

ARTÍCULO ORIGINAL

Hemodilución normovolémica inducida: mejoría de los valores hemodinámicos y gasométricos en pacientes con claudicación a la marcha

Induced normovolemic hemodilution: improvement of the hemodynamic and gasometric values in patients with walk claudication

Dr. Celso Suárez Lescay¹ y Lic. Caridad Hernández Acosta²

¹ Especialista de II Grado en Angiología y Cirugía Vascular. Profesor Auxiliar. Hospital Provincial Docente "Dr. Joaquín Castillo Duany", Santiago de Cuba, Cuba.

² Licenciada en Enfermería. Hospital Provincial Docente "Dr. Ambrosio Grillo Portuondo", Santiago de Cuba, Cuba.

Resumen

Se realizó un estudio de casos y controles de 49 pacientes con claudicación intermitente a la marcha, atendidos en la consulta de hemodilución del Hospital Provincial Docente "Dr. Joaquín Castillo Duany" de Santiago de Cuba en un quinquenio, a fin de identificar los cambios observados en la hiperemia y gasometría de la población investigada. Los integrantes de la casuística fueron asignados a uno de 2 grupos: los tratados con hemodilución normovolémica inducida (grupo de estudio) y los que recibieron tratamiento convencional con vasodilatadores antiagregantes y ejercicio físico (grupo control), teniendo en cuenta la presencia de factores de riesgo en ambos. Se concluyó que los primeros mejoraron las condiciones hemodinámicas y de oxigenación, dadas por el aumento del índice de amplitud y de la relación consumo de oxígeno e índice de flujo eritrocitario.

Palabras clave: hemodilución normovolémica inducida, claudicación intermitente a la marcha, hiperemia reactiva, hemogasometría, hemodinamia, vasodilatadores antiagregantes, ejercicio físico

Abstract

A case-control study of 49 patients with intermittent walk claudication, assisted at the hemodilution service of "Dr. Joaquín Castillo Duany" Teaching Provincial Hospital in Santiago de Cuba was carried out in a five year period, in order to identify the changes observed in the hyperemia and gasometry of the investigated population. The case material was assigned to one of 2 groups: the patients treated with induced normovolemic hemodilution (study group), and those who received conventional treatment with antiplatelet vasodilators and physical exercise (control group), keeping in mind the presence of risk factors for both. It was concluded that the first ones improved hemodynamics and oxygenation conditions, given by the increase of the width index and of the relationship between oxygen consumption and erythrocytes flow index.

Key words: induced normovolemic hemodilution, intermittent walk claudication, reactive hyperemia, hemogasometry, hemodynamics, antiplatelet vasodilators, physical exercise

INTRODUCCIÓN

La hemodilución normovolémica inducida (HMI) disminuye la viscosidad de la sangre, que unido a la reducción de la resistencia vascular, mejora las condiciones hemorreológicas. Su uso en la cirugía cardiovascular es cada vez más cotidiano, aprovechando sus ventajas y las de los hemodiluyentes utilizados.^{1,2}

A pesar de los novedosos métodos hemodinámicos, la hiperemia reactiva no ha perdido su utilidad, junto con la hemogasometría resulta útil para analizar la vitalidad de los tejidos, si se tiene en cuenta que el paciente al que se le ha realizado una hemodilución normovolémica, en condiciones normales, mantiene o aumenta la oxigenación.³

Por tal razón se decidió realizar esta investigación con el objetivo de determinar los cambios en la hiperemia y en la oxigenación de los tejidos después de la hemodilución.

MÉTODOS

Se efectuó un estudio de casos y controles de 49 pacientes con claudicación intermitente a la marcha, atendidos en la consulta de hemodilución del Hospital Provincial Docente "Dr. Joaquín Castillo Duany" de Santiago de Cuba en un quinquenio, a fin de identificar los cambios observados en la hiperemia y gasometría de la población investigada.

La hiperemia reactiva y la gasometría fueron realizadas antes y después de la hemodilución y se consideró:

Hiperemia reactiva: Respuesta producida ante una oclusión arterial temporal, medida con el fotopletismógrafo Angiodin PD-3000, para lo cual el paciente adoptó la posición decúbito supino durante, al menos, 5 minutos antes de la medición. Se colocó la celda fotoeléctrica en el primer dedo del pie que iba a ser estudiado para obtener una fotopletismografía digital, cuando la onda fue plana no se realizó la hiperemia, en el resto de los casos se colocó un manguito 10 cm por encima de la rodilla y se realizó oclusión a 300 mm de Hg, durante 3 minutos, con un oscilógrafo. Al liberar la oclusión se tomaron los registros pletismográficos cada 15 segundos (durante 2 minutos), luego cada 30 segundos (durante 7 minutos) y finalmente el brazalete y la fotocelda fueron retirados.

Registros obtenidos:

- Tiempo de latencia: Tiempo en segundos desde que se produce la liberación hasta la primera onda fotopletismográfica.
- Tiempo de hiperemia máxima: tiempo en segundos en correspondencia con el punto de máxima amplitud de la curva.

- Índice de amplitud: cociente obtenido al dividir el valor de la máxima amplitud por el valor basal.

La evaluación hemodinámica se midió por los cambios hemodinámicos en el índice de amplitud en más de 25%, en relación con el valor inicial.

Gasometría: La arteria radial de la mano no dominante del paciente fue canalizada por punción (con aguja 21) y previa prueba de Allen. Se tomó una muestra de sangre arterial, con fracción inspirada de oxígeno (FIO₂) de 0,21, la cual se analizó en un hemogasómetro AVL Compact 3, al que se le controla la calidad automática cada 25 determinaciones con patrones conocidos, según las recomendaciones establecidas.

La evaluación gasométrica se midió por los cambios en los parámetros en más de 25% en relación con el valor inicial y con la ayuda del programa computarizado de hemodinámica y oxigenación (HEMO). Fueron calculadas las siguientes variables de transporte de oxígeno:

- VO₂: consumo de oxígeno por los tejidos por unidad de tiempo
- COD: coeficiente de difusión de transporte de oxígeno
- O₂ Ext: porcentaje de oxígeno extraído de la sangre
- RCRF: índice de flujo eritrocitario
- TOE: extracción tisular de oxígeno en relación con el flujo eritrocitario
- OTRF: relación entre el consumo de oxígeno y el índice del flujo eritrocitario

RESULTADOS

En la **tabla 1** se muestra que antes de la hemodilución, la media en el tiempo de hiperemia máxima (THM) fue de 1,35 en el grupo control y 1,33 en el de estudio, mientras que la del índice de amplitud (IA) resultó ser de 1,64 y 1,91 en ambas extremidades, respectivamente.

Tabla 1. *Hiperemia reactiva al inicio y al final del tratamiento según grupos*

Hiperemia	Grupo control		Grupo de estudio	
	THM Media	IA Media	THM Media	IA Media
Inicio	1,35±0,10	1,64±0,03	1,33±0,09	1,91±0,03
Final	1,34±0,10	1,64±0,02	1,34±0,10	3,88±0,02

IA: p=0,017

THM: p=0,018

La hiperemia en ambos grupos fue evaluada semanalmente, donde se encontró que durante las 6 semanas de tratamiento, el tiempo de hiperemia máxima (THM) mantuvo valores medios de 1,33 en el grupo control, con muy pocas modificaciones. El grupo de estudio tampoco reflejó variaciones de consideración, con fluctuaciones entre 1,35 y 1,28 (**figura 1**).

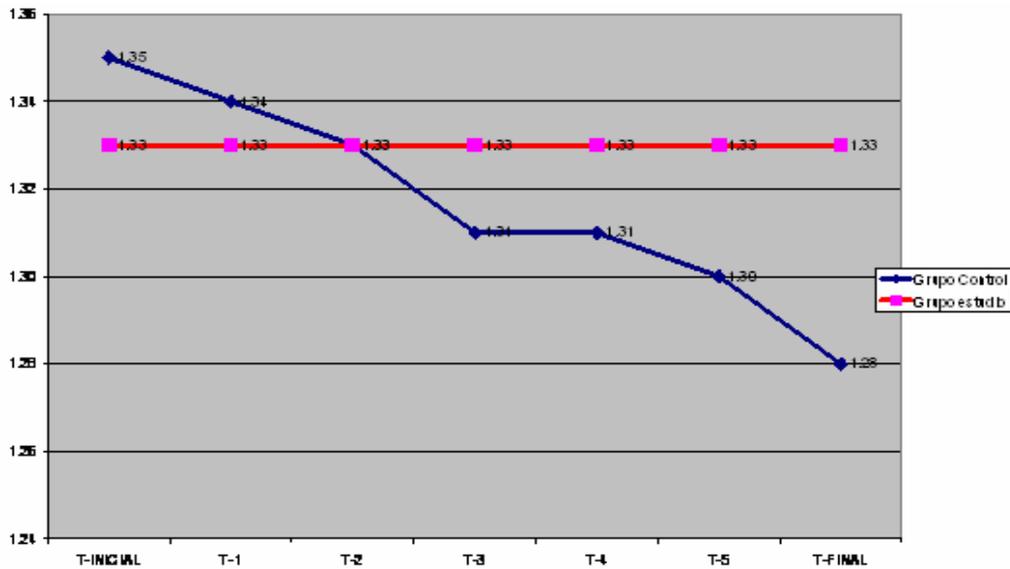


Figura 1. Tiempo máximo de hiperemia según grupos

En los pacientes del grupo de estudio hubo un aumento gradual del IA, con un incremento brusco a partir de la primera semana y un valor medio de 2,63, que se elevó a 3,88 en la cuarta semana. La línea de tendencia calculada por esta curva muestra un movimiento suave ascendente, lo cual significa que si se realizaran mediciones posteriores de dicho índice este reflejaría un moderado crecimiento en función del tiempo. En el grupo control se aprecian valores medios bajos en comparación con el de estudio, con oscilaciones entre 1,68 y 1,77 como dato máximo observado, de modo que se aprecia una curva ligera, con tendencia logarítmica que exhibe un movimiento muy similar al de los valores medios graficados, y revela que si se hicieran nuevas mediciones, no habría cambios evidentes (**figura 2**).

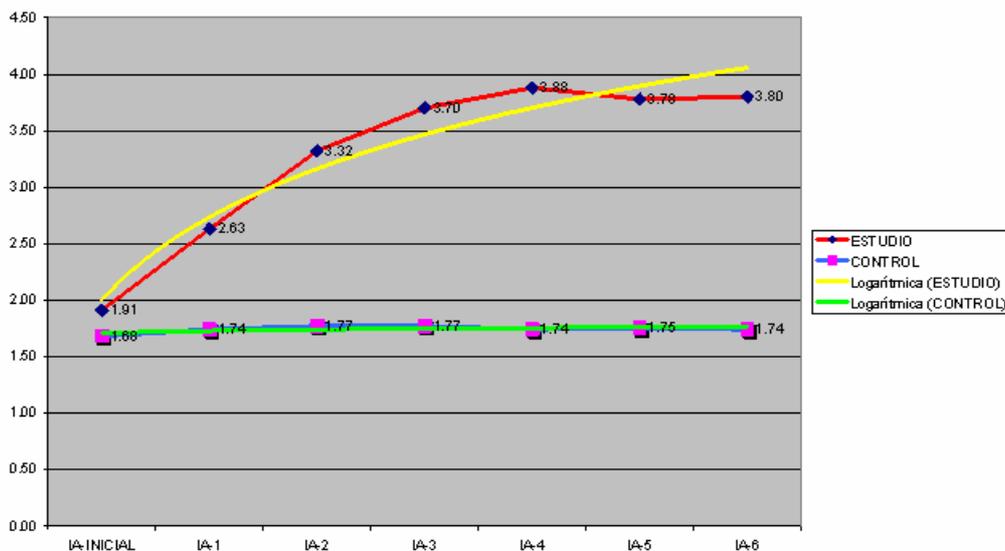


Figura 2. Índice de amplitud en los grupos de estudio y control

Mediante la hemogasometría se realizó la evaluación humoral antes y después de la hemodilución en los grupos de estudio y control (**tabla 2**). En este último no se modificaron los parámetros, pero en el primero aumentó el coeficiente del transporte de oxígeno, así como su consumo tisular por unidad de tiempo, como muestra de mejor uso con mayor extracción de oxígeno de la sangre y mayor perfusión (**figura 3**).

Tabla 2. *Parámetros hemogasométricos en los grupos de estudio y control*

Parámetros gasométricos	Grupo control		Grupo de estudio	
	Antes (Media)	Después (Media)	Antes (Media)	Después (Media)
COD	4,02±0,2	4,1±0,2	4,0±0,2	4,1±0,2
VO ₂	215,2±29,6	219,2 ±29,9	219,2±29,3	227,6 ±29,9
O ₂ Ext	24,5±1,2	24,5 ±1,3	26,8±1,2	26,7 ±1,7
RCfr	1,2±0,5	1,2 ± 0,6	1,2±0,8	1,3 ± 0,8
TOE	4,3±1,1	4,2 ±1,3	4,2±1,5	4,2 ±1,7
OTRF	16,1±3,6	19,5 ±3,0	16,6±3,6	20,5 ±3,1
	p=0,042		p=0,048	

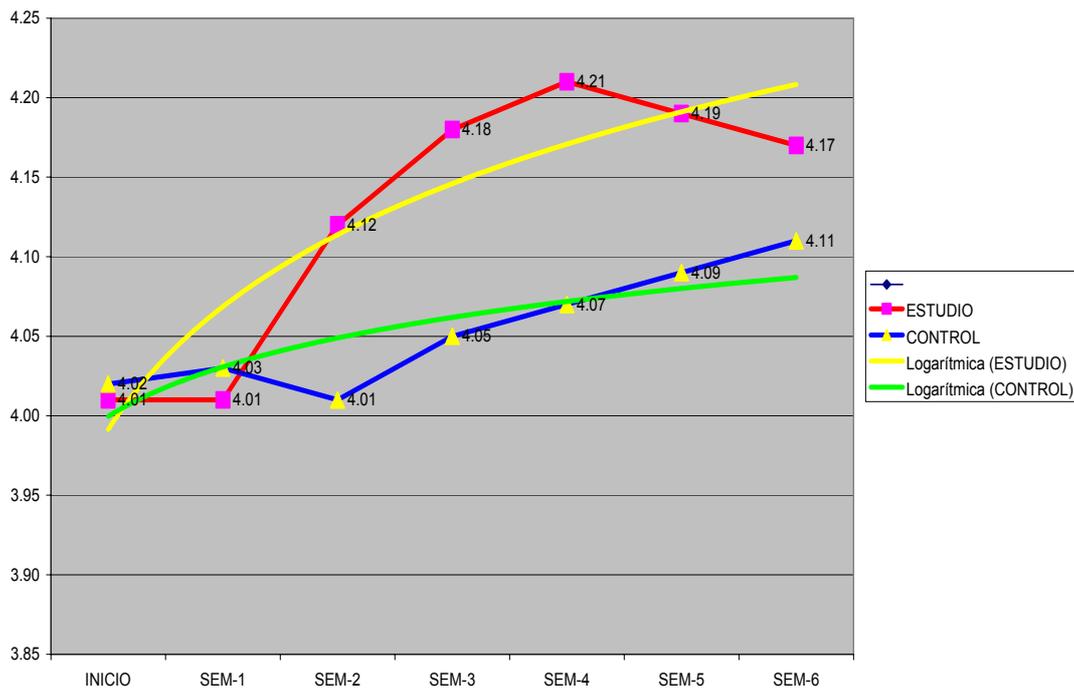


Figura 3. *Coeficiente de transporte de oxígeno en los grupos de estudio y control*

No hubo cambios evidentes en el flujo eritrocitario, lo cual quiere decir que a pesar de la reducción del número de eritrocitos, los tejidos consumen más oxígeno y la hemodilución mejora la perfusión de los gases en estos (**figura 4**).

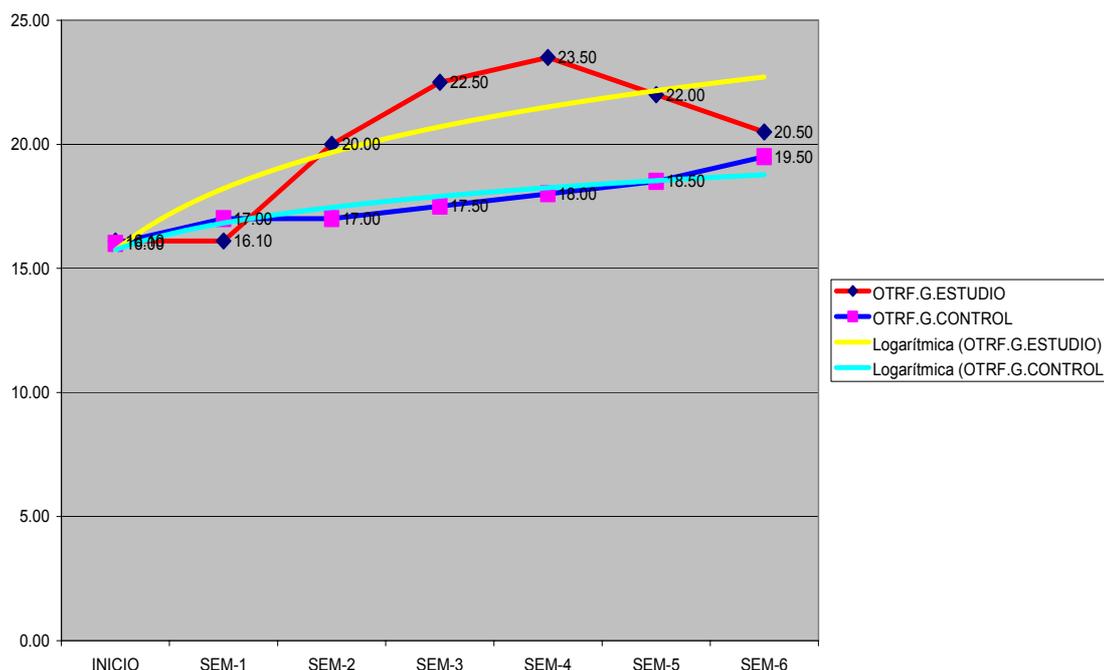


Figura 4. Relación flujo eritrocitario y transporte de oxígeno en los grupos de estudio y control

DISCUSIÓN

La fotopleletismografía es considerada por muchos, como una prueba de escaso valor, sobre todo si se dispone de un equipo Doppler, pues este último proporciona información de gran utilidad, pero obviamente continúa siendo valiosa como se demuestra en innumerables estudios.^{4, 5} En esta investigación, la hiperemia reactiva fue realizada a todos los pacientes de ambos grupos cuando hubo una curva fotopleletismográfica, o sea, ninguna onda plana.

El margen entre la circulación en reposo y el riego máximo constituye la reserva de aporte sanguíneo, lo cual es causado por trabajo en condiciones de isquemia o por una compresión arterial como la hiperemia reactiva, definida como la respuesta producida ante una oclusión arterial temporal y registrada mediante fotopleletismógrafo.

Se hizo más de una extracción durante el tratamiento hasta llevar el hematocrito aproximadamente a 32 vol %, de forma tal que se produjo una mejor adaptación y tolerancia del paciente a la anemia, considerada como un gran peligro para la oxigenación.

Diversos mecanismos de adaptación mantienen la oxigenación tisular durante la anemia, incluyendo la elevación del gasto cardíaco y la tendencia a un incremento de producción de células rojas mediante un control de retroalimentación, atribuible al aumento en la producción y liberación endógena de eritropoyetina humana recombinante, hormona identificada por primera vez en 1977, cuyos niveles endógenos normales de 5 a 13 u/L son suficientes para mantener la cantidad de células rojas y el transporte de oxígeno en valores hemostáticos.⁶ En la anemia, la reducción de la corriente de oxígeno en el riñón eleva la síntesis de eritropoyetina exponencialmente, de manera que una disminución del hematocrito por debajo de 20

vol % en el plasma, acrecienta los niveles de eritropoyetina en 100 veces o más, lo que no se ve grandemente modificado en la hemodilución, debido a que la oxigenación no se afecta, a pesar de la anemia y a la forma escalonada de las extracciones.

Considerando que el tiempo de hiperemia máxima sea el que corresponde a esa condición, lo que ha ocurrido es totalmente lógico, pues se ha producido poco cambio relacionado con la variación en el tiempo de respuesta de hiperemia, mientras que si ha aumentado considerablemente el índice de amplitud, ello representa un mayor volumen de pulso, o sea, mayor facilidad de la sangre para alcanzar las porciones más distales y, por tanto, una mejoría notable del flujo y de la isquemia, que constituye una adecuada respuesta vasodilatadora, capaz de orientar hacia una eficacia de los vasos colaterales.

En cuanto a la hiperemia, la mejoría depende de si la oclusión es aguda o crónica y de la arteria ocluida. Es válido como regla que las oclusiones proximales están mejor compensadas que las distales, pues la carencia de vasos sanguíneos impide un suficiente desarrollo de las vías colaterales; estas últimas desempeñan una función determinante en la respuesta terapéutica de la obliteración crónica.

Se ha demostrado que mallas vasculares preformadas crecen intensamente con el tiempo, caracterizadas por peculiaridades morfológicas e incremento del calibre y la sinuosidad, cuya capacidad de transporte sobrepasa en un múltiplo a la de los vasos de desvío, atribuible a la ampliación de la luz vascular y de su longitud, lo cual obedece a factores nerviosos, hemodinámicos y humorales, así como también a fuerzas físicas puras, que al producirse por la hemodinámica de la obliteración, inducen y controlan el crecimiento de vías colaterales, en cuya aparición resulta determinante el ejercicio físico y mucho más después de que un paciente ha sido hemodiluido, pues al aumentar la distancia de claudicación, puede hacer igualmente dicha actividad y contribuir al bienestar del enfermo. Estos elementos revelan cómo la hemodilución es capaz de proporcionar mejoría clínica y en qué forma la hiperemia reactiva garantiza un pronóstico hemodinámico en pacientes con oclusiones arteriales.^{4, 5}

La disminución del hematocrito también puede explicar lo encontrado, teniendo en cuenta que ello reduce la viscosidad y aumenta el flujo por decrecimiento de la resistencia. El efecto Fahraeus- Lindquist, que se manifiesta cuando el diámetro del vaso apenas llega a 0,5 mm y los glóbulos rojos se desplazan en línea, permite comprender el incremento del flujo, a lo cual se añade la utilización de dextrán 40 u otra sustancia coloidal que eleva la presión y reduce la resistencia, contrario de lo que ocurre en estados de turbulencia.

En cuanto a la variable perfusión, si bien el índice cardíaco era normal antes de la hemodilución, aumentó después de esta debido al incremento del gasto cardíaco como consecuencia directa de la elevación del índice sistólico al acrecentarse el retorno venoso. En sentido general, se explica la mejoría de dichos índices por mayor dilución de oxígeno en el plasma, a causa de la disminución de su viscosidad y aceleración de la velocidad de la circulación. Los datos gasométricos que se obtienen desde el punto de vista sistémico, deben ser proporcionales a los de una extremidad cuyo flujo ha mejorado al reducirse su viscosidad y lograr una adecuada respuesta vasomotora, lo cual indica un buen volumen latido.

Las figuras ilustran de forma evidente las variaciones, por semanas, de las variables coeficiente de difusión de transporte de oxígeno y relación flujo eritrocitario consumo de oxígeno, que fueron las de mayor relevancia. En el grupo de estudio se produjo una variación de 4,01 (valor medio) en su inicio, que se elevó a partir de la segunda semana y alcanzó su máximo nivel en la cuarta (media de 4,21), valores que disminuyeron ligeramente en la sexta, manteniendo una tendencia logarítmica estable. En el grupo control, dichos valores sufrieron poco cambio, con fluctuaciones medias, de 4,02 y 4,11.

La relación entre flujo eritrocitario y consumo de oxígeno, reveló un aumento mayor en el grupo de estudio que en el control, pues a partir de la primera semana comenzó a elevarse gradualmente hasta alcanzar su pico máximo alrededor de la cuarta (valor promedio de 23,50) y fue descendiendo hasta la sexta. Independientemente de esta disminución se observó una línea de tendencia moderadamente ascendente, aspecto revelador de incremento de la oxigenación, como se describe en los pacientes hemodiluidos.⁷⁻⁹ En el grupo control hubo menores valores en dicha relación que en el de estudio, representados por una curva de tendencia ligeramente ascendente, que mostró estabilidad a partir de la quinta semana, lo cual hace suponer que aun cuando se realizaran mediciones posteriores, no se mostrarían notables cambios. Estos resultados aparentemente contradictorios se deben a que los pacientes no abandonan su tratamiento habitual, que incluye el ejercicio físico.

En la figura 3, donde puede verse la relación entre el índice de amplitud en el grupo de estudio y el coeficiente relación flujo eritrocitario y consumo de oxígeno, es clara la coincidencia en el momento en que ambos alcanzan valores máximos en la cuarta semana, cuando ofrecen una relación directa entre la hiperemia reactiva y la gasometría, o sea, el índice de amplitud elevado supone una mayor oxigenación, dato que confiere a la hiperemia reactiva un fuerte valor pronóstico.

Las figuras reflejan, en sentido general, las variaciones de los principales indicadores gasométricos, donde la tercera y cuarta semanas son las de mejores índices. Los resultados anteriores pueden compararse con los de estudios foráneos, donde se describen los beneficios de la hemodilución en cuanto a la oxigenación.^{7,10,11} Ogata et al,¹² de la Universidad de Yamanashi (Japón), basados en los hallazgos experimentales y la experiencia clínica en los parámetros previos de hematocrito (10 %) y saturación venosa de oxígeno (46 %) en pacientes hemodiluidos, replicaron en conejos los procedimientos de Craughwul y Cook, quienes los medían cada 7 minutos. Se demostró que el límite de seguridad para mantener la oxigenación cerebral podía ser de 12 % en el hematocrito y 52 % en la saturación venosa de oxígeno, sugerente de nuevos límites de seguridad en pacientes bajo una hemodilución normovolémica inducida, lo que además de manifestarse en el cerebro, era útil para todo el cuerpo.

Cabrales et al,¹³ de la Universidad de San Diego (California), realizaron estudios en ratas para conocer la liberación de oxígeno en las arteriolas en condiciones de flujo normal y anormal, midieron la presión de oxígeno por métodos de enfriamiento y una sustancia fosforescente después de hemodilución con dextrán 70, de donde obtuvieron: 14 % de aumento de la presión en las márgenes del vaso, 28 % de reducción del hematocrito, 39 % de incremento en la liberación de oxígeno en las arteriolas y 38 % en la extracción de oxígeno en la microcirculación, con una diferencia de la presión de oxígeno entre la sangre y los tejidos en las márgenes de las paredes de los vasos de 16,2 en los no diluidos y 18,3 en los hemodiluidos.

Hoffkes, ¹⁴ en un trabajo comparativo para determinar el incremento a largo plazo de la oxigenación, a nivel muscular, de pacientes tratados con hemodilución normovolémica e hipervolémica, encontró preferencias por la isovolémica cuando el hematocrito había retornado a los valores previos al tratamiento.

Se concluyó que en los integrantes del grupo de estudio mejoraron las condiciones hemodinámicas y de oxigenación, dadas por el aumento del índice de amplitud y de la relación consumo de oxígeno/índice de flujo eritrocitario; de hecho, el incremento en el mencionado índice de amplitud de la hiperemia reactiva evidenció un restablecimiento del flujo sanguíneo, así como también en los valores de la gasometría, que de forma indirecta revelaron el estado de oxigenación de los tejidos, al elevarse el coeficiente de difusión de transporte de oxígeno después de realizada la hemodilución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huybregts RA, de Vroege R, Jansen EK, van Schijndel AW, Christiaans HM, Van Oeveren W. The association of hemodilution and transfusion of red blood cells with biochemical markers of splanchnic and renal injury during cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg* 2009; 109(2):331-9.
2. Molina Méndez FJ. Oxygen carriers in cardiac surgery. *Arch Cardiol Mex* 2006; 76 Suppl 2:100-6.
3. Hai J, Lin Q, Deng DF, Pan QG, Ding MX. The pre-treatment effect on brain injury during restoration of normal perfusion pressure with hemodilution in a new rat model of chronic cerebral hypoperfusion. *Neurol Res* 2007; 29(6):583-7.
4. Fowkes FGR, Housley E, Mocintyre CCA, Prescott RJ, Ruckley CV. Reproduciveness of reactive hyperaemia test in the measurement of peripheral arterial disease. *Br J Surg* 1988; 75:743-6.
5. Suárez Lescay C, Coello Acosta R, Toledo Castaño F, Jardines Abdo A, Mora García X. Cambios hemodinámicos en pacientes con aterosclerosis ocluyente de miembros inferiores tratados con hemodilución normovolémica inducida. *MEDISAN* 2000;4(4):15-22
<http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol4_4_00/san04400.htm>[consulta: 22 agosto 2009].
6. Charles A, Purtill M, Napolitano LM. Recombinant human erythropoietin in severe anemia: issues of dosing and duration. *Anaesth Intensive Care* 2006; 34(6): 793-6.
7. Costa VR, de Olivera SC, Alfonso NT, De Puye ST. The role of hyperbaric oxygen therapy in peripheral arterial disease. *Braz J Vasc* 2004; 2(1/2):11-4.
8. Uesugi F, Nakagawa I, Hidaka S, Kubo T, Okamura K, Kato T. Evaluation of cerebral oxygen balance during normothermic cardiopulmonary bypass using jugular oxygen saturation. *Masui* 2005; 54(7):742-6.
9. Halstead JC, Wurm M, Meier DM, Zhang N, Spielvogel D, Weisz D, Bodian C, Griep RB. Avoidance of hemodilution during selective cerebral perfusion enhances neurobehavioral outcome in a survival porcine model. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007; 32(3):514-20.

10. Tsai AG, Johnson PC, Intaglietta M. Oxygen release from arterioles with normal flow and no-flow conditions. *J Appl Physiol* 2006; 100(5):1569-76.
11. Meier J, Kemming G, Meisner F, Pape A, Habler O. Hyperoxic ventilation enables hemodilution beyond the critical myocardial haemoglobin concentration. *Eur J Med Res* 2005; 10(11):462-8.
12. Ogata K, Inoue H, Yoshii S, Shindo S, Higuchi H, Osawa H, Akashi O, Mizutani E, Hiejima Y, Matsumoto M. Lower limits of hematocrit and mixed venous oxygen saturation ensuring sufficient cerebral oxygenation during hemodilution in rabbits. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 54(2):61-6.
13. Cabrales P. Effects of erythrocyte flexibility on microvascular perfusion and oxygenation during acute anaemia. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2007:20.
14. Hoffkes HG, Ehrly AM. Microcirculatory long term effects after hypervolaemic and isovolemic hemodilution in patients with intermittent claudication. *Presse Med* 1994; 23(14):657-60.

Recibido: 26 de noviembre del 2009

Aprobado: 12 de diciembre del 2009

Dr. Celso Suárez Lescay. Hospital Provincial Docente "Dr. Joaquín Castillo Duany", Punta Blanca, reparto Mariana de la Torre, Santiago de Cuba, Cuba.