

ORIGINAL

Parámetros hemodinámicos cerebrales, determinados mediante Doppler transcraneal, en un grupo de voluntarios sanos a 2.850 metros de altura



C.E. Scherle Matamoras* y D. Rivero Rodríguez

Especialistas en neurología, Servicio de neurología, Unidad de ictus, Hospital de especialidades Eugenio Espejo, Universidad San Francisco de Quito 2USFQ3, Quito, Ecuador

Recibido el 18 de junio de 2018; aceptado el 10 de abril de 2019

Disponible en Internet el 1 de junio de 2019

PALABRAS CLAVE

Doppler transcraneal;
Velocidad de flujo
sanguíneo;
Ultrasonido;
Altura;
Ecuador

Resumen

Antecedentes: El Doppler transcraneal (DTC) es una herramienta útil en la atención del paciente cerebrovascular. Sus resultados, además de ser dependientes del operador, pueden estar influenciados por variables fisiológicas y anatómicas, así como por la altura a la que se encuentra el sujeto estudiado.

Objetivo: Describir los parámetros hemodinámicos cerebrales medidos mediante DTC en sujetos que habitan en la ciudad de Quito.

Material y métodos: Se reclutaron para el estudio 47 voluntarios, sin antecedentes ni evidencia clínica de ictus, hipertensión arterial, enfermedades metabólicas o hematológicas. Fueron excluidos dos individuos por ausencia de ventana craneal útil para el ultrasonido. En 45 casos se registraron las velocidades medias de flujo, de pico sistólico, de fin de diástole e índices de pulsatilidad. Se recogieron la edad, el sexo y los niveles de hematocrito. Los datos anteriores se analizaron por sexo y según el grupo de edad.

Resultados: Predominaron las mujeres (28; 62,2%) y la media de edad fue de 35,9 años. No se encontraron diferencias interhemisféricas significativas en las velocidades medias de flujo, excepto en las arterias cerebrales anteriores con predominio derecho. Se registraron mayores velocidades de flujo en las mujeres y en el subgrupo de menor edad. No se demostraron diferencias significativas entre los dos subgrupos de edad ni por sexo en el índice de pulsatilidad. En relación con otras series, las velocidades de flujo son inferiores.

Conclusiones: En el grupo de personas examinadas, los parámetros hemodinámicos registrados son menores que los publicados en otras series y están influenciados por la altura, la edad y el sexo.

© 2019 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: cscherle62@gmail.com (C.E. Scherle Matamoras).

KEYWORDS

Transcranial Doppler
ultrasonography
Blood flow velocities;
Blood flow velocity;
Ultrasound;
Altitude;
Ecuador

Transcranial Doppler ultrasound measurements of cerebral hemodynamic parameters in healthy volunteers at 2850 meters altitude

Abstract

Background: Transcranial Doppler ultrasound (TDU) is useful in cerebrovascular patients. TDU findings are operator-dependent; they can also be influenced by anatomical and physiological variables as well as by the altitude at which the study is done.

Objective: To report the cerebral hemodynamic parameters measured by TDU in subjects who live in Quito, Ecuador (altitude 2850 meters).

Material and methods: We recruited 47 volunteers with no history or clinical evidence of stroke, hypertension, metabolic disorders, or hematologic disorders; 2 patients were excluded because they did not have a viable cranial window for TDU study. Thus, we recorded mean cerebral blood flow velocity, peak systolic flow velocity, end-diastolic flow velocity, and pulsatility indices in 45 patients (28 (62.2%) women; mean age, 35.9 years). We recorded patients' age, sex, and hematocrit. We analyzed cerebrovascular hemodynamic parameters by sex and age group.

Results: No significant differences between hemispheres were observed in mean flow velocities, except in the anterior cerebral arteries with right predominance. Flow velocities were higher in women and in the youngest age group. No significant differences in the pulsatility indices were found between sexes or between age groups. The flow velocities in this series are lower than those reported for other series.

Conclusions: The hemodynamic parameters in this series are lower than in other series and are influenced by the altitude, age, and sex.

© 2019 SERAM. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La aplicación del ultrasonido en el estudio de las enfermedades vasculares del cerebro tiene lugar a principios de los años ochenta del pasado siglo¹⁻³, cuando se consigue estudiar con Doppler transcraneal (DTC) los parámetros hemodinámicos de las arterias que conforman el polígono de Willis³. Desde entonces, dicha técnica ha experimentado grandes progresos hasta adquirir en la actualidad un lugar esencial en el estudio y tratamiento del enfermo cerebrovascular⁴.

El análisis de las características hemodinámicas de cada segmento arterial es lo que posibilita monitorizar los cambios que ocurren en cada situación clínica y llegar a un diagnóstico específico. Para ello, es imprescindible conocer los parámetros de cada arteria, las posibles variaciones anatómicas y sus características hemodinámicas⁴⁻⁶.

Múltiples son los estudios que han abordado las particularidades velocimétricas de los vasos cerebrales con DTC^{3,6-10}. Sin embargo, los resultados son variados y en manos entrenadas no depende tanto de la metodología del examen o del aparato de ultrasonido utilizado, sino de las características del grupo poblacional examinado^{3,6} y de la influencia de variables fisiológicas como la edad, el sexo, factores metabólicos, endocrinos y hematológicos, etc.^{6,11-15}.

En Latinoamérica, y en particular en poblaciones situadas a gran altura, las investigaciones que hacen referencia a las características del flujo sanguíneo cerebral, determinadas con DTC, son escasas^{9,10}. El objetivo de nuestro estudio es describir los parámetros hemodinámicos cerebrales medidos mediante DTC en un grupo de sujetos que habitan a una altitud de 2.850 metros sobre el nivel del mar.

Material y métodos

Pacientes

La evaluación con DTC se realizó entre los meses de enero y febrero de 2018. Los participantes fueron seleccionados entre el personal sanitario y familiares de pacientes, a los que se explicó el propósito de la investigación y accedieron a participar de forma voluntaria.

Criterios de inclusión

Se seleccionaron personas que habitaban en Quito 7por 8un 9periodo mayor de 6 meses, tenían más de 15 años y sin antecedentes y/o evidencia clínica de enfermedad.

Criterios de exclusión

Sujetos con el antecedente de ictus, hipertensión arterial, enfermedades metabólicas, hematológicas y ventanas craneales no útiles para el ultrasonido.

Procedimiento de exploración con Doppler transcraneal

La investigación fue realizada con un sistema digital de DTC (ST3, fabricado en Seattle, Washington, EE.UU.). El estudio se inició colocando a la persona por examinar en posición de decúbito supino. Después de 10 minutos de reposo, el médico se ubicó por detrás de la cabeza del voluntario en una posición confortable para colocar la sonda Doppler de

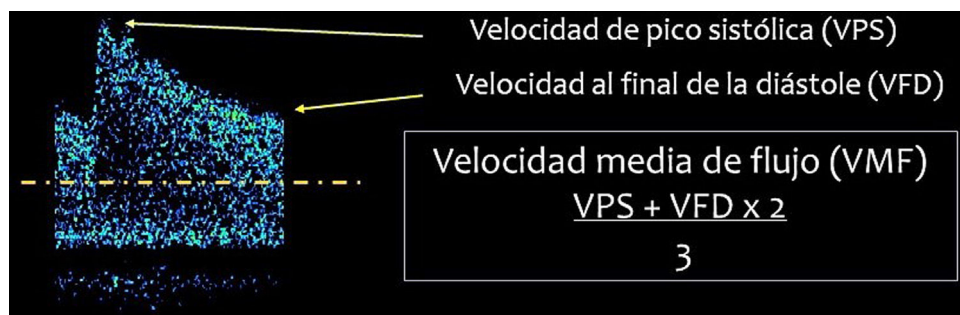
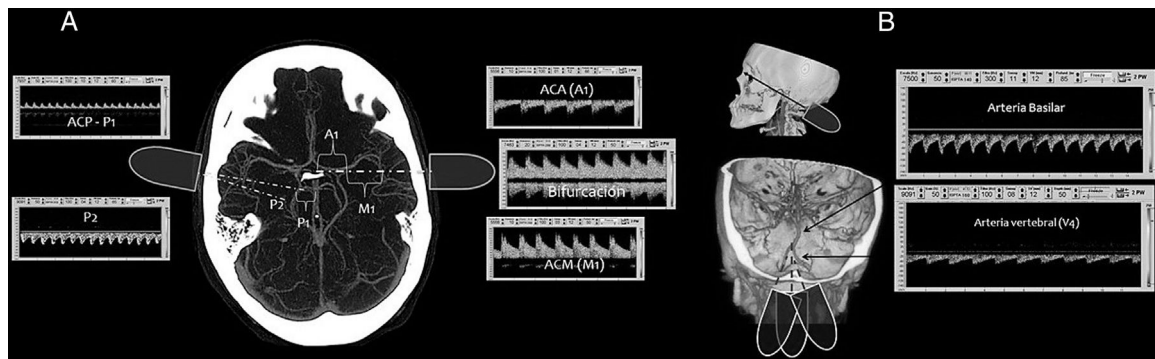


Figura 2 Parámetros de flujo representados en un sonograma de Doppler transcraneal.

2 MHz sobre las ventanas acústicas craneales, en la modalidad de Doppler pulsado, aplicando la suficiente cantidad de gel para garantizar la transmisión del ultrasonido. Antes de evaluar la circulación intracraneal se examinaron las carótidas extracraneales con la sonda de 4 MHz en la modalidad de Doppler continuo, con la finalidad de excluir estenosis significativas (mayores del 50%). El volumen muestra fue ajustado en 10 mm y la velocidad de barrido del equipo, en 3 segundos.

A través de la ventana temporal, imprimiéndole una leve angulación anterior al transductor, el primer vaso en ser identificado es la arteria cerebral media (ACM), entre 30 y 60 mm, con una señal de flujo en dirección hacia la sonda. Siguiendo el trayecto de la ACM hasta 60-65 mm de profundidad se buscó un sonograma de flujo en doble sentido que corresponde a la bifurcación de la arteria carótida interna (ACI). En ese punto, dirigiendo el haz de ultrasonido levemente en sentido cefálico y hacia delante se examinó el segmento proximal (A1) de la arteria cerebral anterior (ACA), en el que la dirección del flujo sanguíneo se aleja de la sonda. Luego, disminuyendo la profundidad hasta encontrar sonogramas bidireccionales que corresponden a la bifurcación carotídea y orientando el haz del ultrasonido ligeramente hacia atrás y en dirección caudal, entre 65 y 70 mm de profundidad se localizó el segmento precomunicante (P1) de la arteria cerebral posterior (ACP), en el que la dirección de flujo se dirige hacia la sonda. En ese punto, inclinando el transductor ligeramente hacia atrás y profundizando hasta 70 mm se localizó el segmento poscomunicante (P2) en el que la dirección de flujo se aleja (fig. 1A).

La arteria carótida interna extracraneal (ACIe) se identificó mediante el ultrasonido a través de la ventana submandibular colocando la sonda de 2 MHz por dentro del músculo esternocleidomastoideo, a 50 mm de profundidad. El estudio se completó con la determinación de las velocidades de flujo (VF) en los segmentos V4 de las vertebrales y de la arteria basilar a través de la ventana transforaminal (fig. 1B). En todos los segmentos arteriales se registraron la velocidad de pico sistólico (VPS), la velocidad al final de la diástole (VFD), la velocidad media de flujo (VMF) y el índice de pulsatilidad de Gosling (IP). La exploración con el DTC fue realizada por el primer autor, quien cuenta con entrenamiento previo en técnicas de neurosonología y una experiencia de más de 5 años.

Análisis estadístico

En todos los casos se recogieron la edad, el sexo y el hematocrito. En la exploración con DTC se registraron las siguientes variables hemodinámicas: VMF, VPS, VFD e IP (fig. 2).

Los datos se recogieron de forma prospectiva en una base de datos diseñada en Excel 2016. Se describieron las frecuencias absoluta y relativa, la media y la desviación estándar de las variables consideradas. Para el análisis estadístico de las variables numéricas se utilizó la prueba *t* de Student. Los hemisferios de cada paciente se consideraron por separado y por lateralidad para poder identificar si existían asimetrías significativas interhemisféricas. Los parámetros hemodinámicos se analizaron por sexos y según

Tabla 1 Resultados generales de la ecografía Doppler transcraneal

Parámetrox (DE)	ACM	ACA	ACIe	P1	P2	Basilar	V4
VPS	74,4 ± 21,1	60,5 ± 18,1	53,9 ± 9,9	51,9 ± 19,1	52,1 ± 12,6	54,1 ± 14,8	36,7 ± 9,3
VFD	35,6 ± 10,2	28 ± 9,1	24,5 ± 4,2	24,7 ± 8,9	24,3 ± 7,5	25,4 ± 6,9	18,0 ± 4,0
VMF	49,3 ± 14,7	39,9 ± 12,6	34,6 ± 6,5	34,6 ± 12,2	34,6 ± 8,8	36,7 ± 10,1	26,0 ± 6,6
IP	0,8 ± 0,12	0,8 ± 0,19	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,2

Valores en cm/s excepto índice de pulsatilidad (IP).

ACA: arteria cerebral anterior; ACIe: arteria carótida interna extracraneal; ACM: arteria cerebral media; DE: desviación estándar; P1, P2: arteria cerebral posterior; V4, vertebral intracraneal; VFD: velocidad al final de la diástole; VMF: velocidad media de flujo; VPS: velocidad de pico sistólico.

Tabla 2 Velocidad media de flujo (cm/s) e índice de pulsatilidad según el sexo

Vaso	Velocidad media de flujo (cm/s), DE			Índice de pulsatilidad, DE		
	Hombre	Mujer	p	Hombre	Mujer	p
ACM (M1)	48,7 ± 15,5	49,6 ± 14,4	0,785	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,047
ACA (A1)	40,4 ± 12,9	39,7 ± 12,6	0,801	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,682
ACIe	31,5 ± 5,0	36,4 ± 6,7	0,000	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,187
ACP (P1)	34,0 ± 12,3	34,9 ± 12,2	0,753	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,516
ACP (P2)	33,8 ± 9,9	35,0 ± 8,2	0,556	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,386
Basilar	32,5 ± 8,9	39,2 ± 10,0	0,25	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,561
V4	25,6 ± 6,0	26,3 ± 6,9	0,591	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,469

Valores en cm/s excepto índice de pulsatilidad.

ACA: arteria cerebral anterior; ACI: arteria carótida interna; ACM: arteria cerebral media; ACP: arteria cerebral posterior; DE: desviación estándar; VMF: velocidad media de flujo.

la edad (dicotomizada en dos grupos: menores de 40 años y 40 años o más). Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa SPSS (v. 20.0), los valores de $p < 0,05$ se consideraron como significativos.

Aspectos éticos

La investigación fue realizada bajo la aprobación del departamento de investigaciones del hospital. Los estudios fueron realizados después de explicarle a cada voluntario la finalidad y las características del examen, y de obtener su consentimiento. En la investigación no se muestran datos personales referentes a la identidad de cada sujeto.

Resultados

Se reunieron 47 voluntarios; dos sujetos fueron excluidos por no tener ventanas acústicas craneales óptimas (4,2%). En el resto se consiguió examinar el 100% de los segmentos arteriales (arteria basilar, $n = 45$; para el resto de los segmentos evaluados de forma bilateral, $n = 90$). La edad media de los 45 sujetos incluidos fue de $35,9 \pm 11,7$ (rango, 15-58 años); predominaron los sujetos menores de 40 años (27; 60%). Más de la mitad, 28, eran mujeres (62,2%) y 17 (37,8%), hombres. Los niveles promedio de hematocrito se situaron en $43,9 \pm 3,7$ (rango 39-59,7); en las mujeres las cifras de hematocrito fueron significativamente menores (mujeres $42,9 \pm 2,02$ vs. hombres $45,6 \pm 5,08$) ($p 0,001$).

Los parámetros hemodinámicos agrupados, se muestran en la [tabla 1](#). Las mayores VMF se registraron en las ACM ($49,3 \text{ cm/s} \pm 14,7$), seguidos de la ACA ($39,9 \text{ cm/s} \pm 12,6$) y la basilar ($36,7 \text{ cm/s} \pm 10,1$). El promedio de la VMF en los vasos de la circulación anterior fue de $41,3 \text{ cm/s}$; en los vasos de la circulación vertebrobasilar los niveles de VMF registrados fueron inferiores, ACPs segmento P1 ($34,6 \text{ cm/s} \pm 12,2$), basilar ($36,7 \text{ cm/s} \pm 10,1$).

Al comparar la VMF de segmentos arteriales homólogos solo se encontró asimetría significativa en los segmentos A1 (derecho $42,7 \pm 14,4 \text{ cm/s}$ vs. izquierdo $37,2 \pm 10,0 \text{ cm/s}$) ($p 0,034$). Para el resto de las arterias se midieron las siguientes velocidades de flujo: ACM (M1) del lado derecho $48,6 \pm 14,8 \text{ cm/s}$ vs. izquierdo $49,9 \pm 14,8 \text{ cm/s}$ ($p 0,542$); ACI extracraneal, derecha $34,4 \pm 7,9 \text{ cm/s}$ vs. izquierda $34,8 \pm 4,9 \text{ cm/s}$ ($p 0,768$); ACP segmento proximal (P1) derecho $36,3 \pm 2,1 \text{ cm/s}$ vs. $32,7 \pm 1,5$ ($p 0,155$), segmento distal (P2) derecho $34,5 \pm 8,9 \text{ cm/s}$ vs. $34,6 \pm 8,8 \text{ cm/s}$ ($p 0,946$); vertebrales intracraneales (V4), derecha $25,9 \pm 6,5 \text{ cm/s}$ vs. izquierda $26,2 \pm 6,7 \text{ cm/s}$ ($p 0,773$).

En relación con las VMF y el IP según el sexo ([tabla 2](#)), en los vasos de la circulación anterior los registros de las VMF fueron mayores en las mujeres, excepto en la ACA. Solo existió una diferencia estadísticamente significativa en la ACIe. No existió diferencia entre los IP de las arterias evaluadas; en todos los vasos se mantuvo entre 0,7 y 0,9. En la circulación posterior los mayores valores de VMF se registraron en las mujeres. En relación con el IP no se detectaron diferencias importantes en ninguno de los vasos.

Tabla 3 Velocidad media de flujo (cm/s) e índice de pulsatilidad según grupo de edad

Vaso	Velocidad media de flujo (cm/s), DE			Índice de pulsatilidad, DE		
	<40 años	>40 años	p	<40 años	>40 años	p
ACM (M1)	52,7 ± 14,4	44,1 ± 13,8	0,006	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,704
ACA (A1)	42,4 ± 13,0	36,1 ± 11,0	0,020	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,720
ACIe	35,3 ± 6,3	33,5 ± 6,8	0,203	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,983
ACP (P1)	35,7 ± 13,7	32,9 ± 9,5	0,260	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,303
ACP (P2)	35,7 ± 9,1	32,9 ± 8,4	0,143	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,118
Basilar	37,4 ± 11,3	35,7 ± 8,1	0,252	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,561
V4	25,7 ± 6,2	26,5 ± 7,1	0,569	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,995

Valores en cm/s excepto índice de pulsatilidad.

ACA: arteria cerebral anterior; ACI: arteria carótida interna; ACM: arteria cerebral media; ACP: arteria cerebral posterior; DE: desviación estándar; VMF, velocidad media de flujo.

Tabla 4 Comparación de los valores de velocimetría obtenidos con los resultados de otros estudios

Estudio	Parámetro	ACM (A1)	ACA (A1)	ACIe	ACP (P1)	Basilar	Vertebrales(V4)
Nuestro (2.850 m) n = 45	VMF	49,3	39,9	34,6	34,6	36,7	26,0
	IP	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Colombia (995 m) Franco et al ¹⁰ n = 51	VMF	59,8	47,4	31,5	37,4	45,1	35,8
	IP	0,74	1,01	0,80	0,77	0,78	0,76
Sao Paulo (760 m) Fregonesi Barbosa et al ⁹ n = 88	VMF	62	48	-	37	43	32
	IP	0,51	0,52	-	0,53	0,51	0,51
Berna, Suiza (540 m) Aaslid et al ³ n = 50	VMF	62	51	37	44	-	-
	IP	-	-	-	-	-	-
Girona, España (76 m) Segura et al ⁸ n = 118	VMF	54	43	-	34	37	29,1
	IP	0,98	1,01	-	1,01	1,03	1,01

ACA: arteria cerebral anterior; ACM: arteria cerebral media; ACIe: ACIe: arteria carótida interna extracraneal; ACP: arteria cerebral posterior; IP: índice de pulsatilidad; V4, vertebral intracraneal; VMF: velocidad media de flujo.

Los registros de VMF resultaron inversamente proporcionales a la edad, aunque solo con significación estadística para la ACM (tabla 3).

Discusión

En el presente estudio no se encontraron diferencias interhemisféricas significativas en las velocidades medias de flujo en los segmentos arteriales proximales que conforman el polígono de Willis, excepto en las arterias cerebrales anteriores en que se hallaron mayores velocidades del lado derecho. Se registraron velocidades de flujo más altas en las mujeres y en el subgrupo de participantes menores de 40 años. En relación con el IP, no se encontraron diferencias significativas entre los dos subgrupos de edad ni por sexo.

Conocer los parámetros normales de las VF en el DTC es esencial para una correcta interpretación de los resultados en un contexto clínico específico. Por otro lado, la información hemodinámica de una arteria no debe ser considerada de forma aislada, sino en conjunto con los resultados obtenidos en el resto de los vasos intracraneales, previa evaluación de las arterias extracraneales. Puesto que los resultados del DTC pueden variar con la experiencia y habilidad del operador, y están influenciados por factores fisiológicos y anatómicos, es recomendable que cada laboratorio genere sus propios valores de referencia, además de ser el punto

de partida para ajustar los resultados del DTC en patologías como estenosis, vasoespismo, etc.

A medida que se asciende sobre el nivel del mar, la presión barométrica y la presión parcial de los gases disminuye¹⁶. Al evaluar el efecto de la exposición a grandes alturas es necesario diferenciar entre la respuesta adaptativa aguda que se genera entre minutos y horas, y la respuesta fisiológica para aclimatarse en períodos de tiempo más largos. En el primer caso, la respuesta inmediata se expresa con aumento de la frecuencia y profundidad de la respiración, proceso que está desencadenado por la estimulación de los quimiorreceptores periféricos en los cuerpos carotídeos y aórtico que se activan por la disminución de la PO₂ cuando baja de valores normales (70 mmHg); y estos, a su vez, informan al centro respiratorio bulbar para que aumente la frecuencia respiratoria. En los primeros estadios también aumenta la frecuencia cardíaca, incrementándose así el gasto cardíaco y por lo tanto la oxigenación cerebral¹⁷.

Cuando una persona permanece a alturas elevadas, durante períodos más o menos prolongados, tiende a adaptarse a la hipoxia y esto es posible por los cambios que comprometen la eritropoyesis y el metabolismo del hierro¹⁸⁻²². En poblaciones residentes en la altura se observa un aumento en la concentración de hemoglobina como efecto de la elevada producción de glóbulos rojos, con una concomitante disminución del volumen

plasmático²² y aumento de la viscosidad sanguínea¹⁹. Esto último, junto con el área de la luz arterial y la longitud del vaso son los principales determinantes de la resistencia al flujo sanguíneo¹⁶, de manera que la VF sanguínea cerebral se correlaciona inversamente con el nivel del hematocrito²³⁻²⁵.

En la [tabla 4](#) comparamos nuestros resultados con los de varios estudios realizados en sujetos normales en poblaciones a diferentes alturas^{5,8-10}. En el caso del estudio de Franco et al.¹⁰, en Colombia, promediamos las VF ya que en su trabajo no muestra cifras globales. Es necesario destacar que nuestros resultados difieren de las VF tomadas como referencia (Aaslid et al.)³ y que a medida que la altura es mayor, las VF descienden en casi todos los segmentos arteriales. Sin embargo, las velocidades determinadas por nosotros se asemejan a las publicadas por Segura et al. en una serie de 118 sujetos sanos evaluados en Girona (España)⁸, lo que podría depender de los niveles de hematocrito de sus casos, detalle que no fue analizado en su trabajo. Por otro lado, en ninguno de los estudios a los que hacemos referencia se comparan las VF con los niveles de hematocrito^{3,8-10}.

Al analizar la relación entre las VMF y el sexo, nuestros resultados muestran cifras muy similares a las obtenidas en otras series^{1,8,26,27}. En el caso de las mujeres registramos VF mayores, diferencia que parece depender de los menores niveles de hematocrito hallados. De acuerdo con algunas publicaciones, además de la correlación inversa que existe entre los niveles de hematocrito y la VF²⁵ puede que exista algún vínculo con las fluctuaciones estrogénicas al reducir las resistencias vasculares, con el consiguiente incremento en la velocidad de flujo cerebral^{28,29}. Al respecto, Isikay et al., en 862 pacientes con una media de edad de 57 ± 16 años, de los cuales 413 eran mujeres (53 ± 17 años) y 449, hombres (60 ± 13 años), describe una diferencia significativa en las concentraciones de hematocrito entre sexos (mujeres 39 ± 4 vs. hombres 42 ± 4 , $p < 0,001$) y encuentra una relación inversa entre los niveles de hematocrito y la VMF (mujeres 60 ± 18 cm/s vs. hombres 52 ± 15 cm/s, $p < 0,001$)³⁰. Sin embargo, en otro estudio con una muestra menor, 63 voluntarios sanos (30 hombres y 33 mujeres; rango de edad de 5-69 años), no encuentran diferencia en los parámetros de flujo según el sexo, pero sí en relación con el incremento de la edad, siendo mayor la disminución en el grupo de más de 40 años³¹.

La edad es el factor más importante que modifica las VF en el DTC^{6,8,30-1033}. Tegeler et al., en una serie de 364 sujetos sanos, entre 18 y 80 años, concluyen que las VF decrecen un 4-5% por década, principalmente en las ACM y ACA⁷. En nuestro estudio, de acuerdo con el número de casos, analizamos las VF en dos grupos de edad (mayores y menores de 40 años) y encontramos una diferencia del 16,4% para las ACM y del 14,9% para las ACA entre los dos grupos. En los vasos de la circulación posterior, la diferencia fue menos manifiesta (cerebrales posteriores 7,8%, basilar 4,5% y sin grandes diferencias en los segmentos V4 de las vertebrales).

Al analizar si existía asimetría en las VF de vasos homólogos encontramos una mínima diferencia en la circulación anterior, excepto para los segmentos A1 en que resultó estadísticamente significativa (superó los 5 cm/s). La mayor

asimetría hallada en el segmento A1 seguramente está relacionada con la frecuencia de hipoplasia descrita para esos vasos²⁵. En la circulación posterior, las diferencias interhemisféricas fueron menores y sin diferencia estadística. Tegeler et al., en su estudio, solo encuentran diferencia en la porción distal del segmento M1 de la ACM ($p = 0,022$) y en el segmento C1 de la ACI ($p < 0,0001$), en ambos casos ligeramente mayor del lado izquierdo⁷.

Aun cuando las VF en las arterias analizadas demuestran valores menores respecto a los publicados^{3,7} y varían con la edad y el sexo, el IP no presenta cambios. El IP, un parámetro adicional que nos ofrece el DTC³⁴, refleja de forma indirecta el grado de resistencia distal al flujo³⁵, aunque en condiciones de hipocapnia y en pacientes con hemorragia subaracnoidea debe ser interpretado con cuidado^{36,37}. Puede calcularse de forma manual a partir de la diferencia entre la VPS y la VFD dividido por la VMF, y tiene la ventaja de que al ser una proporción no se afecta por el ángulo de incidencia del haz de ultrasonido³⁴. Su valor normal oscila entre 0,5 y 1,1, y es muy sensible para la detección de cambios hemodinámicos intracraneales^{38,39}. Esta descrito que con la edad el IP se incrementa^{117,33}, lo que no fue corroborado en nuestros casos.

La principal limitación de nuestro estudio está en relación con el tamaño de la muestra; un mayor número de participantes podría proporcionar más datos sobre las diferentes variables analizadas y definir su significación. Aun así, los resultados obtenidos pueden servir de punto de referencia para realizar estudios en poblaciones comparables de regiones a diferentes alturas.

En conclusión, en el grupo de personas examinadas los parámetros hemodinámicos registrados mediante ecografía DTC son diferentes a los publicados en otras series con sujetos sin antecedente de enfermedad. Los menores niveles de velocidad de flujo registrados parecen estar influenciados por la altura y el hematocrito. Nuestros resultados podrían tener impacto clínico en la evaluación de pacientes con afecciones cerebrovasculares, tanto extra como intracraneal, y servir de punto de partida para validar los resultados del DTC en patologías como estenosis y vasoespasmo.

Autoría*

1. Responsable de la integridad del estudio: CESM, DRR.
2. Concepción del estudio: CESM, DRR.
3. Diseño del estudio: CESM, DRR.
4. Obtención de los datos: CESM.
5. Análisis e interpretación de los datos: CESM, DRR.
6. Tratamiento estadístico: CESM, DRR.
7. Búsqueda bibliográfica: CESM, DRR.
8. Redacción del trabajo: CESM, DRR.
9. Revisión crítica del manuscrito con aportaciones intelectualmente relevantes: CESM, DRR.
10. Aprobación de la versión final: CESM, DRR.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses¹.

Bibliografía

1. Satomura S, Kaneko Z. Ultrasonic blood rheograph. Proceedings of the 3rd International Conference on Medical Electronics. 1960;254-8.
2. Miyazaki M, Kato K. Measurement of Cerebral Blood Flow by Ultrasonic Doppler Technique: Theory. *Jpc Circ J*. 1965;29:375-82.
3. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg*. 1982;57:769-74.
4. D'Andrea A, Conte M, Cavallaro M, Scarafilo R, Riegler L, Cocchia R, et al. Transcranial Doppler ultrasonography: From methodology to major clinical applications. *World J Cardiol*. 2016;8:383-400.
5. Sharma VK, Wong KS, Alexandrov AV. Transcranial Doppler. *Front Neurol Neurosci*. 2016;40:124-40.
6. Ringelstein EB, Kahlscheuer B, Niggemeyer E, Otis SM. Transcranial Doppler sonography: anatomical landmarks and normal velocity values. *Ultrasound Med Biol*. 1990;16:745-61.
7. Tegeler CH, Crutchfield K, Katsnelson M, Kim J, Tang R, Passmore Griffin L, et al. Transcranial Doppler velocities in a large, healthy population. *J Neuroimaging*. 2013;23:466-72.
8. Segura T, Serena J, Plaza I, Monforte C, Figuerola A, Dávalos A. Valores de normalidad del estudio Doppler transcraneal en nuestro medio. *Neurología*. 1999;14:437-43.
9. Fregonesi Barbosa M, Abdala N, Carrete H Jr, Gomes Nogueira R, Roberto Nalli D, Falco Fonseca JR, et al. Doppler transcraniano convencional em voluntários assintomáticos. *Arq Neuropsiquiatr*. 2006;64:829-38.
10. Franco M, Ariza-Araújo Y, Mejía-Mantilla JH. Estimación de valores hemodinámicos mediante el uso del Doppler transcraneal en un grupo de voluntarios habitantes de Cali (Colombia), una ciudad a 995 m sobre el nivel del mar. *Imagen Diagn*. 2015;6:49-56.
11. Moppett IK, Mahajan RP. Transcranial Doppler ultrasonography in anaesthesia and intensive care. *Br J Anaesth*. 2004;93:710-24.
12. Droste DW, Harders AG, Rastogi E. A transcranial Doppler study of blood flow velocity in the middle cerebral arteries performed at rest and during mental activities. *Stroke*. 1989;20:1005-11.
13. Krejza J, Szydlak P, Liebeskind DS, Kochanowicz J, Bronov O, Mariak Z, et al. Age and sex variability and normal reference values for the VMCA/VICA index. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2005;26:730-5.
14. Wang Y, Chao A, Chung C, Huang Y, Hu H. Different cerebral hemodynamic responses between sexes and various vessels in orthostatic stress tests. *J Ultrasound Med*. 2010;29:1299-304.
15. Van Osta A, Moraine JJ, Mélot C, Mairbäurl H, Maggiorini M, Naeije R. Effects of high altitude exposure on cerebral hemodynamics in normal subjects. *Stroke*. 2005;36:557-60.
16. Brugniaux JV, Hodges ANH, Hanly PJ, Poulinet MJ. Cerebrovascular responses to altitude. *Respir Physiol Neurobiol*. 2007;158:212-23.
17. Ainslie PN, Lucas SJ, Fan JL, Thomas KN, Cotter JD, Tzeng YC, et al. Influence of sympathoexcitation at high altitude on cerebrovascular function and ventilatory control in humans. *J Appl Physiol*. 2012;113:1058-67.
18. Wood JH, Kee DB Jr. Hemorheology of the cerebral circulation in stroke. *Stroke*. 1985;16:765-72.
19. Moller K, Paulson OB, Hornbein TF, Colier WN, Paulson AS, Roach RC, et al. Unchanged cerebral blood flow and oxidative metabolism after acclimatization to high altitude. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2002;22:118-26.
20. Trompetero-González AC, Cristancho-Mejía E, Benavides-Pinzón WF, Mancera-Soto EM, Ramos-Caballero DM. Efectos de la exposición a la altura sobre los indicadores de la eritropoyesis y el metabolismo del hierro. *Rev Fac Med*. 2015;63:717-25.
21. Beall CM. Two routes to functional adaptation: Tibetan and Andean high-altitude natives. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2007;104 Suppl 1:8655-60.
22. Hudak ML, Koehler RC, Rosenberg AA, Traystman RJ, Jones MD. Effect of hematocrit on cerebral blood flow. *Am J Physiol*. 1986;251:H63-70.
23. Grotta J, Ackerman R, Correia J, Fallick G, Chang J. Whole blood viscosity parameters and cerebral blood flow. *Stroke*. 1982;13:296-301.
24. Brass LM, Pavlakis SG, DeVivo D, Piomelli S, Mohr JP. Transcranial Doppler Measurements of the Middle Cerebral Artery Effect of Hematocrit. *Stroke*. 1988;19:1466-9.
25. Gunnal SA, Wabale RN, Farooqui MS. Variations of anterior cerebral artery in human cadavers. *Neurology Asia*. 2013;18:249-59.
26. Brouwers PJ, Vriens EM, Musbach M, Wieneke GH, van Hufelen AC. Transcranial pulsed Doppler measurements of blood flow velocity in the middle cerebral artery: reference values at rest and during hyperventilation in healthy children and adolescents in relation to age and sex. *Ultrasound Med Biol*. 1990;16:1-8.
27. Shamma FN, Fayad P, Brass L, Sarrel P. Middle cerebral artery blood velocity during controlled ovarian hyperstimulation. *Fertil Steril*. 1992;57:1022-5.
28. Belfort MA, Saade GR, Snabes M, Dunn R, Moise KJ Jr, Cruz A, et al. Hormonal status affects the reactivity of the cerebral vasculature. *Am J Obstet Gynecol*. 1995;172 4 Pt 1:1273-8.
29. Fu CH, Yang CC, Kuo TB. Age-related changes in cerebral hemodynamics and their correlations with cardiac autonomic functions. *Neurol Res*. 2006;28:871-6.
30. Isikay CT, Uzuner N, Gücüyener D, Ozdemir G. The effects of hematocrit and age on transcranial Doppler measurements in patients with recent ischemic stroke. *Neurol India*. 2005;53:51-4.
31. Demirkaya S, Uluc K, Bek S, Vural O. Normal blood flow velocities of basal cerebral arteries decrease with advancing age: a transcranial Doppler sonography study. *Tohoku J Exp Med*. Feb. 2008;214:9-145.
32. Arnolds BJ, von Reutern GM. Transcranial Doppler sonography Examination technique and normal reference values. *Ultrasound Med Biol*. 1986;12:115-23.
33. Yang D, Cabral D, Gaspard EN, Lipton RB, Rundrek T, Derby CA. Cerebral hemodynamics in the elderly: A transcranial Doppler study in the Einstein aging study cohort. *Ultrasound Med*. 2016;35:1907-14.
34. Grolimund P, Seiler RW. Age dependence of the flow velocity in the basal cerebral arteries-a transcranial Doppler ultrasound study. *Ultrasound Med Biol*. 1988;14:8-191.
35. Gosling RG, King DH. Arterial assessment by Doppler-shift ultrasound. *Proc R Soc Med*. 1974;67 6 Pt 1:9-447.
36. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson KA, Ryding E, Brandt L. Transcranial Doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol*. 2004;62:45-51.
37. de Riva N, Budohoski KP, Smielewski P, Kasprzowicz M, Zweifel C, Steiner LA, et al. Transcranial Doppler pulsatility index: what it is and what it isn't. *Neurocrit Care*. 2012;17:58-66.
38. Soehle M, Chatfield DA, Czosnyka M, Kirkpatrick PJ. Predictive value of initial clinical status, intracranial pressure and transcranial Doppler pulsatility after subarachnoid haemorrhage. *Acta Neurochir (Wien)*. 2007;149:575-83.
39. Álvarez-Fernández JA. Doppler transcraneal en el coma tras parada cardíaca. *Rev Neurol*. 2011;53:545-54.