

# Modelo animal experimental para adiestramiento en realización anastomosis extra intracraneales e intracraneales, con técnicas microquirúrgicas

María Teresa Alvarado T.<sup>1</sup>, Germán Peña Q.<sup>2</sup>, Gerardo Aristizabal<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Residente de Neurocirugía, Universidad El Bosque, Laboratorio de Microcirugía, Instituto de Neurociencias Universidad El Bosque.

<sup>2</sup> Neurocirujano Fundación Santa Fé de Bogotá, profesor Neurocirugía Universidad El Bosque.

<sup>3</sup> Neurocirujano, director programa de Neurocirugía Universidad El Bosque.

*Rev. Chil. Neurocirugía 41: 76-82, 2015*

## Resumen

Las técnicas de anastomosis extra e intracraneales se han utilizado desde los años 70 para el manejo de diferentes patologías vasculares, que van desde la enfermedad cerebrovascular hasta la exclusión de aneurismas y malformaciones arteriovenosas de la circulación o el manejo de condiciones como la enfermedad de Moya Moya. Si bien se ha cuestionado su aplicación en algunas de estas patologías hoy en día se sabe que constituyen una opción terapéutica. Las técnicas descritas requieren de un entrenamiento especializado del Neurocirujano en el laboratorio de microcirugía, entrenamiento que no siempre está al alcance de todos los residentes. Existen dilemas éticos en cuanto al uso de animales y es poco probable que durante los años de formación el residente tenga la oportunidad de realizar anastomosis vasculares en el quirófano dada la complejidad de estos procedimientos. En el presente artículo se describe la técnica quirúrgica y microquirúrgica para la realización de un bypass extra e intracraneal en un modelo animal (cabeza de cerdo), donde se describe paso por paso el procedimiento y los utensilios con los que debe contar el estudiante. Se hace una revisión de la literatura acerca de la patología vascular, las técnicas de bypass y las particularidades de la anatomía de estos animales.

**Palabras clave:** Microcirugía, Bypass extracraneal-intracraneal, Aneurismas complejos, Enfermedad cerebrovascular oclusiva, Falla hemodinámica, perfusión, Enfermedad de Moya moya.

## Abstract

Extracranial-intracranial bypass techniques have been used since the 70's for the handling of different vascular diseases, from cerebrovascular disease to the exclusion of aneurysms and arteriovenous malformations from the circulation or the management of conditions such as Moyamoya disease. Although its application has been questioned in some of these diseases we know now that this technic constitutes a therapeutic option. The described techniques require specialized training of the neurosurgeon in the of microsurgery laboratory, training that is not always available to all residents. There are ethical dilemmas regarding the use of animals and it is unlikely that during the formative years the resident may have the opportunity to perform vascular anastomosis in the operating room because of the complexity of these procedures. In this article we describe the surgical and microsurgical techniques for carrying extra- intracranial bypass in an animal model (pig's head), and outline step by step the procedure and utensils which the student must have. It is a review of the literature on vascular disease, bypass techniques and peculiarities of the anatomy of these animals.

**Key words:** Microsurgery, Extracranial-intracranial bypass, Complex aneurysms, Athero-occlusive disease, Hemodynamic failure, Perfusion, Moya moya disease.

## Introducción

La primera descripción de anastomosis en vasos extra-intracraneal (EC-IC) fue hecha por Yasargil en 1967<sup>1</sup>, quien llevo a cabo una anastomosis entre la arteria cerebral media y la arteria temporal superficial; desde entonces la utilidad de este procedimiento se ha demostrado en múltiples patologías como algunos aneurismas de difícil acceso quirúrgico y endovascular, en aquellas condiciones que requieren oclusión de grandes vasos como la arteria carótida interna, en la enfermedad aterosclerótica oclusiva de vasos intracraneales y la enfermedad de Moyamoya entre otras.

Se han realizado varios estudios que han buscado demostrar la utilidad de este procedimiento en el manejo de la enfermedad arterial oclusiva intracraneal, un estudio multicéntrico con 1.337 pacientes realizado en 1985 mostró resultados que no favorecían la cirugía con respecto al tratamiento médico, (International Bypass study)<sup>2</sup> lo que produjo disminución de forma muy importante la realización del anastomosis vasculares por décadas. Sin embargo, y tras reconocer falencias en el diagnóstico y el establecimiento de la etiología de la enfermedad en dicho estudio, y valiéndose de los adelantos en imágenes diagnósticas que permitían identificar con precisión la anatomía vascular y determinar el flujo sanguíneo, se reinició la practica microquirúrgica de las anastomosis vasculares EC-IC.

Algunas publicaciones más recientes han apoyado el uso de bypass EC-IC en el tratamiento de paciente con enfermedad ateromatosa oclusiva sintomática, sobre todo en aquellos pacientes con compromiso hemodinámico<sup>3,4</sup>, pues han mostrado que las tasas de eventos cerebrovasculares adversos posteriores a la cirugía son aceptables. La realización de anastomosis de arterias cerebrales requiere un gran entrenamiento en técnicas de microcirugía; en el laboratorio de cirugía experimental de la Universidad el Bosque es posible recibir instrucción en cuanto a las técnicas de anastomosis en modelos animales, como alas de pollo, o roedores pequeños, sin embargo, el ejercicio de llevar a cabo un craneotomía con el fin de realizar anastomosis entre arterias extra e intracraneales, no se había realizado hasta el momento en nuestro

laboratorio. A continuación se describirá la experiencia de una anastomosis realizada en un modelo porcino en el que se llevó a cabo una craneotomía frontotemporal utilizando la infraestructura, los recursos del laboratorio de microcirugía de la Universidad El Bosque y un motor Vipair - Medicon.

## Materiales y Métodos

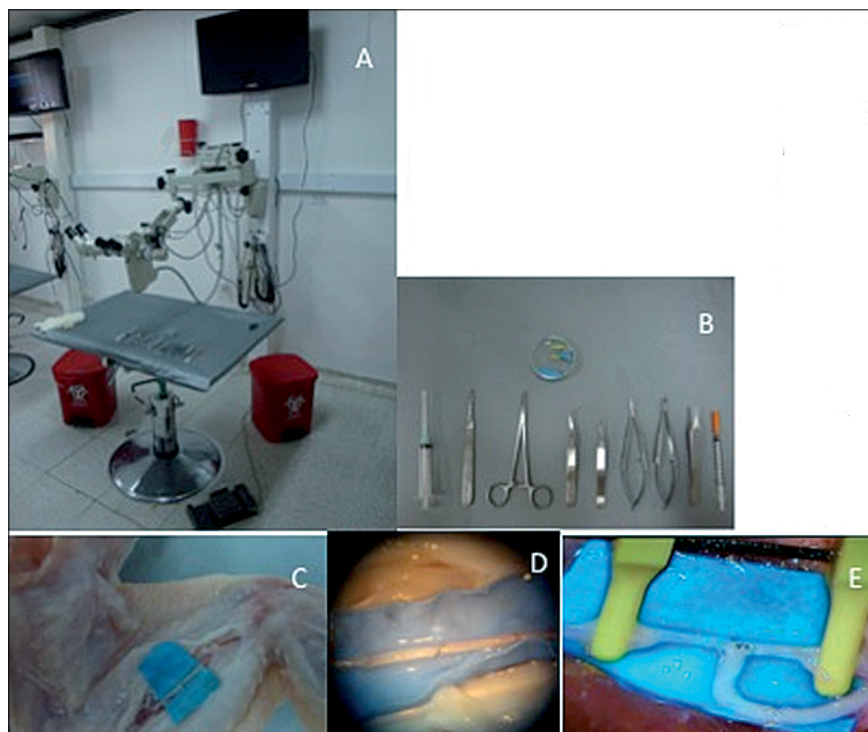
Antes de realizar la práctica en el porcino se realizaron múltiples anastomosis terminotermiales y terminolaterales (fístulas) en arterias de alas de pollo y arterias ilíacas de conejos, de acuerdo a los lineamientos del curso de microcirugía del laboratorio y los manuales de microcirugía más conocidos, se realizaron practicas con técnicas de biangulación excéntrica y biangulación céntrica<sup>17,18</sup>. (Figura 1).

Se utilizó la cabeza de un espécimen porcino que había sido sacrificado en uno de los frigoríficos de la ciudad, se fijó a la mesa quirúrgica y se procedió a realizar un incisión frontotemporal con bisturí, por detrás del reborde orbitario y delante del conducto auditivo

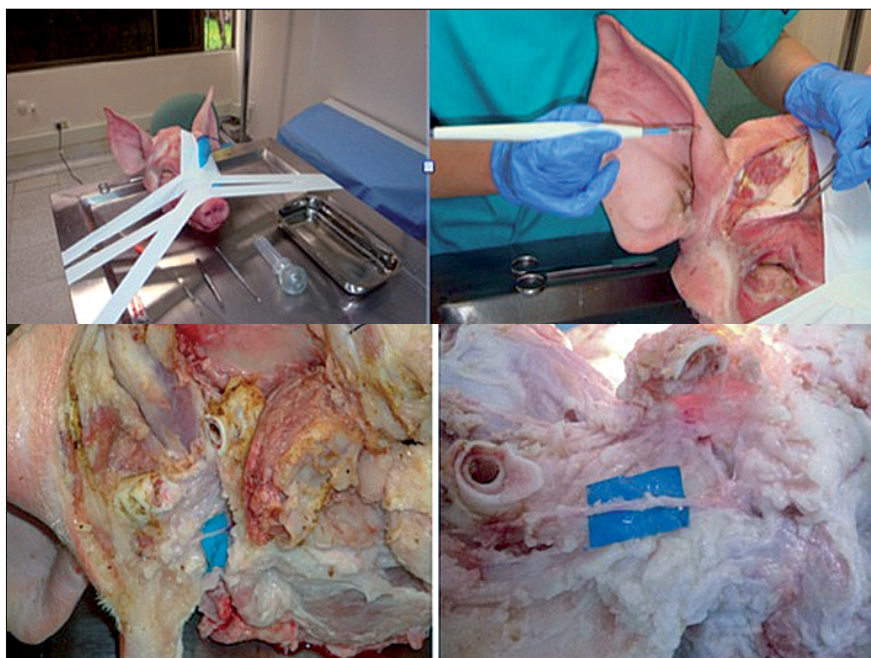
externo, seguidamente y mediante la ayuda de un electro bisturí, se incidió el tejido celular subcutáneo y la fascia hasta encontrar algunos vasos arteriales. Se encontró una rama arterial de mediano calibre que estaba por debajo de la fascia temporal, Figura 2C y 2D, por su ubicación debía corresponder a una rama de la arteria maxilar interna rama de la carótida externa, se logro disecar aproximadamente 13 cm, se reparó y se dejó como posible vaso donante. Seguidamente y luego de desinsertar el músculo temporal, se expuso la porción del hueso frontal, parietal y del temporal. (Figura 2).

Se realizaron 3 orificios de trepanación mediante el motor Vipair - Medicon con fresa de trepano, que posteriormente se unieron utilizando sierra. Dada la dureza y el gran volumen del hueso fue necesario utilizar cincel y martillo de forma conjunta, hasta exponer la duramadre y el cerebro. Figura 3.

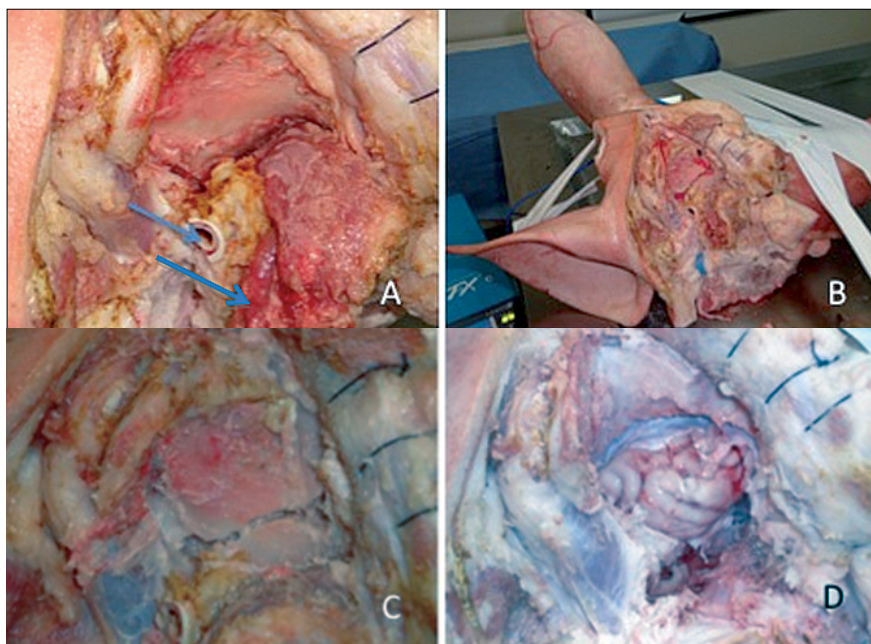
Una vez incidida la duramadre, se expuso el cerebro y luego de haber realizado osteotomías adicionales de la base del temporal y la apófisis cigomática, fue posible visualizar la base del cráneo con el fin de buscar la arteria



**Figura 1.** A y B elementos del laboratorio de microcirugía, microscópio Vasconcellos, pinzas de disección, jeringas, bisturí, porta agujas, pinzas de relojero, porta agujas y tijeras de disección; B. Disección de la arteria braquial y anastomosis terminoterminal; C. Anastomosis terminoterminal bajo visión microscópica; D. Anastomosis terminolateral visión microscópica.



**Figura 2.** A. Fijación de la cabeza de porcino a la mesa quirúrgica, utensilios para la realización de la disección, bisturí, tijeras, disectores; B. Incisión fronto temporal derecha, tejido celular subcutáneo y fascia temporal; C y D. Disección de arteria, rama de la carótida externa, previa transposición.



**Figura 3.** A. Desinserción del músculo temporal, exposición del hueso frontal, parietal y temporal, Conducto auditivo externo (Flecha); B y C orificios de trepanación y osteotomías realizadas con sierra y cincel; D. Craneotomía frontotemporal, exposición del cerebro, corteza temporal.

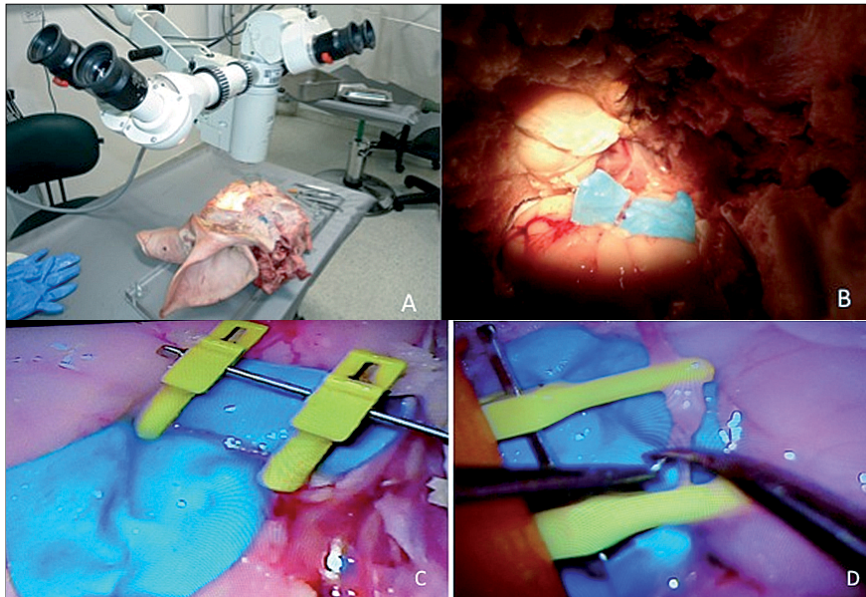
cerebral media derecha como se observa en la Figura 4. A continuación se hizo transposición de la rama de la carótida externa que se logró disecar de tal manera que pudiera alcanzar la

base del cráneo para finalmente y bajo guía microscópica, realizar un anastomosis termino terminal con la porción distal de la arteria cerebral media. (Figura 4)

Se utilizó un microscopio Vasconcellos, diseñado para laboratorios experimentales, que cuenta con un lente de 200 mm y aumento de 12x con 17 grados desde 0,35 hasta 2,1. Para la anastomosis se utilizó la técnica de biangulación excéntrica con el fin de disminuir la posibilidad de pasar la aguja por la pared posterior del vaso (efecto Carrel)<sup>17</sup>. Se dispuso la arteria cerebral en el doble clamp, posteriormente se hizo un corte transversal, la porción distal de la arteria se dispuso en otro clamp, que el que se encontraba la porción distal del vaso fuente. Se retiraron las adventicias de ambos vasos y se inició la sutura de la pared anterior de los vasos, la primera sutura se realizó en la porción superior (10 horas según las manecillas del reloj), sólo tomando la pared anterior del vaso, la siguiente sutura se realizó en la porción inferior (sentido transversal, a 120° de la primera). Seguidamente se colocó un tercer punto hacia la mitad para posteriormente voltear el vaso y hacer las suturas en la pared posterior. Luego de terminar la anastomosis se confirmó la adecuada permeabilidad de la anastomosis mediante la instilación de solución salina a través del vaso con aguja de insulina. Para la realización de esta sutura se usaron equipos e microcirugía tales, como porta agujas de microcirugía, pinzas de relojero y suturas con aguja redonda 10-0 (Figura 1).

**Discusión**

La microcirugía vascular ha permitido realizar múltiples procedimientos que buscan asegurar la irrigación de lechos vasculares intracraneales que por diferentes patologías pueden verse comprometidos. Los aneurismas intracerebrales complejos, la enfermedad cerebrovascular oclusiva y las enfermedades vasculares sindrómicas como el Moya moya, son algunos ejemplos en los que la microcirugía, específicamente la realización de anastomosis extra intracraneales y puentes, ha demostrado utilidad. La primera descripción de este tipo de procedimiento la hizo Yasargil en 1967<sup>1</sup>. Él realizó una anastomosis entre la arteria temporal superficial y la cerebral media, desde entonces se ha conseguido un incremento significativo de las tasas de éxito de estos procedimientos pasando de 66 a 96% con disminución progresiva



**Figura 4.** A. Posicionamiento de la cabeza bajo el microscopio; B y C. Aislamiento de arteria cerebral media derecha; D. anastomosis terminoterminal de arterial temporal superficial y arteria cerebral media, bajo visión microscópica.

de la mortalidad y de la morbilidad asociadas<sup>9,18</sup>.

Hasta el momento se han desarrollado múltiples técnicas para revascularización cerebral que incluyen la utilización de puentes de vasos donantes como venas safenas o anastomosis entre vasos intra y extracraneales, cada técnica tiene indicaciones específicas. A continuación se realizará un breve descripción de cada técnica y sus indicaciones.

#### **Aneurismas cerebrales complejos**

El uso de anastomosis EC-IC ha mostrado gran utilidad en el manejo de aneurismas complejos en los que se requiere la oclusión de un vaso sin que se pueda asegurar la irrigación por vasos colaterales. Hay aneurismas que por su anatomía y tamaño no pueden ser llevados fácilmente a cirugía para su oclusión o a procedimientos endovasculares, haciendo necesaria la oclusión del vaso fuente. Existen técnicas que permiten demostrar el flujo por vasos colaterales, lo que permite saber antes de realizar este tipo de oclusiones si el paciente presentará una isquemia del territorio irrigado por la arteria ocluida<sup>5,6</sup>. Hoy en día se sabe que puede haber un 30% de sucesos adversos cerebro vasculares tras la oclusión de la carótida interna<sup>8</sup>. Por medio de varios estudios se ha podido

establecer los umbrales de disminución de flujo.

Estos pacientes que no toleran la oclusión tras haber sido llevados al test de oclusión con balón con criterios clínicos (valoración neurológica por 20 minutos tras la oclusión), radiográficos (llenado por vasos colaterales en angiografías u otras técnicas, imágenes de perfusión)<sup>8,28,29,30</sup> o electrofisiológicos (electroencefalograma o potenciales evocados durante la oclusión)<sup>27</sup> y en los que se establece un alto riesgo de isquemia tras la oclusión, son candidatos para la realización de una anastomosis EC-IC, que para algunos autores debe ser de alto flujo, es decir que asegure un flujo similar al del vaso fuente intracraneal. La arteria temporal superficial es capaz de asegurar un flujo similar al de las ramas de la carótida<sup>31</sup> mediante la realización de anastomosis terminolaterales que conectan esta arteria con la pared lateral de vasos intracraneales que van a ser ocluidos, en otros sin embargo, puede requerirse un flujo mayor que el aportado por esta arteria, por lo que puede ser necesario recurrir a otras técnicas como la de interposición de un injerto vascular extracraneano que pueda conectar dos vasos intracraneales de similar calibre. Estos injertos pueden ser de safena o de arterias radiales, dichos injertos también son usados para conectar vasos extracere-

brales como la arteria temporal superficial con otros intracraneales.

En cuanto a la utilización o no de anastomosis EC-IC para la exclusión de aneurismas gigantes de difícil manejo hay dos conductas principalmente, para algunos autores estos bypass deben llevarse a cabo de forma selectiva, solo para aquellos casos en los que se ha comprobado una reserva vascular deficiente gracias a las pruebas ya mencionadas, para otros la revascularización debe ser universal, es decir, debe realizarse en todos los pacientes en los que se planee el sacrificio del vaso<sup>32</sup>. La decisión de hacer revascularizaciones selectivas o universales debe basarse en el riesgo que significa hacer las pruebas vs el riesgo que conlleva la revascularización. Se ha reportado riesgos de isquemia luego de la realización del test de oclusión con balón que varían entre 3,7 y 7%<sup>32,33</sup>, por otra parte el riesgo de complicaciones isquémicas tras la revascularización se encuentra entre el 5 y el 17%<sup>32,33</sup>.

Existen estudios recientes como el de Zhu y colaboradores<sup>34</sup> en el que se comprobó la eficacia de la revascularización selectiva en pacientes con aneurismas carotídeos complejos en los que fue necesario sacrificar la carótida interna y en los que se comprobó previamente a la realización de la anastomosis una reserva vascular deficiente mediante el test de oclusión con balón y la tomografía de perfusión. En este estudio se realizaron anastomosis terminoterminal entre la arteria temporal superficial y la cerebral media así como puentes entre estas dos arterias con injertos de venas safenas o arterias radiales. Es de anotar sin embargo, que también fueron reportadas complicaciones secundarias a la revascularización, que sin embargo, no superaron la tasa de éxito.

#### **Enfermedad cerebrovascular**

Considerando la alta incidencia de enfermedad cerebrovascular y sus múltiples etiologías, que incluyen estenosis carotídea pero también oclusión de vasos distales en los que no es posible realizar procedimientos como la endarterectomía y donde los procedimientos endovasculares no tiene indicación o pueden generar lesión, el uso de bypass EC-IC se ha convertido en una alternativa que aunque cuestionada, en los últimos tiempos ha mostrado efectividad. Como ya fue mencionado ante-

riormente en el año 1985 se publicó un estudio con 1.337 pacientes a los que se le realizaron bypass EC-IC o tratamiento médico, desafortunadamente los resultados no fueron alentadores, pues la proporción de pacientes con eventos cerebrovasculares isquémicos fue mayor en el grupo de pacientes llevados a cirugía que en el de tratamiento médico, 31% y 29% respectivamente<sup>2</sup>. Los resultados de este estudio desestimularon por muchos años el uso de los bypass, sin embargo, años más tarde y tras haber sido publicadas múltiples críticas acerca de la metodología, especialmente en lo referente a los métodos diagnósticos, pues en ese entonces era difícil diferenciar entre los eventos cerebrovasculares de etiología hemodinámica de los de etiología tromboembólica, se volvió a investigar y soportar este tratamiento.

Con el advenimiento de nuevos estudios radiológicos fue posible determinar el compromiso cerebrovascular secundario a las estenosis y la posibilidad de compensación por circulación colateral o por el efecto de algunos fármacos como la acetazolamida o dióxido de carbono inhalado (predictores de reactividad vascular)<sup>35,36,37,38</sup>. El término de falla hemodinámica que hace referencia a la imposibilidad de un vaso de generar aumento de flujo tras la vasodilatación ha permitido estadificar el grado de compromiso vascular. Mediante estudios de medicina nuclear es posible decir que tan comprometido está un vaso (tasa de extracción de oxígeno, PET)<sup>3</sup>. Con estos estudios se ha facilitado la identificación de indicaciones más precisas para anastomosis EC-IC, permitiendo llevar a cabo estudios con menos sesgos y mayor poder estadístico. Garret y colaboradores de la Universidad de Columbia<sup>39</sup>, realizaron una revisión sistemática de la literatura relacionada con el uso de bypass EC-IC publicada en los últimos años. Ellos encontraron que definitivamente los pacientes con falla hemodinámica secundaria a enfermedad ateromatosa oclusiva, valorados con los métodos radiológicos y farmacológicos ya mencionados, presentan un mayor riesgo de hacer eventos cerebrovasculares isquémicos a pesar de recibir tratamiento médico adecuado y que estos pacientes se benefician de la cirugía de anastomosis EC-IC.

En la actualidad existen las guías aportadas por el American PET EC-IC trial

que recomiendan la realización de anastomosis en pacientes con falla hemodinámica severa grado I (disminución de la vasodilatación en respuesta a la acetazolamida) y evidencia radiográfica de estenosis intracraneal, pues la tasa de eventos cerebrovasculares puede llegar al 19,5% si sólo se hace tratamiento médico y el riesgo de eventos cerebrovasculares puede reducirse hasta en un 54% con el bypass. También recomiendan el tratamiento quirúrgico en los pacientes con falla hemodinámica estadio II (incremento de las tasas de extracción de oxígeno en estudios de Tomografía por emisión de positrones) y evidencia radiográfica de estenosis intracraneal, pues el riesgo de hacer un evento cerebrovascular en estos pacientes es de hasta del 13,1% y el riesgo con el bypass puede disminuir significativamente. Por otro lado, en el caso de pacientes con falla hemodinámica leve, no se recomienda el tratamiento quirúrgico, pues la tasa anual de eventos cerebrovasculares de estos pacientes es baja y la anastomosis no les disminuye el riesgo.

#### **Enfermedad de Moyamoya**

La enfermedad de Moya Moya es una patología más comúnmente vista en los países orientales y en la población pediátrica, en la que los vasos intracraneales por encima de la carótida supraclinoidea presentan estenosis y oclusión progresiva produciendo lesiones cerebrovasculares continuas que generan importante incapacidad en los pacientes. En las imágenes de angiografía se observan vasos de pequeño calibre entremezclados que dan la denominada apariencia de humo, desafortunadamente estos vasos colaterales no son capaces de garantizar la irrigación de los territorios vasculares de las arterias comprometidas por la enfermedad pero si causar sangrados que incluso pueden ser más frecuentes que los episodios de isquemia, especialmente en los adultos. La terapia que hoy en día ha demostrado más eficacia es la revascularización<sup>19,20,21,22</sup>. Dentro de las técnicas usadas están la revascularización indirecta usando injertos extracraneales, bypass EC-IC entre arteria temporal superficial y cerebral media o una combinación de ambos<sup>23,24</sup>. La técnica de revascularización indirecta conocida como encefaloduroarteriomiosinangiosis incluye la transposición de un colgajo de músculo

(técnica introducida por Henschshen<sup>25</sup>), en esta se posiciona el músculo temporal directamente sobre la corteza cerebral, es especialmente útil en los niños quienes por el pequeño calibre de los vasos no son buenos candidatos para la realización de anastomosis. En los adultos las técnicas de bypass han demostrado aumento significativo del flujo de la arteria intracraneal, mejorando rápidamente los síntomas secundarios a la isquemia<sup>26</sup>.

#### **Modelo porcino**

El modelo porcino tiene muchas ventajas con respecto a otros, pues este presenta algunas similitudes con el cerebro humano. A diferencia de los roedores el porcino tiene circunvoluciones similares a las del cerebro humano, la distribución entre sustancia gris y sustancia blanca se conserva, característica poco común entre los mamíferos pequeños<sup>10,11,12</sup>. La vascularización del cerebro y la cabeza del cerdo conserva una organización igual a la del cerebro humano, con un sistema carotideo externo e interno y uno basilar. Las ramas más importantes de la circulación intracerebral humana puede encontrarse en estos animales. El estudio de Burbridge y colaboradores<sup>13</sup> acerca de la circulación cerebral del cerdo mediante angiografías cerebrales, encontró que en estos animales el sistema carotideo externo es especialmente prominente, pues aporta tanto a las estructuras externas de la cabeza como a algunas intracraneales. Cuenta con una circulación cerebral anterior bien desarrollada a partir de la arteria carótida interna y sus ramas principales, la arteria cerebral anterior y la media. También cuenta con una arteria basilar que al igual que en el cerebro humano da origen a dos arterias cerebrales posteriores que se conectan con la circulación anterior en el polígono de Willis. Sin embargo, la circulación de la base del cráneo muestra características diferentes, entre las que se cuentan un complejo de vasos "rete mirabile" que está irrigado principalmente por ramas de la arteria faríngea ascendente, pero en el que también se ve involucradas ramas de la arteria carótida interna, este conglomerado se ha encontrado en otras especies animales como las cabras, los perros y algunas especies de felinos. Una de las principales dificultades de este modelo, es la configuración de cráneo debido a su gran consistencia

y grosor, además del tamaño de la bóveda craneana que con respecto a la humana tiene un menor diámetro, adicionalmente la anatomía de los huesos dificulta la realización de abordajes hacia el lóbulo frontal y la base del cráneo, pues estos animales tienen una apófisis cigomática de gran espesor que se interpone en el camino hacia lo que podría denominarse la porción escamosa del temporal. Los músculos también suponen una dificultad para la realización de los abordajes pues es necesaria su completa desinserción dado el gran volumen de la masa temporal.

Una de las ventajas del uso de las cabezas porcinas es su bajo costo, el hecho de que pueden conseguirse frescas y de que el sacrificio de animal se hace con fines comerciales, por lo que ni el estudiante ni el laboratorio de microcirugía corre con la responsabilidad ética secundaria al sacrificio. No es necesario exponer al animal al dolor secundario al procedimiento ni administrar anestesia, lo que podría significar un aumento significativo en los costos.

### Conclusiones

El uso de anastomosis extra-intracra-

neales e intracraneales constituye en la actualidad una alternativa de tratamiento para múltiples patologías entre las que se cuentan algunos aneurismas cerebrales complejos que pudieran o no requerir oclusión del vaso fuente, la enfermedad cerebrovascular oclusiva intracranenana y la enfermedad de Moya moya. Aunque algunos estudios cuestionaron su utilidad hoy en día se sabe que es un procedimiento útil y seguro. Sin embargo, es necesario contar con un entrenamiento en técnicas de microcirugía, que sólo se logra mediante la práctica continua.

El problema para algunos neurocirujanos y residentes de Neurocirugía, es que en algunos centros el volumen de pacientes candidatos para este procedimiento no es el suficiente para lograr un adecuado entrenamiento, eso sumado al hecho de que la práctica en pacientes puede aumentar el riesgo inherente al procedimiento (el éxito se asocia con la experiencia del cirujano), por lo que es necesario lograr un adiestramiento inicial en los laboratorios de microcirugía en donde el entrenamiento se basa en la utilización de modelos animales. Los cadáveres humanos son de muy difícil consecución en nuestro medio, y en caso de poder contar con ellos,

estos habrán sido expuestos a químicos conservantes que endurecen la pared de los vasos y dificultan la práctica microquirúrgica. Considerando las características anatómicas del cerdo, se propone la realización de este tipo de procedimientos en las cabezas de estos animales, en las que es posible realizar de forma conjunta prácticas de técnicas neuroquirúrgicas, realizar abordajes básicos, además de anastomosis en vasos cerebrales de muy pequeño calibre. El uso de modelos animales vivos representa un dilema ético importante que podría significar un entrenamiento deficiente, sin embargo, el uso de animales previamente sacrificados con fines comerciales hace que los laboratorio estén prácticamente exentos de responsabilidad ética, adicionalmente los costos de estos especímenes son bajos y no es necesario exponer al animal a un procedimiento doloroso o a la anestesia.

**Recibido: 6 de agosto de 2014**

**Aceptado: 5 de octubre de 2014**

### Bibliografía

1. Yasargil MG, ed. Anastomosis between the superficial temporal artery and a branch of the middle cerebral artery. In *Microsurgery applied to neuro-surgery*. Stuttgart: Georg Thieme, 1969, pp105-115.
2. Failure of extracranial-intracranialarterial bypass to reduce the risk of ischemic stroke. Results of an international randomized trial. The ec/ic bypass study group. *N Engl J Med* 1985; 313: 1191-1200.
3. Neff KW, Horn P, Dinter D, Vajkoczy P, Schmiedek P, Duber C. Extracranial- intracranial arterial bypass surgery improves total brain blood supply in selected symptomatic patients with unilateral internal carotid artery occlusion and insufficient collateralization. *Neuroradiology* 2004; 46: 730-737.
4. Amauchi H, Fukuyama H, Nagahama Y, Nabatame H, Ueno M, Nishizawa S, et al. Significance of increased oxygen extraction fraction in five-year prognosis of major cerebral arterial occlusive diseases. *J Nucl Med* 1999; 40: 1992-1998.
5. Nishioka H. Results of the treatment of intracranial aneurysms by occlusion of the carotid artery in the neck. *J Neurosurg* 1966; 25: 660-704.
6. Drake CG, Peerless SJ, Ferguson GG. Hunterian proximal arterial occlusion for giant aneurysms of the carotid circulation. *J Neurosurg* 1994; 81: 656-665.
7. Jennett WB, Harper AM, Gillespie FC. Measurement of regional cerebral blood-flow during carotid ligation. *Lancet* 1966; 2: 1162-1163.
8. Amin-Hanjani S, Charbel F. Is Extracranial- Intracranial Bypass Surgery Effective in Certain Patients?. *Neurosurg Clin N Am* 2008; 19: 477-487.
9. Mura J, Malago-Tavares W, Figueiredo E. Basic Aspects of High-Flow Extracranial-Intracranial Bypass: Part I. *Contemporary Neurosurgery*. 2010; 32(4): 1-4.
10. Hagberg H, Ichord R, Palmer C, Yager JY, Vannucci SJ. Animal models of developmental brain injury: relevance to human disease. A summary of the panel discussion from the Third Hershey Conference on Developmental Cerebral Blood Flow and Metabolism. *Dev Neurosci* 2002; 24(5): 364-366.
11. Friess S, Ralston J, Eucker S, Helfaer M, Smith C, Margulies S. Neurocritical Care Monitoring Correlates With Neuropathology in a Swine Model of Pediatric Traumatic Brain Injury. *Neurosurgery* 2011; 69(5): 1139-1147.
12. Swindle M, Smith A. Comparative anatomy and physiology of the pig. *Scan J. Lab. Anim. Sei. Suppl.* 1998; 25: 11-21.
13. Burbridge B, Matte G, Remedios A. Complex intracranial arterial anatomy in swine is unsuitable for cerebral infarction projects. *Can Assoc Radiol J.* 2004; 55(5): 326-329.

14. Gillilan LA. Extra- and intra-cranial blood supply to brains of dog and cat. *Am J Anat* 1976; 146(3): 237-253.
15. Frackowiak H. The rete mirabile of the maxillary artery of the lion. *Anat Histol Embryol* 1989; 18(4): 342-348.
16. Khamas WA, Ghoshal NG, Bal HS. Histomorphologic structure of the carotid rete-cavernous sinus complex and its functional importance in sheep (*Ovis aries*). *Am J Vet Res* 1984; 45(1): 156-158.
17. Bermúdez JC, Camacho FJ, Londoño JA. Manual de microcirugía, laboratorio de cirugía experimental. 2006.
18. Matsumara N, Hayashi N, Kamiyama H, et al. Microvascular anastomosis at 30-50X magnifications (super-microvascular anastomosis) in Neurosurgery. *Surg Neurol Int* 2011; 2: 6.
19. Imaizumi T, Hayashi K, Saito K, et al. Long-term out- comes of pediatric moyamoya disease monitored to adulthood. *Pediatr Neurol* 1998; 18: 321-325.
20. Karasawa J, Touho H, Ohnishi H, et al. Long-term follow-up study after extracranial-intracranial bypass surgery for anterior circulation ischemia in childhood moyamoya disease. *J Neurosurg* 1992; 77: 84-89.
21. Isono M, Ishii K, Kamida T, et al. Long-term out- comes of pediatric moyamoya disease treated by encephalo-duro-arterio-synangiosis. *Pediatr Neuro- Surg* 2002; 36: 14-21.
22. Karasawa J, Kikuchi H, Furuse S, et al. Treatment of moyamoya disease with STA-MCA anastomosis. *J Neurosurg* 1978; 49: 679-688.
23. Houkin K, Kuroda S, Nakayama N. Cerebral revascularization for moyamoya disease in children. *Neurosurg Clin North Am* 2001; 12: 575-584.
24. Srinivasan J, Britz GW, Newell DW. Cerebral revascularization for moyamoya disease in adults. *Neuro- Surg Clin North Am* 2001; 12: 585-594.
25. Henschen C. [Surgical revascularization of cerebral injury of circulatory origin by means of stratification of pedunculated muscle flaps.] *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir.* 1950; 264: 392-401.
26. Ishikawa T, Houkin K, Kamiyama H, et al. Effects of surgical revascularization on outcome of patients with pediatric moyamoya disease. *Stroke* 1997; 28: 1170-1173.
27. Liu AY, López JR, Do HM, et al. Neurophysiological monitoring in the endovascular therapy of aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003; 24: 1520-1527.
28. Abud DG, Spelle L, Piotin M, et al. Venous phase timing during balloon test occlusion as a criterion for permanent internal carotid artery sacrifice. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005; 26: 2602-2609.
29. van Rooij WJ, Sluzewski M, et al. Predictive value of angiographic testing for tolerance to therapeutic occlusion of the carotid artery. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005; 26: 175-178.
30. Lorberboym M, Pandit N, Machac J, et al. Brain perfusion imaging during preoperative temporary balloon occlusion of the internal carotid artery. *J Nucl Med* 1996; 37: 415-419.
31. Amin-Hanjani S, Du X, Mlinarevich N, et al. The cut flow index: an intraoperative predictor of the success of extracranial-intracranial bypass for occlusive cerebrovascular disease. *Neurosurgery* 2005; 56(1 Suppl): 75-85.
32. Chibbaro S, Tacconi L. Extracranial-intracranial bypass for the treatment of cavernous sinus aneurysms. *Journal of Clinical Neuroscience* 2006; 13: 1001-1005.
33. Tarr RW, Jungreis CA, Horton JA. Complications of preoperative balloon test occlusion of the internal carotid arteries: Experience in 300 cases. *Skull Base Surgery* 1991; 1: 240-244.
34. Zhu W, Tian YL, Zhou LF, et al. Treatment Strategies for Complex Internal Carotid Artery (ICA) Aneurysms: Direct ICA Sacrifice or Combined with Extracranial-to-Intracranial Bypass. *World Neurosurgery.* 2001; 75: 476-484.
35. Vorstrup S, Lassen NA, Henriksen L, Haase J, Lindewald H, Boysen G, et al. Cbf before and after extracranial-intracranial bypass surgery in patients with ischemic cerebrovascular disease studied with 133xe-inhalation tomography. *Stroke* 1985; 16: 616-626.
36. Herold S, Brown MM, Frackowiak RS, Mansfield AO, Thomas DJ, Marshall J. Assessment of cerebral haemodynamic reserve: correlation between pet parameters and CO2 reactivity measured by the intravenous 133 xenon injection technique. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1988; 51: 1045-1050.
37. Webster MW, Makaroun MS, Steed DL, Smith HA, Johnson DW, Yonas H. Compromised cerebral blood flow reactivity is a predictor of stroke in patients with symptomatic carotid artery occlusive disease. *J Vasc Surg* 1995; 21: 338-44, discussion 344-335.
38. Yonas H, Smith HA, Durham SR, Penzheny SL, Johnson DW. Increased stroke risk predicted by compromised cerebral blood flow reactivity. *J Neurosurg* 1993; 79: 483-489.
39. Garrett M, Komotar RJ, Starke RM, Merkow MB, et al. The efficacy of direct extracranial-intracranial bypass in the treatment of symptomatic hemodynamic failure secondary to athero-occlusive disease: A systematic review. *Clinical Neurology and Neurosurgery.* 2009; 111: 319-326.

**Correspondencia a:**

E-mail: mateato@gmail.com