

# Correlación significativa entre la oximetría cerebral y la presión en el muñón carotídeo durante la endarterectomía carotídea

Thomas S. Lee, George L. Hines y Martin Feuerman, Mineola, Nueva York, Estados Unidos

La existencia de una información limitada sobre la correlación entre la presión en el muñón carotídeo y las modificaciones de la oximetría cerebral asociadas al clampaje durante la endarterectomía carotídea (EAC) nos ha llevado a evaluar manera prospectiva 38 intervenciones consecutivas de EAC realizadas en 37 pacientes. En este estudio se utilizó el oxímetro cerebral INVOS-4100 para determinar la oximetría cerebral (saturación de oxígeno cerebral) antes (momento t1) y después (momento t2) del clampaje, junto a la presión en el muñón carotídeo. Todos los pacientes fueron intervenidos mediante EAC bajo anestesia general con el uso sistemático de una derivación tipo Javid. El clampaje (momentos t1 y t2) dio lugar a cambios estadísticamente significativos ( $p < 0,0001$ ) en el lado intervenido de 6,03 unidades, o del 9,2%, cuando el análisis se realizó utilizando la prueba de Wilcoxon para datos no paramétricos. En el lado no operado no se observaron cambios ( $p = 0,71$ ). El análisis de correlación de Spearman mostró una correlación significativa ( $r = -0,63$ ) entre las modificaciones de la oximetría cerebral en el lado operado y la presión en el muñón carotídeo, de manera que los cambios importantes de la oximetría cerebral a consecuencia del clampaje mostraron una correlación estadísticamente significativa con una menor presión en el muñón carotídeo. Mediante el análisis de regresión, las modificaciones de la oximetría cerebral de 28,5 y 8,8 unidades determinaron presiones en el muñón carotídeo de 25 y 50 mm Hg, respectivamente. Estas cifras fueron equivalentes a una modificación porcentual respecto al valor inicial (t1) del 41,1% y del 13,1%, respectivamente. En conjunto, estos resultados indican que la oximetría cerebral se puede utilizar como alternativa a la determinación de la presión en el muñón carotídeo con objeto de realizar una monitorización en tiempo real no invasiva, económica y en tiempo real durante la EAC.

## INTRODUCCIÓN

La endarterectomía carotídea (EAC) es un procedimiento vascular que se realiza de forma habitual. Este procedimiento requiere el clampaje

carotídeo y, por este motivo, la isquemia cerebral y el accidente cerebrovascular perioperatorio constituyen problemas importantes. Hay tres estrategias principales respecto los métodos para minimizar la isquemia cerebral. Estas estrategias son la derivación sistemática, la derivación selectiva en los pacientes de riesgo alto y la intervención sin derivación. Actualmente, no se ha publicado ningún estudio de carácter concluyente para determinar cuál de estos tres métodos de abordaje de la isquemia cerebral es más adecuado<sup>1</sup>. Sin embargo, los cirujanos interesados en la monitorización de la perfusión cerebral tienen a su disposición varias posibilidades para evaluar la necesidad de realizar una derivación y para optimizar la hemodinámica.

DOI of original article: 10.1016/j.avsg.2007.07.022.

Division of Vascular Surgery, Winthrop University Hospital, School of Medicine State University of New York Stony Brook, Stony Brook, NY, EE. UU.

Correspondencia: George L. Hines, MD, Winthrop University Hospital, 259 First Street, Mineola, Nueva York 11501, EE. UU.  
Correo electrónico: mepstein@winthrop.org

Ann Vasc Surg 2008; 22: 58-62  
DOI: 10.1016/j.avsp.2008.04.011

© Annals of Vascular Surgery Inc.

Publicado en la red: 18 de diciembre de 2007

En estudios previos se ha demostrado la idoneidad de la identificación de los pacientes en riesgo isquémico y de la evaluación de la necesidad de una derivación mediante las determinaciones de la presión en el muñón carotídeo, la ecografía Doppler transcraneal, las determinaciones encefalográficas (EEG) intraoperatorias, la evaluación neurológica en los pacientes conscientes y la oximetría cerebral. Introducida recientemente, la oximetría cerebral tiene la ventaja de que permite una monitorización continuada y no invasiva de la saturación de oxígeno cerebral regional ( $rSO_2$ ) con un coste económico relativamente bajo. Desde el punto de vista histórico, la presión en el muñón carotídeo ha sido el método de referencia con el que se han comparado otros métodos de evaluación del riesgo de isquemia. Sin embargo, hay pocos datos acerca de la correlación que pueden existir entre la presión en el muñón carotídeo y la oximetría cerebral.

El objetivo de nuestro estudio ha sido la evaluación de la posible correlación existente entre los dos métodos de evaluación del riesgo. Para ello, se han analizado las determinaciones de la oximetría cerebral antes y después del clampaje arterial en el lado intervenido y se han comparado con las determinaciones de la presión en el muñón carotídeo, con objeto de establecer una correlación estadísticamente significativa.

## MÉTODOS

Se evaluaron de forma prospectiva 37 pacientes en los que se realizaron 38 EAC entre noviembre de 2005 y junio de 2006. Se dispuso de la  $rSO_2$  crítica en el lado operado de 36 de los 38 procedimientos, las cuales fueron las introducidas en el análisis. Los pacientes fueron considerados sintomáticos si habían presentado recientemente un ataque isquémico transitorio (AIT), un cuadro de amaurosis fugax o un accidente cerebrovascular.

La evaluación preoperatoria consistió en la realización de eco-Doppler carotídea en todos los pacientes. En muchos pacientes, aunque no en todos, se llevó a cabo una angiografía por resonancia magnética. En ninguno de los pacientes de este estudio se realizó una arteriografía carotídea convencional.

Todas las EAC se practicaron bajo anestesia general y fueron realizadas por el mismo cirujano. En todos los casos se utilizó sistemáticamente una derivación Javid (BARD, Tempe, AZ) y se realizó el cierre de la arteriotomía con un parche de

pericardio bovino (Vascuguard, Synovis, St. Paul, Minnesota). Para la determinación de la  $rSO_2$  se utilizó un oxímetro INVOS-4100 (Somanetics, Troy, MI). La colocación de los sensores fue bilateral y fueron controlados por el anestesiista. El coste de cada sensor fue de 60 dólares y el oxímetro fue proporcionado por Somanetics, con un coste total de 120 dólares por procedimiento.

Antes de la inducción de la anestesia se aplicaron líneas de presión en la arteria radial en todos los pacientes. En el tratamiento de estos pacientes participaron varios anestesiistas que atendían predominantemente a pacientes intervenidos mediante procedimientos cardiotorácicos y vasculares. No se aplicaron protocolos anestésicos o hemodinámicos específicos. Los episodios de hipotensión, hipertensión arterial, bradicardia y taquicardia fueron tratados con métodos convencionales. Se realizó la monitorización continua de la saturación de oxígeno periférica.

La  $rSO_2$  se determinó de manera continuada y, para este estudio, se registró en dos momentos distintos: antes del clampaje ( $t_1$ ) e inmediatamente después del mismo, antes de la colocación de la derivación ( $t_2$ ). El momento  $t_1$  fue registrado en los 30 segundos previos al clampaje y el momento  $t_2$  en el período de 30-90 segundos necesarios para la medición de la presión en el muñón carotídeo, la realización de la arteriotomía y la colocación de la derivación. Además, inmediatamente después del clampaje proximal de la arteria carótida común y de la arteria carótida externa, también se determinó la presión en el muñón de la arteria carótida interna. Todas las intervenciones de EAC se realizaron con colocación sistemática de una derivación Javid. Todos los pacientes despertaron en el quirófano al final del procedimiento y fueron evaluados para descartar posibles déficits neurológicos.

El análisis estadístico de los datos obtenidos lo realizó un especialista en Bioestadística. Debido a que las modificaciones de la  $rSO_2$  observadas tras el clampaje no presentaron una distribución normal, se utilizó la prueba de Wilcoxon para datos no paramétricos con objeto de determinar la significación estadística. Los resultados fueron considerados estadísticamente significativos para un valor  $p < 0,05$ . Se utilizó la correlación de Spearman con objeto de investigar la correlación entre las modificaciones de la  $rSO_2$  en el lado operado y la presión determinada en el muñón carotídeo. Se realizó un análisis de regresión lineal simple para determinar la presión en el muñón carotídeo como una función de la modificación de la saturación de oxígeno cerebral. Todos los

cálculos se efectuaron con el programa informático SAS 9.1 para Windows (SAS Institute, Cary, NC).

## RESULTADOS

Entre noviembre de 2005 y junio de 2006 se realizaron 38 EAC consecutivas. Sin embargo, para el análisis de los datos sólo se utilizaron los resultados de 36 de estas intervenciones, debido a que en dos de ellas los datos eran insuficientes. El 56% de los pacientes era de sexo masculino y la edad media de los pacientes 68,3 años. El 75% de las EAC se realizó en pacientes con enfermedad asintomática, mientras que el 25% se practicó en pacientes sintomáticos. Los pacientes presentaron los factores de riesgo esperables en esta población de enfermos, los cuales se recogen en la tabla I. Durante el postoperatorio hubo un episodio de AIT 6 h después de la EAC. En nuestro estudio no se produjeron fallecimientos.

La tabla II muestra los valores de la  $rSO_2$  antes (t1) y después del clampaje (t2), en los lados intervenido y no intervenido. También se incluyen en esta tabla las modificaciones de la  $rSO_2$  entre los momentos t1 y t2 expresadas en unidades y modificación porcentual respecto al valor inicial (t1). Los resultados mostraron que la  $rSO_2$  en el lado no intervenido no presentó modificaciones estadísticamente significativas en relación con el clampaje, con una modificación media de la  $rSO_2$  de  $0,11 \pm 1,65$  ( $p = 0,44$ ). Este cambio fue equivalente a una modificación porcentual respecto al valor inicial (t1) de  $0,05 \pm 2,53\%$  ( $p = 0,71$ ).

Por el contrario, los valores de la  $rSO_2$  en el lado intervenido mostraron una modificación estadísticamente significativa al comparar los momentos t1 y t2. La modificación media de la  $rSO_2$  fue de  $6,03 \pm 7,93$  ( $p < 0,0001$ ), equivalente a una modificación porcentual de  $9,20 \pm 11,92\%$  ( $p < 0,0001$ ). En conjunto, estos resultados indican que el clampaje de la arteria carótida induce un cambio significativo en la  $rSO_2$  del lado intervenido, mientras que no modifica la  $rSO_2$  en el lado no intervenido.

La correlación entre las modificaciones de la saturación de oxígeno cerebral en el lado intervenido y las modificaciones de la presión en el muñón carotídeo fueron analizadas mediante la correlación de Spearman. El resultado demostró una correlación intensa con un valor de 0,63 ( $p < 0,0001$ ). Este hallazgo indica que la importante disminución de la  $rSO_2$  que tiene lugar tras el clampaje en el lado intervenido se correlaciona con una presión menor en el muñón carotídeo.

**Tabla I.** Características de los pacientes

Características	n	%
Edad media (años)	68,3 ± 8,4	
Pacientes	36	100
Hombres	20	55,6%
Mujeres	16	44,4%
Sintomáticos	9	25,0%
Asintomáticos	27	75,0%
Coronariopatía	14	38,9%
Diabetes	8	22,2%
EPOC	2	5,6%
Hipertensión arterial	32	88,9%
Hiperlipemia	31	86,1%
Tabaquismo actual	7	19,4%
Antecedentes de tabaquismo	17	47,2%

EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Mediante el análisis de regresión fue posible predecir la presión en el muñón carotídeo como una función de los cambios de la saturación de oxígeno cerebral. Mediante este método, las disminuciones de la  $rSO_2$  de 28,5 y 8,8 unidades asociadas al clampaje en lado operado determinaron lecturas de la presión en el muñón carotídeo de 25 y 50 mm Hg, respectivamente. En términos de modificación porcentual relativa respecto al valor inicial (t1), las reducciones equivalentes fueron del 41,1% y el 13,1%, respectivamente. Los análisis de regresión entre la diferencia absoluta y la presión en el muñón carotídeo por un lado, y entre la diferencia porcentual relativa y la presión en el muñón carotídeo por otro se muestran en las figuras 1 y 2, respectivamente.

## DISCUSIÓN

La primera intervención de EAC efectuada con buenos resultados la llevaron a cabo Carrea et al en 1951<sup>2</sup>. Desde entonces, la EAC se ha convertido en uno de los procedimientos vasculares realizados con mayor frecuencia. Sin embargo, incluso tras 50 años de experiencia, hay varios detalles relativos a este procedimiento que todavía son objeto de debate. Para minimizar el riesgo de accidente cerebrovascular durante el período perioperatorio, algunos grupos de cirujanos han recomendado el uso de la derivación intraluminal; sin embargo, no se ha publicado ningún estudio de carácter concluyente que demuestre la necesidad de este tipo de derivación ni tampoco su ventaja sobre la realización de la EAC sin ningún tipo de derivación<sup>1</sup>. Por otra parte, tampoco existe consenso

**Tabla II.** Comparación entre los lados intervenido y no intervenido respecto a las diferencias de la rSO<sub>2</sub>, y modificaciones porcentuales respectivas asociadas al clampaje (t1 en comparación con t2; media ± DE)

Lado	t1	t2	Diferencia en la rSO <sub>2</sub> (% ± DE)	Diferencia porcentual (% ± DE)	p*
Intervenido	65,17 ± 8,77	59,14 ± 11,23	6,03 ± 7,93	9,20 ± 11,92	<0,0001
No intervenido	69,37 ± 9,12	69,26 ± 8,67	0,11 ± 1,65	0,05 ± 2,53	0,71

DE: desviación estándar; t1: antes del clampaje; t2: después del clampaje.

\*Los valores *p* reflejan la modificación porcentual respecto al valor anterior al clampaje (t1).

sobre si la derivación sistemática es mejor que la derivación selectiva, debido a que en los estudios que se han realizado al respecto se han obtenido resultados contradictorios. En cualquier caso, los clínicos que prefieren una técnica de derivación selectiva tienen a su disposición varios métodos que han demostrado ser eficaces para determinar la necesidad de la derivación. Entre ellos, las determinaciones de la presión en el muñón de la arteria carótida<sup>3,4</sup>, la ecografía Doppler transcraneal<sup>5</sup>, las mediciones EEG intraoperatorias<sup>6-8</sup>, la evaluación neurológica en los pacientes conscientes<sup>9</sup> y la oximetría cerebral<sup>10-14</sup>.

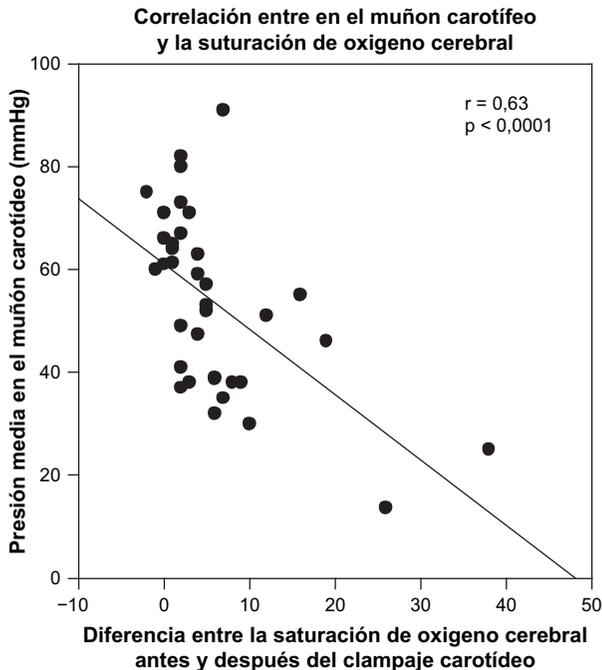
El valor de las determinaciones de la presión en el muñón de la arteria carótida para determinar la necesidad de la derivación fue propuesto en primer lugar por Moore y Hall en 1969<sup>3</sup>. Desde entonces, se ha convertido en una de las técnicas utilizadas con mayor frecuencia. Estas mediciones reflejan la presión retrógrada en la arteria carótida interna procedente del flujo cerebral colateral tras el clampaje de las arterias carótidas común y externa. Es un método barato y sencillo para evaluar de manera grosera la circulación colateral. En un estudio realizado por Hays et al<sup>4</sup> se recomendó la presión de 50 mm Hg como el nivel de presión en el muñón carotídeo seguro en el que no es necesaria la derivación; por su parte, Moore y Hall<sup>3</sup> propusieron como seguro un valor de 25 mm Hg<sup>4,5</sup>. La desventaja de la técnica de la determinación de la presión en el muñón carotídeo es el hecho de que representa una lectura puntual durante el procedimiento y no ofrece una monitorización continuada. Además, la oclusión incompleta puede incrementar de manera errónea las lecturas de la presión en el muñón carotídeo.

Para solventar estos problemas se han desarrollado otras modalidades. La EEG ofrece una monitorización continuada o intermitente con un número bajo de falsos negativos, aunque a expensas de un número significativo de falsos positivos y de un incremento considerable en el coste económico de la determinación<sup>6-8</sup>. La técnica del uso de anestesia local permite la evaluación neurológica de los pacientes en situación

consciente y se contempla como el método de mayor sensibilidad para calibrar la perfusión y la función cerebrales. Sin embargo, la mayor parte de las EAC se realizan todavía bajo anestesia general. Finalmente, la ecografía Doppler transcraneal intraoperatoria permite la monitorización de los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo en la arteria cerebral media, en relación con el clampaje carotídeo. Es un indicador fiable de la necesidad de uso de una derivación y permite de manera específica la detección de microembolias. Sin embargo, la práctica de esta técnica puede presentar dificultades en el aislamiento de la arteria cerebral media incluso en manos experimentadas<sup>5</sup>.

Por el contrario, la oximetría cerebral es una modalidad relativamente nueva que representa un método económico y no invasivo para la monitorización continuada de la saturación de oxígeno cerebral. El dispositivo es un monitor con dos sondas que se colocan sobre la frente del paciente en una zona sin pelo, una a cada lado. Las sondas transmiten señales luminosas en el rango próximo al infrarrojo, con longitudes de onda de 730 y 805 nm, en la frente del paciente. La luz se introduce en el tejido y presenta un fenómeno de refracción. Una parte de la luz presenta una refracción hacia la piel y es registrada por dos detectores luminosos localizados en la sonda. Mediante el análisis de la cantidad de fotones reflejados en relación con la longitud de onda, se puede inferir la oxigenación promedio de la sangre localizada en la sustancia gris subyacente y en parte de la sustancia blanca<sup>15</sup>.

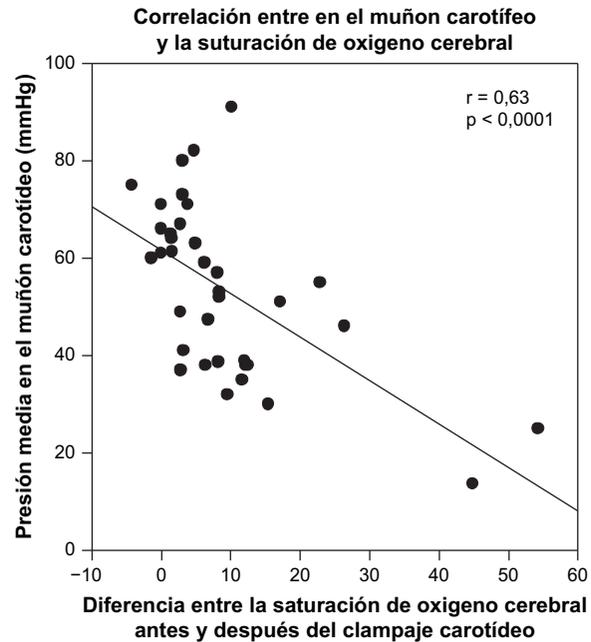
La oximetría cerebral ha sido evaluada previamente en pacientes intervenidos mediante EAC bajo anestesia regional. Carlin et al<sup>14</sup> determinaron la saturación de oxígeno cerebral en 16 pacientes y observaron que 14 de los 16 que permanecían hemodinámicamente estables no mostraron sintomatología neurológica a pesar de una disminución de la rSO<sub>2</sub> desde el 69% hasta el 64% tras el clampaje carotídeo. Dos de sus pacientes desarrollaron hipertensión arterial y mostraron disminuciones de la rSO<sub>2</sub> desde el 69%



**Fig. 1.** Análisis de regresión de la presión media en el muñón carotídeo y de la diferencia porcentual relativa de la oximetría cerebral.

hasta el 40% y desde el 68% hasta el 48%, respectivamente; ambos pacientes desarrollaron sintomatología neurológica que mejoró tras la reversión de la hipertensión arterial. Samra et al<sup>10</sup> compararon las modificaciones de la  $rSO_2$  en pacientes intervenidos mediante EAC bajo anestesia regional y que manifestaron o no síntomas neurológicos tras el clampaje carotídeo. Los pacientes sintomáticos mostraron una disminución de la  $rSO_2$  desde el 63,2% hasta el 51,0% tras el clampaje carotídeo, en comparación con una disminución de tan sólo el 4,8% (desde el 65,8% hasta el 61,0%) en los pacientes asintomáticos. Estos investigadores no pudieron determinar un valor crítico de la  $rSO_2$  que permitiera predecir la isquemia, pero sí observaron que los pacientes con una disminución  $< 20\%$  de la  $rSO_2$  permanecían asintomáticos.

Mediante la EEG, Rigamonti et al<sup>12</sup> observaron que una disminución porcentual relativa de la  $rSO_2 > 15\%$  se asociaba a un incremento de 20 veces en las posibilidades de aparición de isquemia cerebral grave. Finalmente, Cho et al<sup>11</sup> determinaron que una reducción de la  $rSO_2$  superior a 10 unidades se asociaba a un cambio significativo en la amplitud de los potenciales evocados somatosensoriales. La conclusión de este último estudio fue la de que una disminución de la  $rSO_2$  superior a 10 unidades respecto al valor



**Fig. 2.** Análisis de regresión de la presión media en el muñón carotídeo y de la diferencia porcentual relativa de la oximetría cerebral.

inicial (o una lectura de la  $rSO_2 < 50\%$ ) se asociaba a isquemia cerebral.

En nuestro estudio se ha intentado correlacionar la  $rSO_2$  con las lecturas de la presión en el muñón carotídeo. En el lado intervenido se ha observado una reducción significativa de la  $rSO_2$  respecto al valor anterior al clampaje, mientras que estos cambios no se han detectado en el lado no intervenido de forma estadísticamente significativa. Este resultado es congruente con el obtenido en un estudio previo en el que se evaluaron los valores de la oximetría cerebral en varias fases de 42 intervenciones consecutivas de EAC<sup>13</sup>. En este estudio, la  $rSO_2$  se determinó en los lados intervenido y en el contralateral en los momentos siguientes: antes del clampaje (t1), después del clampaje antes de la colocación de la derivación (t2), 5 minutos después de la colocación de la derivación (t3) y después del cierre con parche y del restablecimiento del flujo (t4). En el lado intervenido, el clampaje (t1 en comparación con t2) dio lugar a una disminución de la  $rSO_2$  de 12,3%, mientras que la colocación de la derivación (t2 en comparación con t3) incrementó la  $rSO_2$  en 10,9%. En comparación con el valor inicial, la derivación dio lugar a una disminución de 3,9% (t1 en comparación con t3), lo que sugiere una mejoría de la saturación aunque con una recuperación incompleta respecto al valor inicial. Finalmente, no se detectó una modificación

significativa tras el restablecimiento del flujo en comparación con la colocación de la derivación (t3 en comparación con t4). Al igual que en nuestro estudio, no se observaron cambios estadísticamente significativos en el lado no intervenido en ninguno de los momentos de recogida de datos (t1, t2, t3, t4).

Por otra parte, en esta serie se ha detectado una correlación estrecha entre la presión en el muñón carotídeo y la modificación de la  $rSO_2$ , de manera que los cambios más importantes de la  $rSO_2$  se asociaron a las presiones más bajas en el muñón. Mediante el análisis de regresión, se determinó que las disminuciones de la  $rSO_2$  en el lado operado de 9 y 28,5 unidades se asociaron a presiones en el muñón de 50 y 25 mm Hg, respectivamente. Es interesante el hecho de que el umbral significativo de  $rSO_2$  establecido por Cho et al<sup>11</sup> de 10 unidades tiene una gran similitud con el valor esperado de 9 unidades para una presión en el muñón carotídeo de 50 mm Hg determinada en nuestro estudio. En lo que se refiere a la modificación porcentual relativa respecto al valor inicial (t1), se demostró que las disminuciones de la  $rSO_2$  del 13,1% y el 41,1% respecto al valor inicial permitieron predecir presiones en el muñón carotídeo de 50 y 25 mm Hg, respectivamente. La disminución del 13,1% predictiva de una presión en el muñón carotídeo de 50 mm Hg determinada en nuestra serie es comparable a la reducción del 15% determinada en el de Rigamonti et al<sup>12</sup>, aunque es inferior al valor del 20% determinado por Samra et al<sup>10</sup>.

En conclusión, los resultados obtenidos en nuestro estudio demuestran que existió una correlación significativa entre las modificaciones detectadas mediante la oximetría cerebral y los valores de la presión en el muñón carotídeo asociados al clampaje arterial durante la EAC. Además de que la oximetría cerebral es una herramienta de monitorización económica y no invasiva, tiene utilidad para monitorizar la perfusión durante la colocación de la derivación, de manera que la falta de recuperación de la  $rSO_2$  hasta los valores iniciales tras la colocación de la derivación debe alertar al cirujano sobre la posibilidad de una función o colocación inadecuadas de la derivación<sup>13</sup>. En cualquier caso, dado que no se ha determinado un valor umbral concluyente para la oximetría cerebral, no podemos recomendar el uso de esta técnica como método único para evaluar el riesgo de isquemia y la necesidad de una derivación selectiva. Parece muy aconsejable la realización de un estudio futuro, sobre un grupo mayor de pacientes, para intentar definir los valores umbrales de seguridad

que posean niveles de sensibilidad y especificidad adecuados. Los resultados de este estudio podrán ofrecer las directrices necesarias para aplicar la oximetría cerebral como una alternativa segura, económica y no invasiva a la determinación de la presión en muñón carotídeo, con el objetivo de evaluar la posibilidad de la isquemia cerebral.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Bond R, Rerkasem K, Rothwell PM. Routine or selective carotid artery shunting for carotid endarterectomy (and different methods of monitoring in selective shunting). *Stroke* 2003;34:824-825.
- Carrea R, Molins M, Murphy G. Surgical treatment of spontaneous thrombosis of internal carotid artery in the neck: carotid-carotid anastomosis: report of a case. *Acta Neurol. Latinoam* 1955;1:71-78.
- Moore W, Hall AD. Carotid artery back pressure: a test of cerebral tolerance to temporary carotid occlusion. *Arch Surg* 1969;90:702-710.
- Hays RJ, Levinson SA, Wylie EJ. Intraoperative measurement of carotid back pressure as a guide to operative management for carotid endarterectomy. *Surgery* 1972;72:953-960.
- Spencer MP, Thomas GI, Moehring MA. Relationship between middle cerebral artery blood flow velocity and stump pressure during carotid endarterectomy. *Stroke* 1992;23:1439-1445.
- Brewster DC, O'Hara PJ, Darling RC, Hallett JW, Jr. Relationship of intraoperative EEG monitoring and stump pressure measurements during carotid endarterectomy. *Circulation* 1980;62:14-17.
- Pinkerton JA. EEG as a criteria for shunt need in carotid endarterectomy. *Ann Vasc Surg* 2002;16:756-761.
- Green RM, Messick WJ, Ricotta JJ, et al. Benefits, shortcomings and costs of EEG monitoring. *Ann Surg* 1985;201:785-792.
- Connolly JE. Carotid endarterectomy in the awake patient. *Am J Surg* 1985;150:159-165.
- Samra SK, Dy EA, Welch K, Dorje P, Zelenock GB, Stanley JC. Evaluation of a cerebral oximeter as a monitor of cerebral ischemia during carotid endarterectomy. *Anesthesiology* 2000;93:964-970.
- Cho H, Nemoto EM, Yonas H, Blazer J, Sclabassi RJ. Cerebral monitoring by means of oximetry and somatosensory evoked potentials during carotid endarterectomy. *J Neurosurg* 1998;89:533-538.
- Rigamonti A, Scandroglio M, Minicucci F, Margrin S, Carozzo A, Casati A. Clinical evaluation of near-infrared cerebral oximetry in the awake patient to monitor cerebral perfusion during carotid endarterectomy. *J Clin Anesth* 2005;17:426-430.
- Cuadra SA, Zwerling JS, Feuerman M, Gasparis AP, Hines GL. Cerebral oximetry monitoring during carotid endarterectomy: effect of carotid clamping and shunting. *Vasc Endovasc Surg* 2003;37:407-413.
- Carlin RE, McGraw DJ, Calimlim JR, et al. The use of near-infrared cerebral oximetry in awake carotid endarterectomy. *J Clin Anesth* 1998;10:109-113.
- INVOS Cerebral Oximeter. Principles of operation. Somanetics Product Information, Somanetics Corporation, Troy, MI.