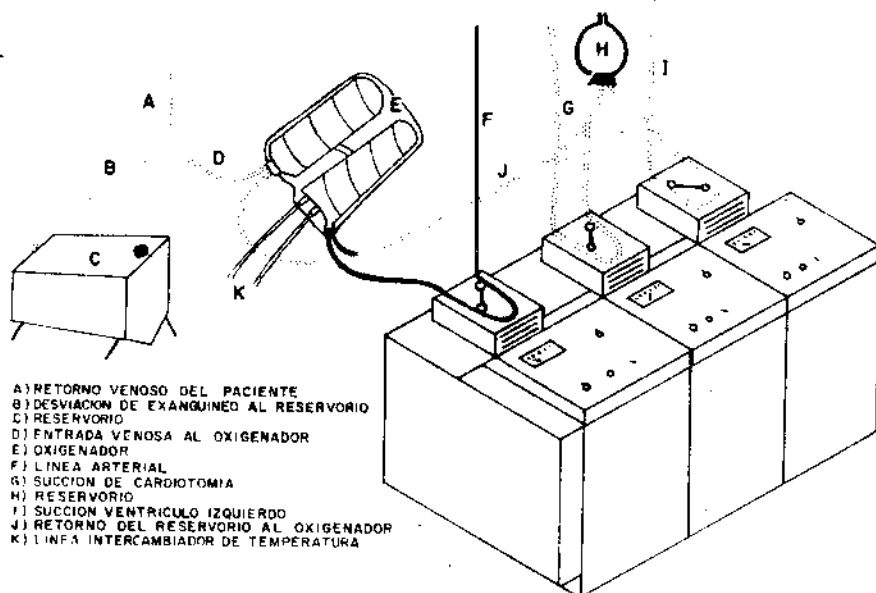
El volumen primario del oxigenador y los rellenos se expresan en el cuadro 1. El perro se exsangüinó por la línea venosa del circuito de derivación cardiopulmonar en un tiempo de 3-4 minutos; después de lograr el máximo volumen se inició la perfusión arterial, cambiando la desviación del flujo venoso y continuando en la forma habitual el procedimiento de exclusión cardiopulmonar (fig. 1).

Se llevaron a cabo determinaciones de hematócrito, gases en sangre, antes, durante y después de la perfusión. La sangre obtenida se recolectó en reservorios, se pasó a bolsas con ACD y se almacenó temporalmente a 5°C. La retransfusión del líquido existente en el sistema extracorpóreo se realizó en estrecha relación con el estado clínico del perro.

Cuadro 2 Estudio experimental

Perro No.	pH	PaO ₂	PaCO ₂	CO ₂	HCO ₃	BB	Ht
1	7.44	98	25.5	15.1	14.4	40	37
2	7.44	85	19.3	15.0	16.0	35	37
3	7.40	94	23.0	18.9	18.0	41	36
4	7.34	70	20.5	15.1	14.6	48	31
5	7.43	70	20.0	17.3	16.5	43	34
6	7.45	80	20.0	18.5	11.8	42	35
7	7.45	80	18.5	20.0	16.5	46	38
8	7.38	94	25.0	15.0	14.0	41	44
9	7.40	85	24.0	17.3	16.5	44	41
10	7.35	70	23.0	18.1	18.0	46	41

Valores obtenidos en sangre arterial previos a la derivación cardiopulmonar.



Cuadro 3 Estudio experimental

Perro No.	pH	PaO ₂	PaCO ₂	CO ₂	HCO ₃	BB	Ht
1	7.42	39	37	23.1	23	44	8
2	7.39	38	35	29.0	26	15	2.4
3	7.26	32	49	18.9	17.5	36.5	11
4	7.35	40	38	16.9	20	35	15
5	7.38	31	45	27.4	23	45	7
6	7.43	36	47	27.4	26	44	8
7	7.42	42	39	26.5	18	—	26
8	7.24	35	49	18.0	24	46	24
9	7.36	39	33.5	19.0	18	37.5	22
10	7.32	46	54	15.1	15	—	14

Valores de gases y hematocrito en sangre, obtenida en la línea venosa del circuito extracorpóreo.

Resultados

Con el lote de animales mencionados se obtuvieron grados de hemodilución de 32 a 94 por ciento; los resultados de gases en sangre se muestran en los cuadros 2, 3 y 4, así como en las figuras 2 y 3.

Experiencia clínica. Material y métodos

El material clínico se dividió en dos grupos:

Grupo A. Siete pacientes, cuya edad varió de 17 a 47 años. El tiempo de derivación fue de 36 minutos a 2:17 horas; en todos se utilizó hipotermia moderada que varió de 30 a 32°C. y el volumen exsanguinado fue de 1 300 a 3 600 ml. El volumen primario del oxigenador y los rellenados fueron similares a los empleados en la fase experimental. Se efectuaron determinaciones de hematocrito y de gases en la línea arterial y en la venosa del circuito de derivación; ade-

Cuadro 4 Estudio experimental

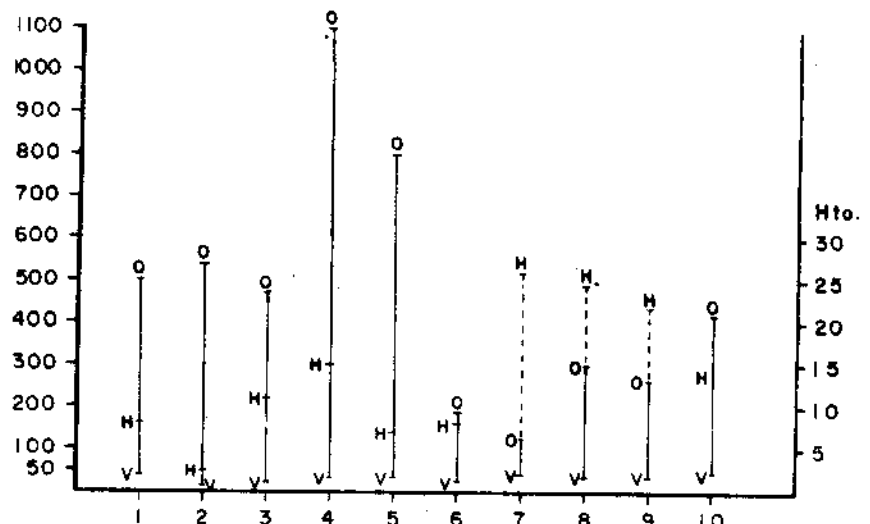
Perro No.	pH	PaO ₂	PaCO ₂	CO ₂	HCO ₃	BB	Ht
1	7.40	71	36	20.6	20.5	42.5	11
2	7.35	65	38	18.0	19	31.8	18
3	7.32	77	47	17.3	18	33	20
4	7.32	78	46	22.8	20	45	26
5	7.30	65	40	20.8	19	40	29
6	7.28	75	48	19.5	17	42.5	25
7	7.46	67	30	22.0	21.5	—	29
8	7.38	70	38	22.0	19	—	32
9	7.29	65	36	18.6	18.5	43	21
10	7.28	65	45	18.4	18.4	43	22

Valores de gases y hematocrito, obtenidos en sangre arterial después de la derivación cardiopulmonar.

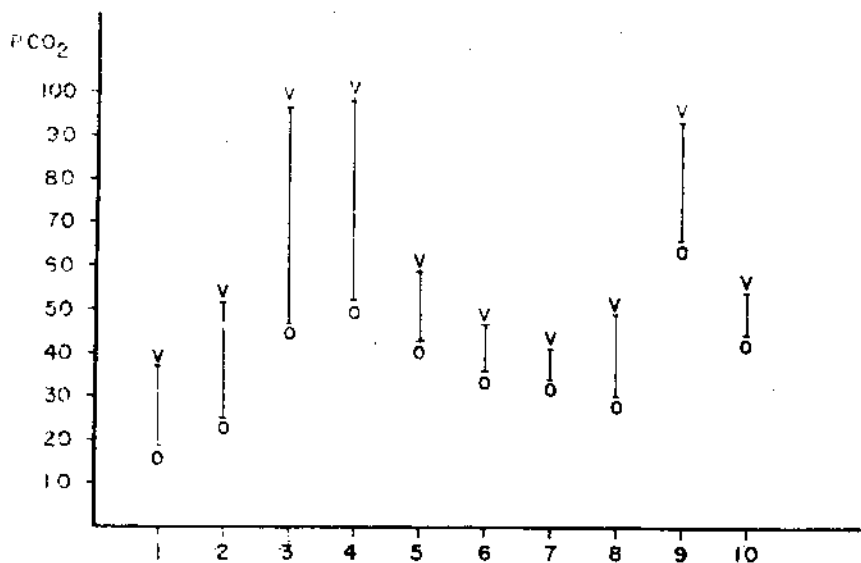
más, estudios de electrolitos antes, durante y después de la derivación cardiopulmonar. Todos los pacientes se heparinizaron y se hizo la canulación de cavas y aorta ascendente en la forma habitual para derivación cardiopulmonar. En estas condiciones se procedió a exsanguinar al paciente por la línea venosa del circuito de derivación cardiopulmonar, tal y como se efectuó en la fase experimental; el tiempo de exsanguinación varió de 1.5 a 3 minutos. Después de logrado el máximo volumen, se procedió a iniciar la perfusión arterial; en este tiempo se desvió el flujo venoso para continuar en la forma habitual el procedimiento de exclusión cardiopulmonar. La sangre se recolectó en un reservorio con capacidad de cinco litros, se pasó a bolsas con heparina y se almacenó temporalmente a 5°C.

Durante la cirugía a corazón abierto, la sangre que salió a las cavidades pericárdicas y pleural se desechó; el volumen necesario para mantener nivel adecuado

PO₂



2 Diferencias de PO₂ entre el oxigenador y la línea venosa durante la derivación cardiopulmonar. O = oxigenador, V = venosa. H = hematocrito.



3 Diferencias de PCO₂ entre el oxigenador y la línea venosa durante la derivación cardiopulmonar. O = oxigenador. V = venosa.

en el oxigenador se logró a base de soluciones electro-líticas, volumen que varió de 3 200 a 8 000 ml. Para terminar la derivación cardiopulmonar, se insistió en la insuflación con presión positiva por parte del anestesiólogo a base de concentraciones altas de oxígeno.

La retransfusión del líquido existente en el sistema extracorpóreo se efectuó en estrecha relación con el cuadro clínico del paciente y de los parámetros hemodinámicos, en especial el de la arteria pulmonar y el de la aurícula izquierda que se llevó a 20-25 mm. Hg. Al llegar a estas cifras, se suspendió la reinyección del líquido.

En el periodo postperfusión inmediato, se inició la administración de la sangre autóloga almacenada temporalmente al principio de la operación. La velocidad de la retransfusión estuvo condicionada a los fenómenos de coagulación, oxigenación y volemia observados en este periodo; se trató, siempre que fue posible, de conservar sangre autóloga para su uso en la sala de cuidados intensivos. En caso de hipotensión por

hipovolemia moderada, se emplearon expansores de volumen y soluciones electrolíticas o la sangre autóloga almacenada.

Resultados

En el grupo analizado no hubo ninguna defunción. En relación a los valores preoperatorios, durante y después de la perfusión, el equilibrio ácido-base se mantuvo en límites normales con ligera tendencia a la alcalosis metabólica. Las presiones parciales de O₂ y CO₂ fueron satisfactorias. Los electrólitos plasmáticos se mantuvieron en niveles adecuados. En cuanto al grado de hemodilución logrado, se observaron hematocritos desde 15 hasta 5.5 por ciento, tal como se observa en los cuadros 5, 6 y 7. En ninguno se presentó problema significativo de la coagulación. Las pérdidas de líquido obtenidas por aspiración variaron de 185 a 2 000 ml. La diuresis fue de 200 a 960 ml. en el tiempo de cirugía a corazón abierto.

Cuadro 5 Estudio clínico

	pO ₂	pH	CO ₂	pCO ₂	HCO ₃	BB	Ht	Na	K	Cl
1	63	7.46	23.0	31.5	22.0	-1	32	145	3.9	170
2	63	7.47	26.2	35.5	25.3	+3	40	135	4.0	110
3	69	7.53	27.0	32.0	26.0	+5	42	140	3.9	100
4	57	7.46	19.9	27.5	19.2	-1.5	51	135	4.1	106
5	62	7.50	22.5	28.5	22.0	+1	44	132	4.4	102
6	51	7.51	27.8	34.5	26.8	+5	49	147	3.7	98
7	36	7.39	24.0	39.0	23.0	-1	37	140	4.5	104

Valores obtenidos en sangre arterial, previos a la derivación cardiopulmonar.

Cuadro 6 Estudio clínico

	pO ₂	pH	CO ₂	pCO ₂	HCO ₃	BB	Ht	Na	K	Cl
1	32	7.61	25.0	24.5	25.0	+3	8.5	140	3.0	94
2	35	7.50	22.3	28.5	21.6	-1	8.5	143	4.5	87
3	33	7.59	33.2	34.5	32.7	+10	5.5	140	5.2	95
4	34	7.43	26.0	39.0	25.0	+1	15.0	130	5.7	97
5	38	7.46	17.9	25.0	17.0	-5.5	11.0	135	5.0	96
6	40	7.46	33.5	47.0	32.5	+9	9.5	138	2.6	92
7	44	7.51	29.8	37.0	28.8	+6	8.5	131	6.1	90.8

Valores de gases y electrólitos obtenidos en la línea venosa del circuito extracorpóreo.

Cuadro 7 Estudio clínico

	PO ₂	pH	CO ₂	pCO ₂	HCO ₃	BB	Ht	Na	K	Cl
1	99	7.43	22.0	32.5	21.0	-2	24	145	3.0	110.5
2	120	7.53	23.2	27.5	22.8	+1	19	145	4.7	99
3	285	7.58	31.1	33.5	30.8	+9	17	135	3.5	98
4	165	7.54	21.1	24.5	21.0	-1	20	134	5.5	102
5	160	7.48	18.0	24.0	17.5	-5	15	135	6.0	96
6	118	7.41	26.5	41.5	25.5	+1	21	148	2.8	106
7	160	7.35	25.0	44.5	23.8	-0.5	17	143	3.1	104.5

Valores de gases y electrólitos obtenidos en sangre arterial, después de la derivación cardiopulmonar.

En dos pacientes fue necesario el uso de fármacos para estimular la contracción miocárdica y poder suspender la derivación cardiopulmonar; estos pacientes no mostraron datos de insuficiencia cardíaca en el postoperatorio inmediato ni en el tardío. Fue operado con este método otro paciente que falleció; entre otros datos la necropsia mostró edema cerebral, hallazgo que no podemos desligar del método, razón por la cual se suspendió temporalmente el procedimiento.

Grupo B. Compuesto por tres pacientes adultos en quienes el procedimiento quirúrgico efectuado fue la aplicación de prótesis mitral, con anestesia similar al grupo anterior; el volumen primario de oxigenador y los rellenos se anotan en el cuadro 8.

Se efectuaron determinaciones de bilirrubinas, hematócrito, gases en línea arterial y venosa y otros estudios para conocer la osmolaridad y el grado de hipoxia celular por medio del estudio de lactatos y piruvatos. La exsanguinación al paciente se hizo por la línea venosa del circuito cardiopulmonar en forma similar a la fase anterior, pero en esta ocasión, y en forma simultánea, se inició la perfusión a través de la línea arterial con un flujo de inyección de 2 a 3.5 l./m² sup.; después de lograda la exsanguinación de 4 a 5 litros, se continuó la derivación cardiopulmonar en la forma habitual.

La sangre fue colocada en los reservorios utilizados a la derivación cardiopulmonar y se trasladó a bolsas con heparina para su almacenamiento temporal, el resto del procedimiento no tuvo variaciones en relación al grupo anteriormente descrito. No hubo defunciones.

Discusión

En la época actual ya no resulta necesario que los candidatos a cirugía a corazón abierto tengan cifras "ideales" de hematócrito y hemoglobina para que se lleve a cabo la anestesia fisiológicamente conducida, de acuerdo a lo anterior y a algunos fenómenos físico-

químicos. Se puede afirmar que no es necesario el uso de sangre para llenar los circuitos extracorpóreos y, más aún, que resulta riesgoso y complicado el uso de sangre de banco para este fin.

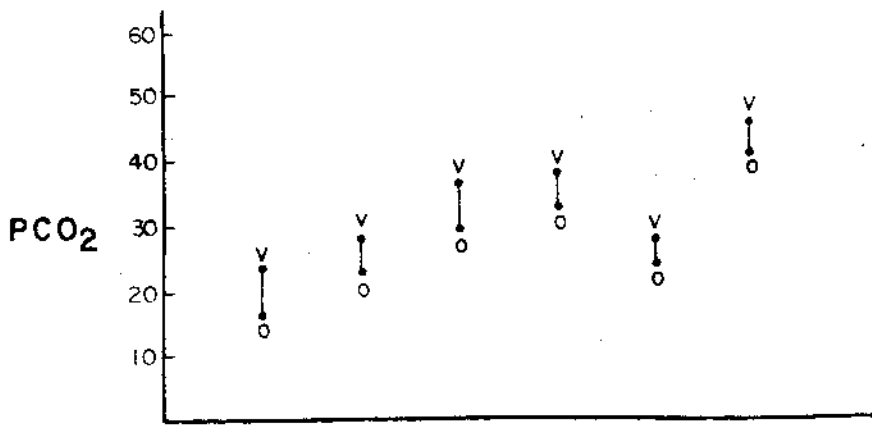
Numerosas publicaciones hacen notar la buena tolerancia a la hemodilución en circulación extracorpórea, al hecho de poder hacer sangría previa a la exclusión cardiopulmonar hasta en un 20 por ciento del volumen total circulante y en casos especiales la abstención del uso de sangre en cirugía mayor. Estudios *in vitro* mostraron que las soluciones electrolíticas aseguran un adecuado transporte de O₂; esto se comprobó en los 10 perros que se sometieron a derivación cardiopulmonar utilizando soluciones electrolíticas con resultados satisfactorios. En base a esto, se procedió a la aplicación clínica de este procedimiento y los resultados fueron igualmente buenos de acuerdo a las siguientes observaciones: no hubo problemas de sangrado importante ni trastornos electrolíticos, la diuresis osmótica resolvió el problema de la dilución y no se observaron problemas en la oxigenación como lo demuestran las cifras de presión parcial de O₂ y CO₂ en la línea venosa del circuito extracorpóreo (fig. 2, 3, 4 y 5).

Es conocida la capacidad de las soluciones electrolíticas para disolver moléculas de oxígeno y cederlas con relativa facilidad en contra del complejo mecanismo bioquímico de la hemoglobina para este mismo fenómeno. De ahí que con este método se requiera menor cantidad de flujo de oxígeno a nivel del oxigenador, pues es menor el requerimiento de este gas, por la mayor solubilidad del mismo en soluciones electrolíticas, en comparación con la sangre total. Esto hace pensar que gracias a ese fenómeno físicoquímico, el procedimiento tiene bases lógicas para que se continúe su uso.

El procedimiento ya conocido mostró otras ventajas: descarga de trabajo técnico y ahorro a nivel del banco de sangre, así como desaparición del riesgo de isoimmunización; si se considera que casi 50 por ciento de los enfermos del grupo de los reumáticos, potencialmente pueden ser reintervenidos o han sido operados

Cuadro 8 Llenado primario

Normosol	5 350 ml.
Manitol al 20 por ciento	575 ml.
Plasma	3 050 ml.
Rheomacrodex	1 150 ml.
KCl	20 ml.
Heparina	187 ml.
Bicarbonato	80 mEq.
Total	10 125 ml.



4 Diferencias de PCO_2 entre el oxigenador y la línea venosa durante la derivación cardiopulmonar. O = oxigenador. V = venosa.

en un lapso de 20 años, este último dato reviste mayor interés.

El sangrado transoperatorio y su aspiración intracardiaca o extracardiaca en ningún momento representan problema y por consecuencia desaparecen las complicaciones atribuibles a ello, tales como: presencia de hemólisis, ictericia, daño renal y alteración de los fenómenos de coagulación, de tal manera que la aspiración puede hacerse en forma liberal por no requerirse sangre para la reposición, pues en realidad no se trata de un sangrado verdadero, sino de pérdida de líquidos.

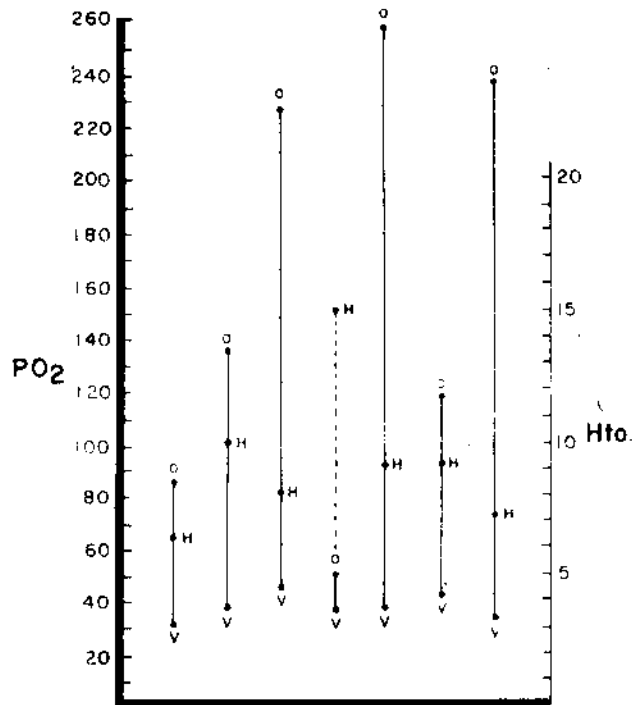
Los efectos hemodinámicos agudos secundarios a la exsanguinación de grandes volúmenes de sangre ob-

servados en la fase experimental y clínica, se evitan al hacer la retransfusión simultánea a la exsanguinación; la fuga de líquido al tercer espacio intersticial no se observa con el uso de macromoléculas y plasma en esta fase última, lo cual suponemos se debe a que se ha hecho un cálculo más adecuado de la concentración electrolítica, macromoléculas, osmolaridad y presión oncótica, y tal parece que el comportamiento de líquidos que se han utilizado para el circuito extracorpóreo esté más cercano al estado fisiológico.

Entre los parámetros de mayor interés para la solución de llenado primario se tomó en cuenta la osmolaridad; sin embargo, estamos conscientes de que no es el dato más importante, pues su concentración electrolítica o tamaño de moléculas puede permanecer igual con soluciones diferentes; es de mayor importancia la presión oncótica que guardará relación estrecha con el comportamiento de líquidos a nivel de membrana capilar. Esta presión oncótica, que básicamente está dada por macromoléculas, se puede medir por la fórmula de Keys:

Cabe mencionar que en esta última etapa se ha requerido del uso de plasma homólogo y en cuanto se demuestre la bondad del método, se procederá al método de plasmaféresis para llegar al ideal de no introducir proteínas extrañas ni anticuerpos y evitar las reacciones inmunológicas. Se ha estimado que el volumen de sangre extraído debe ser repuesto con una cantidad equivalente de dos y media a cinco veces de soluciones cristaloides para mantener el volumen intravascular. En este trabajo, al igual que en el de Hallowell, se requirió en forma sorpresiva de menor volumen. La explicación que se podría dar a esto es la administración de líquidos en la fase previa a la derivación cardiopulmonar.

Se han descrito sangrados importantes después de la cirugía de corazón abierto; en este grupo inicial no se observó dicho fenómeno. Además, el total de soluciones cristaloides administradas se eliminaron en las primeras 48 horas del postoperatorio.



5 Diferencias de PO_2 entre el oxigenador y la línea venosa durante la derivación cardiopulmonar. O = oxigenador. V = venosa. H = hematocrito.

Por último, estamos convencidos de que para los fines de oxigenación extracorpórea se puede prescindir de grandes volúmenes de eritrocitos. Muchos de los datos y resultados de laboratorio no han sido analizados, pues el número de casos es reducido y no se pueden hacer conclusiones; además quedan muchas dudas por resolver, entre otras, los efectos en la viscosidad sanguínea, el gasto cardiaco, la reología sanguínea y el comportamiento de los electrolitos en los espacios corporales; cuáles fueron las respuestas de tipo renal y de la medula ósea, la hipoxia celular regional y muchos más, que requieren de conocimientos, tiempo, madurez y análisis crítico.

REFERENCIAS

1. Ablaza, S. G. G.; Raber, G. T.; Blanco, G.; Shemanski, T. y Nichols, H. T.: *Intentional hemodilution perfusion*. Arch. Surg. 91:893, 1965.
2. Anderson, M. N. y Kuchiba, K.: *Blood trauma produced by pump oxygenators*. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 57:238, 1969.
3. Argüero, R.; Escalante, G.; Ochoa, E.; Soria, G.; Cuéllar, L. y Solís, G.: *Exsanguinación, hemodilución extrema y retransfusión autóloga en derivación cardiopulmonar*. Archivos de Investigación Médica (Méx.). 6:41, 1975.
4. Ashmore, P. G.; Svitek, V. y Ambrose, P.: *The incidence and effects of particulate aggregation and microembolism in pump-oxygenator systems*. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 55: 691, 1968.
5. Benson, B. R.; Hutchison, J. C. y Swenson, E. E.: *High-flow body perfusion hemodilution*. Ann. Thor. Surg. 1:581, 1965.
6. Bernstein, E. F.; Castaneda, A.; Evans, R. L. y Varco, R. L.: *Alterations in red blood cell charge with extracorporeal circulation*. Surg. Forum 13:193, 1962.
7. Buckley, M. J.; Usten, W. G.; Goldblatt, A. y Laver, M. B.: *Severe hemodilution and autotransfusion for surgery of congenital heart disease (CHD)*. Surg. Forum 22:160, 1971.
8. Cuello, L.; Bhanganada, K.; Mack, J. D. y Lillehei, C. W.: *Hemodilution in extracorporeal circulation; conference on evaluation of lung in shock*. National Academy of Sciences National Research Council. pp. 114-121, 1963.
9. Cohn, L. H.; Angell, W. W. y Shumway, N. E.: *Body fluid shifts after cardiopulmonary bypass. I. Effects of congestive heart failure and hemodilution*. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 62:423, 1971.
10. Comishion, R. C.; Framow, W.; Kelsey, D. M.; Tokinga, K.; Davies, A. L.; Joshi, P.; Cathcart, R. T. y Pierucci, L.: *Effect of partial and total cardiopulmonary bypass with whole blood or hemodilution priming on pulmonary surfactant activity*. Surg. Res. 8:1, 1968.
11. Cooley, D. A.; Beall, A. C., Jr. y Grondin, P.: *Open heart operations with disposable oxygenators, 5 per cent dextrose prime and normothermia*. Surgery. 52:713, 1962.
12. De Wall, R.; Lillehei, R. y Seller, R.: *Hemodilution perfusions for open heart surgery*. New Engl. J. Med. 266:1078, 1962.
13. Gollub, S.; Svigals, R.; Bailey, C. P.; Hirose, T. y Schaefer, C.: *Electrolyte solution in surgical patients refusing transfusion*. J.A.M.A. 215:2077, 1971.
14. Hallowel, P.; Bland, J. H. L.; Bhir, B.; Buckley, M. H. y Lawentén, E.: *Transfusion of fresh autologous blood in open-heart surgery*. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 64:941, 1972.
15. Konrad, D.: *Presión oncótica*. Tablas científicas Ciba-Geigy, S. A. Basilea, Suiza, p. 562, 1971.
16. Laver, M. B. y Buckley, M. J.: *Extreme hemodilution in the surgical patients*. En: *Hemodilution: Theoretical basis and clinical application*. International Symposium Rottach-Egetn. Basilea, S. Karger, p. 215, 1972.
17. Long, D. M., Jr.; Sánchez, L.; Varco, R. L. y Lillehei, W.: *The use of low molecular weight dextran and serum albumin as plasma expanders in extracorporeal circulation*. Surgery 50:12, 1961.

18. Messmer, K.: *Hemodilution*. Clin. Quir. de N. Am. p. 659, 1975.
19. Moyer, C. A. y Butcher, H. R., Jr.: *Burns, shock and plasma volumen regulation*. En: *Bioassay of the therapy of hemorrhagic shock*. St. Louis, The C. V. Mosby, Co. 1967.
20. Hepatitis Study Group: *Risk of post-transfusion hepatitis in the United States. A prospective cooperative study*. J.A.M.A. 220:692, 1972.
21. Reid, D. L.; Digerness, S. B. y Kirklin, J. W.: *Changes in whole body venous tone and distribution of blood after open intracardiac surgery*. Amer. J. Cardiol. 22:621, 1968.
22. Replogle, R. L.; Kevy, S. V. y Gross, R. E.: *Some hematologic aspects of prolonged blood pumping*. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 54:688, 1967.
23. Rigor, B.; Bosomworth, P. y Rush, B. F., Jr.: *Replacement of more than one liter with Hartmann's solutions*. J.A.M.A. 203:399, 1968.
24. Roe, B. B.; Swenson, E. E.; Hepp, S. S. y Bruns, D. L.: *Total body perfusion in cardiac operations with perfusate of balanced electrolytes and low molecular weight dextran*. Arch. Surg. 88:128, 1964.
25. Sakai, V. y Paton, B. C.: *Physiologic effects of rapid hemodilution*. Arch. Surg. 91:887, 1965.
26. Sheiman, M. M.; Sullivan, R. W. y Hyatt, K. H.: *Magnesium metabolism in patients undergoing cardiopulmonary bypass*. Circulation 39:40 (Supl. 1):1, 1969.
27. Tice, D. A. y Worth, M. H.: *Cellular damage associated with extracorporeal perfusion: Plasminogen activation and lysosomal enzyme activity*. Surgery 63:669, 1968.
28. Zaorsky, J. R.; Hailman, G. L. y Cooley, D. A.: *Open-heart surgery for acquired heart disease in Jehovah's witnesses*. Amer. J. Cardiol. 29:186, 1972.
29. Zuhdi, N.; Carey, J. y Greer, A.: *Hemodilution for body perfusion*. J. Okla. Med. Ass. 57:88, 1963.

COMENTARIO OFICIAL

LUIS SÁNCHEZ-MEDAL *

Deseo empezar agradeciendo al doctor Rubén Argüero y colaboradores me hayan encargado hacer el comentario oficial de su trabajo y a la vez, felicitarlos por la calidad del mismo. El trabajo que han presentado tiene diversos ángulos de interés para ser comentados, pero por limitaciones de tiempo me concretaré a tratar el relativo al aporte de oxígeno a los tejidos en el sujeto con anemia. Por desgracia, tengo dudas que no he podido aclarar: los autores dan importancia al transporte de oxígeno disuelto en el plasma y en el complejo líquido utilizado para efectuar la hemodilución. En ninguno de los tratados de hematología, ni en los artículos sobre transporte sanguíneo de oxígeno, incluyendo trabajos publicados el año pasado que he podido revisar, se le da importancia a este punto; tradicionalmente se ha considerado que la función fundamental de los eritrocitos es transportar oxígeno a los tejidos y que el agente fundamental de dicho transporte es la hemoglobina. Creo que mi pensamiento al respecto es el tradicional, si bien debo reconocer que puede ser atrasado o estar en un error.

Ajustaré mi comentario a los conceptos tradicionales relativos a la anemia crónica que considero en gran parte son aplicables al problema agudo que plantea la experimentación clínicoquirúrgica, objeto del trabajo de Argüero y colaboradores.

* Académico titular.

La anemia aguda habitual tiene una diferencia fundamental con la anemia crónica. En la primera, a menos que la corrija el médico, existe hipovolemia y es ésta la que mata al paciente. Un sujeto difícilmente sobrevive a la pérdida brusca del 60 por ciento de su volumen circulante. La pérdida de sangre con hipovolemia conduce a una caída en la presión venosa central y disminución en el gasto cardiaco, lo que a su vez conduce a descenso en la tensión arterial. Lo anterior desencadena una descarga adrenérgica, aumento en la frecuencia y en la fuerza cardíacas, constricción de las venas y vénulas y aumento en la resistencia periférica especialmente en la piel, en los músculos, en los riñones y en los intestinos. El aumento en la resistencia es especialmente precapilar, de manera que la presión y el flujo a través de los capilares están reducidos. En resumen, los mecanismos de adaptación a la anemia aguda son inadecuados, si no es que contraproducentes, para corregir la hipoxia.

Los mecanismos de adaptación a la anemia crónica son diferentes y todos ellos eficientemente orientados a corregir la hipoxia. Personalmente he podido observar pacientes deambulando con niveles de hemoglobina de 0.8 y de 1.0 g., esto es, inferiores a la cifra de 1.6 a 1.8 g. que tuvo seguramente el paciente con mayor grado de hemodilución de la serie de enfermos del doctor Argüero.

Los mecanismos de adaptación del organismo a la reducción en la hemoglobina sanguínea, considerando ésta, conforme al conocimiento clásico, como el principal conductor de oxígeno a los tejidos, son:

1. Un aumento en la perfusión de los tejidos. Se ha visto que, en reposo, con hemoglobina y oxigenación normales, se encuentran abiertos pocos capilares. Cuando la demanda de oxígeno aumenta, por el ejercicio, o el aporte de éste disminuye, por la anemia o por defecto cardiopulmonar, el número de capilares abiertos aumenta. En un estudio se encontró que de cinco capilares abiertos por mm² de músculo durante el reposo, el número aumentó a 190 durante la actividad. Indirectamente nosotros hemos comprobado este hecho al observar que la relación entre el hematócrito total y el hematócrito venoso, que en el normal es de 0.9, en el anémico desciende a 0.8 con cifras extremas de 0.66 a 0.70. Esto pone de manifiesto la ampliación en la red capilar útil o abierta, en tanto que por razones hidráulicas, la sangre capilar es menos rica en eritrocitos que la sangre venosa, lo que condiciona que el hematócrito venoso sea más alto que el hematócrito total, tanto más alto cuanto mayor sea la

cantidad de sangre contenida en la red capilar. La disminución en la viscosidad sanguínea ocasionada por su pobreza en glóbulos rojos también favorece notablemente el flujo sanguíneo por los capilares.

2. Un aumento en la extracción del oxígeno sanguíneo por los tejidos. La accesibilidad de oxígeno a los tejidos está regulada por la cantidad de 2,3-difosfoglicerato, cuya síntesis aumenta rápidamente en la anemia. El pH eritrocítico, el cual aumenta en proporción a la magnitud de la anemia, guarda una relación directa con la síntesis de 2,3-difosfoglicerato.

3. Un aumento en el gasto cardiaco. Este factor, unido al señalado en primer lugar, determina que la cantidad de oxígeno que los tejidos deben extraer de cada unidad de sangre que pasa por ellos disminuya. El aumento en el gasto cardiaco se hace a expensas de un aumento en el trabajo del corazón, lo que conduce a la cardiomegalia frecuente en las anemias crónicas.

4. Un aumento en la capacidad vital y en la frecuencia respiratoria, con aumento en la relación aire atmosférico-aire residual presente en los alveolos.

Los dos últimos factores, el cardiaco y el pulmonar, no influyen, desde luego, en el caso de la circulación extracorpórea; los primeros, en cambio, al igual que en el sujeto con anemia crónica, deben ser tomados en consideración para comprender por qué un sujeto con cifras de hemoglobina de 1.8 a 5-6 g. puede ser sometido a intervenciones quirúrgicas mayores sin morbilidad ni mortalidad.

REFERENCIAS

- Keitt, A. S.; Hinkes, Ch. y Blodk, A. J.: *Comparison of factors regulating red cell 2,3-DPG in acute and chronic hypoxia*. J. Lab. Clin. Med. 84:275, 1974.
- Krogh, A.: *The anatomy and physiology of capillaries*. Yale University Press, New Haven, p. 422, 1929.
- Loria, A.; Sánchez Medal, L.; Kauffer, N. y Quintanar E.: *Relationship between body hematocrit and venous hematocrit in normal, splenomegalic and anemic states*. J. Lab. Clin. Med. 60:396, 1962.
- Meldon, J. H. y Gargy, L.: *The blood oxygen transport system*. Acta Med. Scand. Supp. 578:19, 1975.
- Messmer, K.: *Hemodilution*. Surg. Clin. N. Am. 55:659, 1975.
- Mollison, P. L.: *Blood transfusion in clinical medicine*. 5a. ed. Blackwell Scient Publ. Oxford, Cap. 4, 1972.
- Pollock, A. y Cotter, K. P.: *Oxygen transport in anaemia*. Brit. J. Haemat. 25:631, 1973.