

Dr. Bernardo Boleaga-Durán,<sup>1</sup>  
 Dra. Sandra Ameller-Terrazas,  
 Dr. José Luis Criales-Cortés

## Variantes anatómicas del círculo arterial de la base craneal

### RESUMEN

**Introducción:** Las variantes anatómicas de las arterias cerebrales, incluyendo las anastomosis carótido-vertebrales, son adecuadamente evaluadas con angiografía por Resonancia Magnética (aRM).

**Objetivo:** El presente trabajo pretende definir, con aRM, las variantes anatómicas del círculo arterial de la base craneal y los vasos aberrantes de la cabeza y cuello

**Material y Métodos:** Se realizó aRM en 412 pacientes, 177 del sexo masculino y 235 del femenino, en un equipo de RM de 1.5T, con imágenes en 3D TOF.

**Resultados:** Los estudios de aRM no mostraron variantes anatómicas en 38 pacientes (9.22%). En 168 casos (40.7%) hubo reducción de flujo sanguíneo por hipoplasia de las ACoP. En 49 pacientes (11.8%) se observó hipoplasia de la ACoP derecha y en 51 pacientes (12.3%) la hipoplasia fue de la ACoP izquierda. 30 pacientes (7.2%) con hipoplasia de la arteria cerebral anterior (ACA) derecha y 10 pacientes en la ACA izquierda (2.4%). Hipoplasia de la porción inicial de la ACP o P1 en 34

casos (8.2%) y su asociación con hipoplasia de la ACA en 29 casos (7.2%). Arteria trigeminal primitiva persistente (ATP) en dos casos (0.4%) y arteria ácigos en sólo un paciente (0.2%).

**Discusión:** El círculo arterial de la base craneal y las anastomosis carótido vértebro basiliares (ACVB) poseen características reconocibles por aRM que permiten identificarlas. Las ACVB usualmente tienen cuatro ramas, conocidas como intersegmentarias: arteria trigeminal, arteria ótica (acústica), arteria hipoglosa y arteria pro atloidea. Una arteria cerebral anterior (ACA) ácigos es un vaso impar solitario originado de un sólo tronco en la confluencia del segmento horizontal (A1) de ambas ACA. Existen otras ramas anómalas de la arteria carótida interna (ACI) menos frecuentes como: arteria oftálmica dorsal persistente, anastomosis de la carótida interna con la cerebral anterior, origen fetal de la arteria cerebral posterior, arteria coroidea anterior hiperplásica, arteria cerebral media duplicada y arteria olfatoria primitiva persistente.

continúa en la pág. 240

<sup>1</sup>Grupo CT Scanner. Rafael Checa # 3 San Ángel, 01000, México. D. F. Copias (copies): Dr. Bernardo Boleaga-Durán. E-mail: bernardoboleaga@prodigy.net.mx.

### Introducción

Las descripciones sobre los aspectos anatómicos de las arterias cerebrales se centran en el análisis de sus condiciones normales, tanto en los estudios angiográficos convencionales, como en la Angiografía por Tomografía Computada, también conocida como Angio Tomografía (aTC) y en la Angiografía por Resonancia Magnética o Angio Resonancia (aRM). Las variantes anatómicas suelen mostrar frecuentemente características identificables

que permiten ser reconocidas y no confundirse con patología.

### Objetivo

El presente trabajo está orientado a definir las variantes anatómicas del círculo arterial de la base craneal, los vasos aberrantes de la cabeza y cuello, incluyendo las anastomosis carótido vértebro basiliares primitivas persistentes y las anomalías en las ramas de la arteria

**Conclusión:** La elevada sensibilidad y la especificidad de la aRM permite evaluar las variantes anatómicas del círculo arterial de la base craneal y las ACVB.

#### **PALABRAS CLAVE**

Angiografía por Resonancia Magnética, variantes anatómicas, círculo arterial de la base craneal, polígono de Willis, anastomosis carótido vértebro basílares.

#### **ABSTRACT**

**Introduction:** Anatomic variants of brain arteries, including carotid-vertebral anastomosis, are adequately assessed with Magnetic Resonance angiography (MRa).

**Purpose:** This work is aimed at defining, through MRa, the anatomic variants of the brain base artery circle and aberrant vessels of the head and neck.

**Material and Methods:** MRa was performed to 412 patients, 177 males and 235 females, with a 1.5T MR equipment, with 3D TOF images.

**Results:** The MRa studies did not show any anatomic variants in 38 patients (9.22%). In 168 cases (40.7%) there was blood flow reduction due to ACoP hypoplasia. In 49 patients (11.8%) right ACoP hypoplasia was observed, while in 51 patients (12.3%) the hypoplasia was of the left ACoP. 30 patients (7.2%) had hypoplasia of the right anterior brain artery (ABA) and 10 patients in the left ABA (2.4%).

Hypoplasia of the initial part of ACP or P1 in 34 cases (8.2%) and its association with hypoplasia of ABA in 29 cases (7.2%). Persistent primitive trigeminal artery (PTA) in two cases (0.4%) and azygous vein only in one patient (0.2%).

**Discussion:** The artery circle in the brain base and the carotid vertebral basilar anastomosis (CVBA) have characteristics recognizable by means of MRa that enable their identification. CVBA usually have four branches, known as intersegmentary: trigeminal artery, otic artery (acoustic), hypoglossal artery and proatlantic artery. An azygous anterior brain artery (ABA) is a lonely odd vessel originated in one trunk where the two ABA meet with the horizontal segment (A1). There are other less frequent abnormal branches of the internal carotid artery (ICA), such as: persistent dorsal ophthalmic artery, anastomosis of the internal carotid with the anterior brain artery, fetal origin of the back brain artery, hyperplastic anterior choroid artery, duplicated media cerebral artery and persistent primitive olfactory artery.

**Conclusion:** High sensitivity and specificity of MRa enables the assessment of the anatomic variants of the artery circle in the base of the brain and the CVBA.

#### **KEY WORDS**

Magnetic Resonance Angiography, anatomic variants, artery circle in the base of the brain, Willis polygon, carotid vertebral basilar anastomosis.

carótida interna así como la combinación de todas estas mediante aRM, para determinar su frecuencia y sus características.

#### **Material y Métodos**

Prospectivamente se estudiaron 450 pacientes en forma aleatoria, en el periodo comprendido de Enero a Diciembre del 2003, con un equipo de Resonancia Magnética de 1.5 T, obteniéndose imágenes de aRM en 3D TOF, con reconstrucciones vasculares en planos sagital, axial y coronal. Se excluyeron

38 estudios por mostrar datos patológicos en las arterias de la base craneal, quedando 412 estudios que constituyeron la base de las observaciones, 177 del sexo masculino y 235 del sexo femenino.

#### **Resultados**

Los estudios de aRM mostraron integridad del círculo arterial de la base craneal, sin variantes anatómicas, en 38 pacientes (9.22%). En 168 casos (40.7%) se encontró reducción o ausencia de flujo sanguíneo en ambas arterias comunicantes

posteros (ACoP), sugestivo de hipoplasia o atresia, constituyendo la variante anatómica más frecuente. En 49 pacientes (11.8%) se observó hipoplasia de la ACoP derecha y en 51 pacientes (12.3%) la hipoplasia fue de la ACoP izquierda. La hipoplasia de la arteria cerebral anterior (ACA) derecha se detectó en 30 pacientes (7.2%) y en diez pacientes en la ACA izquierda (2.4%). La hipoplasia de la porción inicial de la ACP ó P1 se observó en 34 (8.2%) y su asociación con hipoplasia de la ACA se observó en 29 casos (7.2%). Se encontró la arteria trigeminal primitiva persistente (ATP) en dos casos (0.4%) y la arteria ácigos en sólo un paciente (0.2%).

## Discusión

El círculo arterial de la base craneal, también conocido como círculo ó “Polígono de Willis”, debido a la descripción de su autor en 1684, suele mostrar variantes anatómicas como manifestación del asimétrico desarrollo de sus componentes.<sup>1</sup>

Adicionalmente las anastomosis carótido vértebro basílares (ACVB), conocidas como arterias pre segmentarias en el periodo embrionario, contribuyen a la circulación entre la arteria carótida interna (ACI) y el sistema vértebro basilar primitivo.<sup>2,3,4</sup> (Figura No. 1).

El “Polígono de Willis”, localizado en la superficie ventral del diencéfalo, adyacente a la vía visual (nervios ópticos, quiasma y tractos), es un polígono vascular que interconecta la porción supracinoida de ambas ACI, el segmento horizontal (A1) de las arterias cerebrales anteriores (ACA), el segmento horizontal (P1) de las arterias cerebrales posteriores (ACP), la arteria comunicante anterior (CoA), ambas ACoP y el tope de la arteria basilar. En el plano axial de imágenes de Tomografía Computada (TC) y de Resonancia Magnética (RM), el infundíbulo (tallo) hipofisiario se localiza usualmente en la porción central de este círculo arterial. Únicamente el 18% de los especímenes de autopsia muestran desarrollo completo del Círculo de Willis, sin hipoplasia, conservando simetría morfológica.

Riggs<sup>5</sup> describió ocho variantes anatómicas del círculo de Willis basadas en el estudio de 1647 autopsias.

### Variantes del Círculo Arterial de la Base Craneal<sup>6</sup>

Tipo 1.- Forma asimétrica del círculo de Willis con un lado de menor calibre que el otro.

Tipo 2.- Simetría del Círculo de Willis, pero todos sus componentes muestran calibre reducido. (Figura No. 2).

Tipo 3.- Hipoplasia unilateral del segmento A1 de la ACA.

Tipo 4.- Hipoplasia unilateral del segmento P1 de la ACP. (Figura No. 5).

Tipo 5.- Hipoplasia bilateral del segmento P1 de la ACP. (Figura No. 6).

Tipo 6.- Hipoplasia unilateral del segmento P1 de la ACP. con hipoplasia unilateral del segmento A1 de la ACA en el mismo lado. (Figura No. 7).

### Ramas anómalas de la Arteria Carótida Interna

- a) Arteria Carótida Interna
- b) Arteria Vertebral
- c) Arteria Basilar
- d) Arteria Oftálmica
- e) Arteria Cerebral Anterior
- f) Arteria Cerebral Media
- 2. Arteria Hipoglosa Primitiva Persistente
- 3, 4, 5. Arteria Trigeminal Primitiva Persistente
- 5. Origen Fetal de la Arteria Cerebral Posterior
- 6. Variante de la Arteria Trigeminal Persistente
- 7. Arteria Oftálmica Dorsal Persistente
- 8. Anastomosis de Arterias Carótida y Cerebral Anterior
- 9. Arteria Coroidea Anterior Hiperplásica
- 10. Arteria Cerebral Media Duplicada
- 11. Arteria Olfatoria Primitiva Persistente

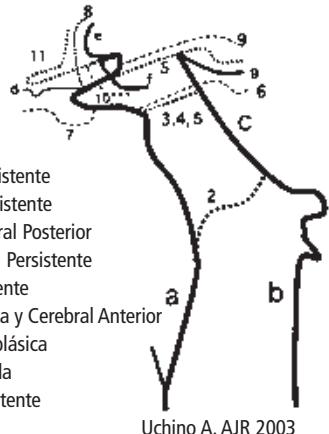


Figura No. 1. Esquema de ramas anómalas de la Arteria Carótida Interna.

Tipo 7.- Hipoplasia unilateral del segmento P1 de la ACP con hipoplasia contralateral del segmento A1 de la ACA. (Figura No. 8).

Tipo 8.- Hipoplasia bilateral del segmento P1 de la ACP con hipoplasia del segmento A1 de la ACA.

La hipoplasia de la ACoP se presenta en el 34% de los casos.<sup>7</sup> En nuestra casuística se presentó en el 40.7%. (Figuras No. 3 y 4).

En el 20% una configuración fetal de la ACP se origina directamente de la ACI y suele haber hipoplasia o atresia del segmento P1 (pre comunicante) de la ACP del mismo lado (Tipo 4). En nuestro estudio el 8.2% mostró hipoplasia de P1, asociada a hipoplasia de la ACA en un 7.2% adicional (15.4% de ambas).

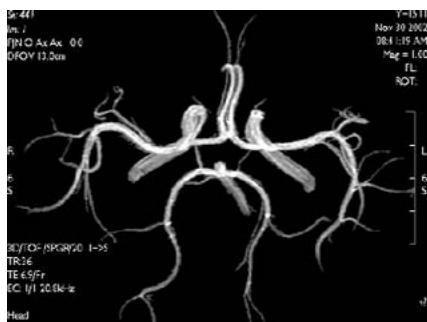
El segmento A1 de la ACA es hipoplásico en el 10% de los casos (9.6% en nuestra serie). La ausencia completa de segmento horizontal A1 de la ACA es poco usual.

Raramente puede haber múltiples arterias comunicantes anteriores (doble o triple). En el 15% hay hipoplasia de la ACoA y su ausencia es poco frecuente (4%).

Aunque un componente del círculo arterial de la base craneal sea muy hipoplásico, una o varias pequeñas ramas arteriales mantienen comunicación entre dos vasos de este círculo arterial. La permeabilidad de las estructuras arteriales que forman este círculo arterial permite aporte sanguíneo hacia áreas que requieren mayor flujo sanguíneo, tanto en condiciones fisiológicas como patológicas. Usualmente la hipoplasia de una de estas arterias se asocia a incremento en el calibre de estructuras anatómicas, que permiten corregir y compensar una posible deficiencia en el aporte sanguíneo.

### Anastomosis Carótido Vértebro Basilares

Desde 1944 se mencionaron las ACVB,<sup>8</sup> complementándose con publicaciones más recientes.<sup>9</sup> Aproximadamente a los 29 días del desarrollo embrionario el cerebro recibe el aporte



**Figura No. 2.** Círculo arterial de la base craneal íntegro.



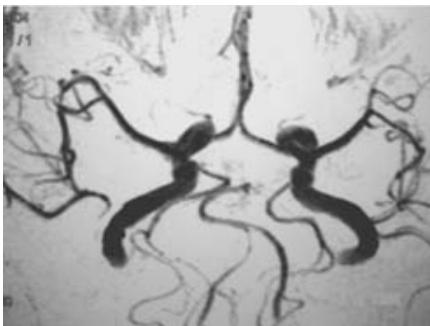
**Figura No. 3.** Hipoplasia de ambas arterias comunicantes posteriores.



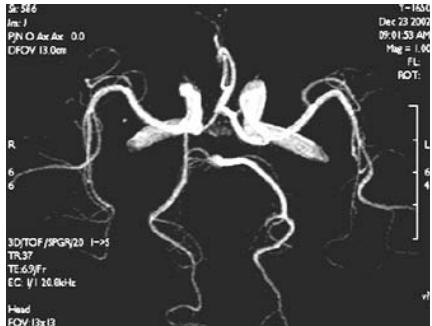
**Figura No. 4.** Hipoplasia de ambas arterias comunicantes posteriores y de la porción A1 de la arteria cerebral anterior derecha.



**Figura No. 5.** Variante Tipo 4. Hipoplasia de la arteria comunicante posterior derecha y de la porción P1 de la arteria cerebral posterior izquierda.



**Figura No. 6.** Variante Tipo 5. Hipoplasia de la porción P1 de ambas arterias cerebrales posteriores.



**Figura No. 7.** Variante Tipo 6. Hipoplasia de la porción P1 de la arteria cerebral posterior derecha, de la porción A1 de la arteria cerebral anterior izquierda y de la comunicante posterior izquierda.



**Figura No. 8.** Variante Tipo 7. Hipoplasia de A1 izquierda y de la comunicante posterior derecha.

te sanguíneo mediante dos sistemas. Uno de estos, el carotídeo, suple al cerebro anterior y el otro, el sistema vértebro basilar primitivo al cerebro posterior, mediante las arterias neurales longitudinales.

Estas últimas reciben circulación del sistema carotídeo a través de cuatro ramas, conocidas como intersegmentarias: arteria trigeminal, arteria ótica (acústica), arteria hipoglosa y arteria pro-atoidea.<sup>3</sup>

La obliteración fisiológica de las arterias intersegmentarias, a los 32 días del desarrollo embrionario, depende de la anastomosis superior del sistema carotídeo con el de las arterias neurales longitudinales, por la ACoP y la fusión de las arterias longitudinales para formar la arteria basilar. A partir de este momento las arterias intersegmentarias sufren una regresión

siguiendo el siguiente orden: Inicialmente la arteria ótica, seguida por la arteria hipoglosa, después la arteria trigeminal y al final, la arteria pro-atoidea, cuya obliteración fisiológica se relaciona con el desarrollo de las arterias vertebrales.

La incidencia de las ACVB se ha reportado entre el 0.1% y el 1%.<sup>2</sup> Usualmente se detectan como hallazgos incidentales asociados con anomalías vasculares (aneurismas) y con síntomas de nervios craneales.<sup>9</sup>

### Arteria Trigeminal Primitiva Persistente

Esta arteria conecta la porción cavernosa de la ACI con el tercio distal de la arteria basilar. Su incidencia aproximadamente es del 0.1 al 0.6% y representa el 85% de todas las persistencias de las arterias intersegmentarias.<sup>10</sup> (Figura No. 9)

Cuando la arteria trigeminal primitiva (ATP) se conecta con la arteria cerebelar superior o con las cerebelares media e inferior, en lugar de la basilar, se reconoce como variante de ATP.

Según su trayecto Saltzman<sup>11</sup> la clasifica, en tres tipos:

-Tipo 1: Penetra la silla turca y la recorre por su propio surco, perforando a la duramadre a nivel del clivus, anastomosándose con la arteria basilar entre las arterias cerebelares media y superior. En este tipo de ATP, tipo fetal, la ACoP esta ausente y el sistema basilar distal esta suplido por la ATP

-Tipo 2: La ATP sale del seno cavernoso, junto a la rama sensorial del nervio trigémino, recorre el surco del proceso

petroso posterior, limitada por arriba por el ligamento petroclinoideo y se une a la arteria basilar entre las arterias cerebelares media y superior. La ACoP suple a la ACP posterior del mismo lado y la ATP vasculariza ambas arterias cerebelares superiores.

-Tipo 3: Es una combinación de las dos anteriores, usualmente con una comunicación directa de la ATP a una arteria cerebelar.

La ATP se asocia con anomalías vasculares (25%), como malformaciones arterio venosas, fistulas carótido cavernosas, enfermedad de Moyamoya y más frecuentemente aneurismas intracraneales en el 14% de los casos. En nuestra casuística encontramos dos casos con ATP, uno de estos asociado a un aneurisma sacular de la ACoP, corroborado con angiografía cerebral. (Figura No. 10)

### Arteria Hipoglosa Primitiva Persistente

Esta arteria es la segunda ACVB más común. Existen más de 160 casos reportados. Es una rama robusta que nace de la ACI a la altura de C1 y C3, atravesando el canal hipogloso (agujero condíleo anterior) para anastomosarse finalmente con la arteria basilar. El canal hipogloso puede ensancharse. Una o ambas arterias vertebrales pueden estar aplásicas ó hipoplásicas<sup>12</sup> y la ACoP ipsolateral estar ausente.

### Arteria Ótica ("acústica") Primitiva Persistente

Se han reportado ocho casos. Se origina en la porción petrosa de la ACI y alcanza a la arteria basilar por el conducto auditivo interno, siendo este su criterio más importante para su detección; entre sus variantes esta la anastomosis con ramas cerebelares.

### Arteria Pro Atloidea Primitiva Persistente ("Intersegmentaria pro atlantal")

Se origina a partir de la arteria carótida externa (tipo 2) o de la interna, en su porción cervical (tipo 1) a nivel de C2-C4 y se anastomosa con las arterias vertebrales en su porción suboccipital. Típicamente esta arteria se origina a un nivel más bajo que la arteria hipoglosa. Existen aproximadamente 40 casos reportados y el 50% presentaron hipoplasia de una o ambas arterias vertebrales.<sup>13</sup>

Las variantes del complejo formado por la ACA y la ACoA incluyen el trayecto infra óptico de la ACA, adyacente al origen de la arteria oftálmica.<sup>14</sup>

Se han descrito otras anomalías vasculares congénitas como el hallazgo incidental, en imágenes de aTC y de aRM, de una arteria estapedial persistente la cual puede manifestarse clínicamente como una masa pulsátil que protruye hacia la caja timpánica. Usualmente es asintomática, pero puede causar pérdida auditiva y tinnitus pulsátil. El diagnóstico diferencial incluye un glomus timpánico, una arteria carótida aberrante o un golfo yugular prominente. Una arteria estapedial persistente se origina de la porción petrosa de la ACI, penetrando al hipotimpánico en un canal óseo.

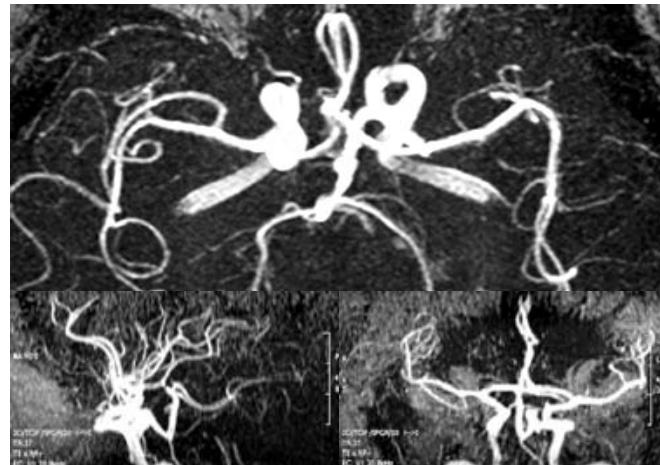


Figura No. 9. Arteria trigeminal primitiva.

El desarrollo embrionario del sistema branquial produce seis pares de arcos aórticos y sus correspondientes arterias. El primer arco origina a la arteria mandibular, la cual posteriormente involuciona. Embriológicamente el segundo arco aórtico primitivo origina la arteria hioidea que, a su vez origina a la arteria estapedial en la ACI. Esta arteria da origen a una rama ventral que se convierte en las arterias maxilar y mandibular. También da origen a una rama dorsal que, en caso de que sea una arteria estapedial persistente, puede convertirse en la arteria meníngea media, asociado a ausencia del foramen espinoso.<sup>15</sup>

### Arteria áigos

Una ACA áigos es un vaso impar solitario originado de un sólo tronco en la confluencia del segmento horizontal (A1) de ambas ACA. (Figura No. 11) Esta variante anatómica puede asociarse a holoprosencefalia o a aneurismas saculares. En nuestra serie encontramos un caso con ACA áigos.

Es más frecuente el hallazgo de una ACA bi-hemisférica que, en forma dominante, envía ramas a ambos hemisferios, mientras que la otra permanece hipoplásica, terminando en una arteria órbito frontal u órbito polar.<sup>7</sup>

Uchino et al<sup>16</sup> hacen referencia de las ramas anómalas de la ACI, coincidiendo con algunas de las ya men-

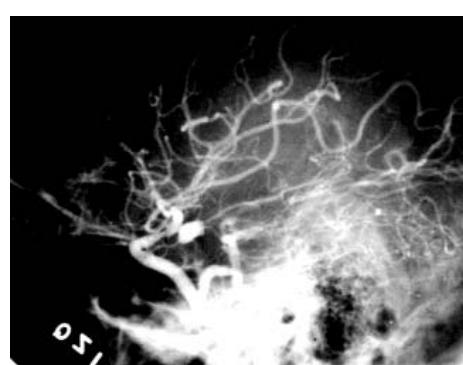


Figura No. 10. Angiografía cerebral mostrando arteria trigeminal primitiva asociada a aneurisma sacular de la arteria comunicante posterior.

cionadas, pero agregando otras poco frecuentes demostradas en la Figura No. 1, como:

### Arteria Oftálmica Dorsal Persistente

La arteria oftálmica originada de la porción cavernosa de la ACI es rara. Según Ogawa<sup>17</sup> existen dos arterias oftálmicas primitivas en la etapa embrionaria inicial. Normalmente la arteria oftálmica ventral persiste y la arteria oftálmica dorsal involuciona, pero en algunas ocasiones la arteria oftálmica dorsal persiste y la ventral involuciona. Esta arteria oftálmica anómala entra a la órbita por la fisura orbitaria superior, en lugar del canal óptico.

### Anastomosis de la Carótida Interna con la Cerebral Anterior

En casos muy raros la ACA se origina de la ACI al nivel del origen de la arteria oftálmica. Esta arteria anómala se conoce como trayecto infra óptico de la ACA, usualmente en el lado derecho y asociada a aneurisma de la ACoA.



Figura No. 11. Arteria cerebral anterior áigos.

### Origen fetal de la arteria cerebral posterior

La ACP se origina frecuentemente de la porción supraclinoidea de la ACI, sin comunicación con la arteria ba-

silar. Esta variante es conocida como origen fetal de la ACP y su incidencia reportada es de 10% en el lado derecho, 10% en el lado izquierdo y 8% en forma bilateral.

### Arteria Coroidea Anterior Hiperplásica

Las ramas témporo occipitales de la ACP se pueden originar en la arteria coroidea anterior. En estos casos esta arteria es hiperplásica. La prevalencia de la arteria coroidea anterior hiperplásica se reporta entre el 1.1% y el 2.3% de las series angiográficas.

### Arteria Cerebral Media Duplicada

En ocasiones se duplica la arteria cerebral media (ACM). Su incidencia por aRM es de 2.1%. La ACM duplicada es la rama temporal de la ACM, que se origina directamente de la porción terminal de la ACI.

### Arteria Olfatoria Primitiva Persistente

En ocasiones muy raras la porción proximal de la ACA sigue un trayecto antero infero medial, a lo largo del tracto olfatorio ipsolateral y hace un giro postero superior. A esta ACA anómala se le conoce como arteria olfatoria primitiva persistente. Normalmente esta arteria involuciona y se convierte en la arteria recurrente de Heubner. Cuando la ACA se origina anormalmente de la porción distal de la arteria olfatoria primitiva, la porción proximal de la arteria sigue el trayecto del tracto olfatorio.

## Conclusión

La aRM es un método diagnóstico no invasivo, de alta sensibilidad y especificidad para el estudio de las variantes anatómicas en el círculo arterial de la base craneal y eventualmente para la detección de la persistencia de arterias embrionarias y no confundirlas con hallazgos patológicos, cuya importancia sería relevante en procedimientos quirúrgicos.

## Referencias

1. Taveras JM, Wood EH. Diagnostic Neuroradiology. The Williams & Wilkins Company. Baltimore. 1964, pp1490-1537.
2. Yilmaz E, Ilgit E, Taner D. Primitive persistent carotid-basilar and carotid-vertebral anastomoses: a report of seven cases and a review of the literature. Clin Anat 1995;8:36-43.
3. Caldemeier KS, Carrico JB, Mathews PM. The radiology and embryology of anomalous arteries of the head and neck. AJR 1998;170:197-203.
4. Uchino A, Kato A, Takase Y, Kudo S. Middle cerebral artery variations detected by magnetic resonance angiography. Eur Radiol 2000;10:560-563.
5. Riggs HE. Anomalies of circle of Willis. In: Hodes PJ, Campoy F, Riggs HE, Bly P. Cerebral Angiography. Fundamentals in anatomy and physiology. Am J Roentgenol 1953;70:61.
6. Jenkins JR. Atlas of Neuroradiologic Embryology, Anatomy and Variants. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia. 2000 pp 358-368.
7. Osborn A. Diagnostic Neuroradiology. Mosby-Year Book, Inc. St. Louis. 1994 pp 117-145.
8. Padgett DH. The circle of Willis its embryology and anatomy. In: Dandy WE. Intracranial Arterial Aneurysms. Ithaca, New York, Comstock. 1944 p. 67.
9. Luh G, Dean B, Tomsick T, Wallace R. The persistent Fetal Carotid Vertebrobasilar Anastomoses. AJNR 1999;172(5): 1427-1432.
10. Uchino A, Kato A, Takase Y, Kudo S. Persistent trigeminal artery variants detected by MR angiography. Eur Radiol 2000;10:1801-1804.
11. Saltzman G. Patent primitive trigeminal artery studied by cerebral angiography. Acta Radiol 1959;51:329-336.
12. Hahnle S, Hartmann M, Jansen O, Sartor K. Persistent hypoglossal artery: MRI, MRA and digital subtraction angiometry. Neuroradiology 2001;43:767-769.
13. Anderson RA, Sondheimer FK. Rare carotid-vertebrobiliar anastomosis with notes on the differentiation between proatlantal and hypoglossal arteries. Neuroradiology 1976;11:113-118.
14. Given II CA, Morris P. Recognition and Importance of an Infratropic Anterior Cerebral Artery: case report. AJNR Am J Neuroradiol 2002;23: 452-454.
15. Yilmaz T, Bilgem C, Savas R and Alper H. Persistent stapedial artery: MR Angiographic and CT Findings. AJNR Am J Neuroradiol 2003;24: 1133-1135.
16. Uchino A, Sawada A, Takase Y, Kudo S. MR Angiography of Anomalous Branches of the Internal Carotid Artery. AJR Am J Roentgenol 2003;181:1409-14.
17. Ogawa T, Miyauchi T, Kato T, Tamakawa Y. Internal carotid origin of double ophthalmic arteries. Neuroradiology 1990;32:508-510.