



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
UNIDAD MÉDICA DE ALTA ESPECIALIDAD
HOSPITAL GENERAL "DR. GAUDENCIO GONZÁLEZ GARZA"
CENTRO MÉDICO NACIONAL "LA RAZA"**

TÍTULO

**VARIANTES ANATÓMICAS DEL CÍRCULO DE WILLIS
DIAGNOSTICADAS POR ANGIORESONANCIA
MAGNÉTICA 3D TOF EN UNA UMAE DE 2017 A 2018.**

TESIS

**PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
MÉDICO ESPECIALISTA EN IMAGENOLÓGÍA
DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA**

PRESENTA:

DR. HUGO ALBERTO SÁNCHEZ AVILA

TUTORES PRINCIPALES:

DR. DANIEL FLORES SORCIA

DR. BERNARDO RAMÍREZ GARCÍA

**MÉDICOS ADSCRITOS AL SERVICIO DE
RADIOLOGÍA E IMAGEN**

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2018.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

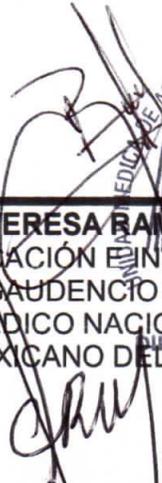


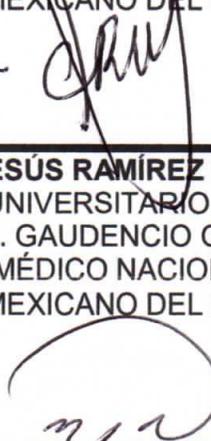
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.


DRA. MARÍA TERESA RAMOS CERVANTES
DIRECTORA DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN EN SALUD
U. M. A. E. DR. GAUDENCIO GONZÁLEZ GARZA
CENTRO MÉDICO NACIONAL "LA RAZA"
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL


DR. JESÚS RAMÍREZ MARTÍNEZ
TITULAR DEL CURSO UNIVERSITARIO DE RADIOLOGÍA E IMAGEN
U. M. A. E. DR. GAUDENCIO GONZÁLEZ GARZA
CENTRO MÉDICO NACIONAL "LA RAZA"
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL


DR. DANIEL FLORES SORCIA
INVESTIGADOR PRINCIPAL
MÉDICO RADIÓLOGO ADSCRITO AL SERVICIO DE RADIOLOGÍA E IMAGEN
U. M. A. E. DR. GAUDENCIO GONZÁLEZ GARZA
CENTRO MÉDICO NACIONAL "LA RAZA"
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL


DR. BERNARDO RAMÍREZ GARCÍA
INVESTIGADOR ASOCIADO
MÉDICO RADIÓLOGO ADSCRITO AL SERVICIO DE RADIOLOGÍA E IMAGEN
U. M. A. E. DR. GAUDENCIO GONZÁLEZ GARZA
CENTRO MÉDICO NACIONAL "LA RAZA"
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL


DR. HUGO ALBERTO SÁNCHEZ AVILA
TÉSISTA
MÉDICO RESIDENTE DE CUARTO AÑO DE RADIOLOGÍA E IMAGEN
U. M. A. E. DR. GAUDENCIO GONZÁLEZ GARZA
CENTRO MÉDICO NACIONAL "LA RAZA"
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios todo poderoso, por iluminar mi vida y protegerme, brindándome salud y de fuerzas necesarias para llegar al final de este camino...

A mi bella esposa Selene, por su amor y apoyo incondicional, por luchar hombro a hombro a mi lado, haciéndome fuerte y motivándome cada día para lograr esto que tanto anhelaba...

A mi madre, Petra Avila Romero, quien mejor que nadie sabe todo el sacrificio que se necesita para conseguir lo que se desea, por heredarme su espíritu de lucha y otorgarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, toda la vida le estaré agradecido...

A mis hermanos por confiar en mí, por sus palabras de ánimo cuando veía todo derrumbarse, siempre creyeron en que lo lograría...

A mis maestros del curso universitario y a todos los médicos que se dedicaron a la enseñanza durante mis rotaciones, siendo un libro abierto al conocimiento...

A mis asesores, Dr. Daniel Flores Sorcia y el Dr. Bernardo Ramírez García por su paciencia y dedicación a la investigación, apoyándome en todo momento a la realización de este trabajo...

1. Datos del alumno (Autor)	1. Datos del alumno
Apellido Paterno:	Sánchez
Apellido Materno:	Avila
Nombre:	Hugo Alberto
Universidad:	Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad o Escuela:	Facultad de Medicina
Carrera:	Posgrado Imagenología Diagnóstica y Terapéutica
No. de cuenta:	515214040
Correo:	ugo_0009@hotmail.com
2. Datos del asesor (es)	2. Datos del asesor (es)
Apellido Paterno:	Flores
Apellido Materno:	Sorcía
Nombre (s):	Daniel
Apellido Paterno:	Ramírez
Apellido Materno:	García
Nombre (s):	Bernardo
3. Datos de la Tesis	3. Datos de la Tesis
Título:	Variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en una UMAE de 2017 a 2018.
Nº de páginas:	66
Año:	2018
NÚMERO DE REGISTRO:	

CONTENIDO

I.	TÍTULO.....	6
II.	RESUMEN.....	7
III.	MARCO TEÓRICO.....	10
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	26
V.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	27
VI.	OBJETIVOS.....	28
VII.	HIPÓTESIS.....	29
VIII.	PROGRAMA DE TRABAJO.....	30
IX.	CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	37
X.	RECURSOS HUMANOS.....	38
XI.	FACTIBILIDAD.....	39
XII.	RESULTADOS.....	40
XIII.	DISCUSIÓN.....	51
XIV.	CONCLUSIÓN.....	55
XV.	BIBLIOGRAFÍA.....	57
XVI.	ANEXOS.....	60

I. TÍTULO

***VARIANTES ANATÓMICAS DEL CÍRCULO DE WILLIS DIAGNOSTICADAS POR
ANGIORESONANCIA MAGNÉTICA 3D TOF EN UNA UMAE DE 2017 A 2018.***

II. RESUMEN.

Título: Variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en una UMAE de 2017 a 2018.

Autores: Dr. Flores Sorcia Daniel, Dr. Ramírez García Bernardo y Dr. Hugo Alberto Sánchez Avila.

Antecedentes:

En los primeros años de los noventa surgen las secuencias de angio-RM sin contraste, basadas en el "fenómeno de entrada" o time-of-flight (TOF) y en el contraste de fase de los protones que se mueven por el flujo sanguíneo. La angiografía por resonancia magnética (RM) es una de las técnicas no invasivas más comúnmente utilizadas en la formación de imágenes del sistema cerebrovascular, esta ofrece varias ventajas: un detalle anatómico superior, una menor dependencia del operador, y el uso concomitante de secuencias en Difusión para detectar un infarto agudo en el marco de un derrame cerebral. En la práctica clínica rutinaria la angiografía por resonancia magnética (ARM) se puede realizar usando dos técnicas, sin la administración de material de contraste en secuencias tiempo de vuelo (TOF, *time-of-flight*) o técnicas en fase contrastada.

La angiografía RM *time of flight* (TOF) es la técnica angiográfica sin contraste más antigua y más utilizada en imágenes neurovasculares, tiene una sensibilidad del 72-97% y una especificidad del 91-100%. En la actualidad los estudios de imagen neurovascular son habitualmente utilizados en muchas instituciones para la evaluación inicial de la circulación cerebral en el contexto de un accidente cerebrovascular agudo y hemorragia subaracnoidea. En el año 2010 se realizaron aproximadamente 30 millones de estudios de RM en todo el mundo.

El círculo de Willis representa un esquema de suplencia vascular que interconecta los sistemas vasculares entre un hemisferio cerebral y otro, además de la correspondencia entre la circulación anterior y posterior, dadas por el sistema carotídeo y el sistema vertebro-basilar. Thomas Willis (1621-1675) un anatomista y

médico Inglés, describió por primera vez en el año 1664 la circulación arterial cerebral, descrita como la conformación clásica.

Las variaciones de la circulación cerebral, en particular, del círculo de Willis, son comunes, por lo que es importante entender la aparición de estas variantes normales, su prevalencia y su relevancia clínica, en particular con respecto al riesgo de formación de aneurismas. Un círculo de Willis completo sin ningún componente ausente o hipoplásico no se ve más que en el 20 a 25% de los casos; casi en el 50% de todos los especímenes anatómicos se ven anomalías en la parte posterior del círculo. Las variantes normales incluyen duplicaciones y fenestraciones, dentro de las variantes del círculo de Willis.

En la literatura universal se cuenta con muchos investigadores que han realizado estudios morfológicos del círculo de Willis, en la que se muestra un rango amplio de frecuencia de variantes de entre 40%-90.8%, siendo más predominantes las variantes en la circulación posterior de hasta un 79%. En México Hernández y cols en el año 2015 encontró una frecuencia del 42%, diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF.

PACS es un sistema de Comunicación y Archivo de Imágenes. Esta definición corresponde a la traducción literal de sus siglas en Inglés Picture Archiving and Communications System.

Objetivos:

- Identificar las variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en pacientes atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General, Dr. Gaudencio González Garza, CMN La Raza del 1 de abril de 2017 al 31 de marzo de 2018.
- Categorizar las variantes anatómicas del círculo de Willis.
- Conocer la frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis.

Material y Métodos:

Se realizó estudio retrospectivo, transversal, descriptivo y observacional utilizando archivos de imagen del sistema PACS. Se revisaron todos los estudios de Resonancia magnética de cráneo que contenían las secuencias 3D TOF, los cuales cumplían los criterios de inclusión para esta investigación, realizados en el periodo comprendido del 1 de abril de 2017 al 31 de marzo de 2018, para posteriormente clasificarlo acorde a lo propuesto por nuestro estudio por un radiólogo experto en resonancia magnética, posteriormente se obtuvo concordancia intra observador, y se analizaron los resultados mediante estadística descriptiva, tablas de contención y gráficos.

Resultados:

Se revisaron 258 estudios de pacientes que cumplieron los criterios de inclusión, 149 (57.8%) eran del sexo femenino y 109 (42.2%) masculinos, con edades de 0 a 88 años, con una media de edad de 35.79 ± 1.44 . Del total de casos, 63 (24.4%) presentaban la conformación clásica del círculo de Willis, 195 (75.6%) tenían al menos una variante, conformación no clásica. Se encontró, una frecuencia de 73 (28.3%) en la circulación posterior, circulación anterior 56 (21.7%), y ambas circulaciones con variaciones del círculo se presentó en 66 pacientes (25.6%). La frecuencia de las variantes en orden descendente, ausencia de arteria comunicante posterior 105 (40.7%); seguida de la hipoplasia del segmento A1 con 57 (22%); ramificación temprana de arteria cerebral media en 37 (14.3%); origen fetal de arteria comunicante posterior (13.9%); el resto oscila entre el 0.38% y el 12.8%.

Conclusión:

Las variaciones morfológicas del círculo de Willis demostradas por la angioresonancia magnética 3D TOF en nuestro estudio, proporcionan una fuente de referencia, por lo que recomendamos usar la ARM de forma rutinaria en los pacientes con estudio de cráneo, ya que las variantes tienen relevancia clínica sobre todo en los accidentes cerebrales vasculares, permitiendo la prevención de complicaciones.

III. MARCO TEÓRICO:

Antecedentes

En los primeros años de los noventa surgen las secuencias de Angio-RM sin contraste, basadas en el "fenómeno de entrada" o time-of-flight (TOF) y en el contraste de fase de los protones que se mueven por el flujo sanguíneo.¹ Se utilizaron en el estudio de las arterias renales, sin embargo, la aplicación clínica no fue muy extensa, ya que debido a su larga duración se obtenían imágenes con muchos artefactos que las hacían inservibles para el diagnóstico.

A partir de la segunda mitad de los noventa se desarrolla la Angio-RM, utilizando una secuencia eco de gradiente rápido 3D y un bolo de gadolinio intravenoso, ya con corto tiempo de adquisición. Esto permite obtenerla durante una pausa respiratoria del paciente, lo que reduce mucho los artefactos. Se convirtió en la técnica de elección en los pacientes con alteración significativa de la función renal.

En la segunda mitad del año 2006 se relaciona el gadolinio con la fibrosis nefrogénica sistémica, sin embargo, fue descrita por primera vez en el año 1997 por Cowper. En febrero del 2007 la Agencia europea del medicamento (EMA) contraindica el uso del gadolinio en los pacientes con una tasa de filtrado glomerular < a 30 ml/minuto, en pacientes con insuficiencia renal aguda y en el preoperatorio del trasplante hepático. Cuatro meses más tarde recomienda precaución con la utilización del gadolinio en pacientes con una tasa de filtrado glomerular entre 30 y 60 ml/ min. Esto cambió el algoritmo diagnóstico.

Sin embargo, la evolución de la técnica de la RM en los últimos años: gradientes de campo más potentes y rápidos, nuevas formas de muestreo del espacio K, interpolación en la reconstrucción de las imágenes, antenas de varios canales e imagen en paralelo, han permitido el desarrollo de nuevas secuencias que permiten evaluar los vasos sin necesidad de administrar contraste intravenoso, lo que evita sus potenciales efectos adversos.²

Introducción

En la actualidad los estudios de imagen neurovascular son habitualmente utilizados en muchas instituciones para la evaluación inicial de la circulación cerebral en el contexto de un accidente cerebrovascular agudo y hemorragia subaracnoidea.³ En el año 2010 se realizaron aproximadamente 30 millones de estudios de RM en todo el mundo.⁴ La angiografía por resonancia magnética (RM) es una de las técnicas no invasivas más comúnmente utilizadas en la formación de imágenes del sistema cerebrovascular, esta ofrece varias ventajas: un detalle anatómico superior, una menor dependencia del operador, y el uso concomitante de secuencias en Difusión para detectar un infarto agudo en el marco de un derrame cerebral. En la práctica clínica rutinaria la angiografía por resonancia magnética (ARM) se puede realizar usando dos técnicas, sin la administración de material de contraste en secuencias tiempo de vuelo (TOF, *time-of-flight*) o técnicas en fase contrastada.⁵

Time of flight (TOF)

La angiografía RM *time of flight* (TOF) es la técnica angiográfica sin contraste más antigua y más utilizada en imágenes neurovasculares. Está disponible en la mayoría de los generadores de imágenes de RM, a pesar de que la técnica utilizada depende en parte del equipo de que se dispone (bobinas, gradientes y campo magnético). Es una técnica eco de gradiente que utiliza tiempos de eco cortos y depende del flujo sanguíneo.

Durante un estudio con técnica de ARM TOF se emiten pulsos de radiofrecuencia para excitar los protones de los tejidos del organismo. Los protones de los tejidos estacionarios se visualizarán saturados a causa de la repetición continua de pulsos de radiofrecuencia bajando su intensidad de señal (fig. 1a). Los protones de los tejidos no estacionarios (con movimiento), como los que componen la sangre, no experimentan excitación y por lo tanto no se saturan, generando una alta intensidad de señal. La diferencia de saturación entre los protones de tejidos estacionarios y los de tejidos no estacionarios permite distinguir el flujo sanguíneo

del resto de tejidos (fig. 1b) y por lo tanto la obtención de imágenes vasculares contrastadas. La intensidad de señal del vaso depende del grosor de corte, del tiempo de repetición, del T1 i de la velocidad de flujo (fig. 1c).⁶

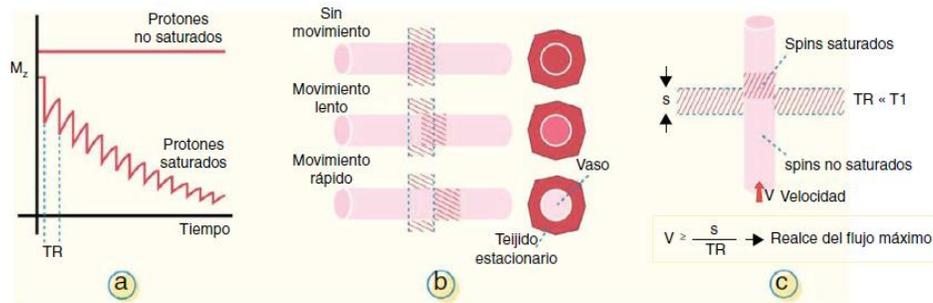


Figura 1 a) A medida que aumenta el tiempo de repetición (TR), los tejidos en movimiento no se saturan, a diferencia de los tejidos estacionarios, que sí se saturan. b) Se muestra la diferencia de saturación entre la sangre (tejido en movimiento) y los tejidos estacionarios. c) Representación de los distintos factores que contribuyen a la intensidad de la señal del vaso.

Para evitar la superposición de interferencia entre vasos arteriales y venosos, la técnica TOF utiliza bandas de saturación. Su finalidad es suprimir o saturar el sentido de uno de los 2 tipos de vasos (arteria o vena).

Además, en los estudios con la técnica TOF es de suma importancia que el plano de adquisición sea perpendicular a la dirección del flujo de los vasos de interés para poder recoger su máxima intensidad de señal. Todo vaso que no se encuentre en posición perpendicular al plano de estudio se verá saturado o semi-saturado y apenas podremos visualizar su trayecto.

Las adquisiciones mediante la técnica TOF pueden realizarse en 2D y 3D, dependiendo principalmente de la resolución espacial necesaria y de la longitud de la zona vascular a explorar. La técnica TOF 3D utiliza un tiempo de eco (TE) menor y tiene mejor relación señal-ruido en comparación a la técnica TOF 2D. La técnica TOF 3D es usada para estudios de alta resolución espacial gracias a su alta relación señal-ruido y para exploraciones que necesitan una larga cobertura o campo de adquisición.

En la técnica TOF 3D la cobertura o volumen de la imagen completa por lo general es de 30 a 60 mm de espesor y, a diferencia de la técnica TOF 2D, todo el volumen está excitado al mismo tiempo y posteriormente se puede dividir o segmentar el volumen total en cortes más finos, dando una mejor resolución espacial junto a una mayor relación señal-ruido y facilitando una excelente reconstrucción a partir de vóxeles isotrópicos.^{6, 7}

Limitaciones

En la técnica TOF, las oclusiones vasculares severas se manifiestan por una pérdida de señal y saturación, a consecuencia de la interrupción o disminución del movimiento de los protones de la zona afectada.

Las principales limitaciones de la técnica TOF son la susceptibilidad a la pérdida de señal en zonas de flujo turbulento o muy lento y la necesidad de adquirir la imagen de manera perpendicular a la dirección del flujo de los vasos de interés.

A menudo ciertas regiones vasculares, como por ejemplo la bifurcación carotídea, pueden presentar estenosis severas y su consiguiente flujo turbulento. El flujo turbulento en la técnica TOF algunas veces provoca falta de señal justo después de la zona realmente estenosada, pudiendo simular erróneamente su verdadera localización.

La técnica 3D, a pesar de sus numerosas ventajas, tiene como principal limitación la saturación progresiva de la sangre producida cuando esta fluye a través del volumen y está sometida a repetidos pulsos de RF, dando como resultado una intensidad de la señal que disminuye continuamente en la dirección del flujo. El grado de saturación depende del tiempo en que la sangre se mantenga dentro del volumen. En consecuencia, el espesor máximo de volumen debe ser lo más pequeño posible, adaptado al tamaño de la región del vaso de interés.

La reducción de la saturación también puede lograrse mediante el aumento del TR, un *flip angle* más pequeño y, a pesar de que la administración de contraste

por vía intravenosa no se requiere en la técnica TOF, se puede aplicar en determinadas situaciones en que no sea posible valorar correctamente un vaso, como ocurre en el inconveniente del flujo lento descrito anteriormente. La técnica TOF es una de las técnicas de ARM con tiempo de adquisición más largo. Así mismo, en las secuencias TOF se pueden visualizar artefactos relacionados con los tejidos que tengan un T1 muy corto.^{5, 6, 7}

Deutschmann y cols en el año 2007, realizaron una comparación de la angiografía con sustracción digital con la ARM 3D *time-of-flight* en un estudio de la circulación cerebral e identificación de aneurismas, encontrando una sensibilidad del 72-97% y una especificidad del 91-100% de la ARM 3D TOF.⁸

Círculo de Willis

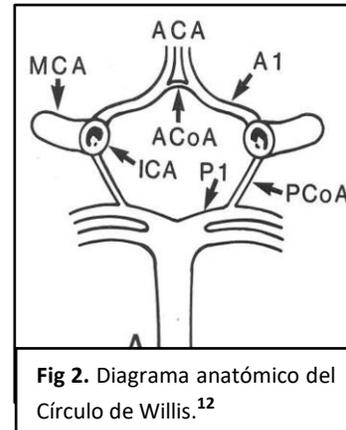
El círculo de Willis representa un esquema de suplencia vascular que interconecta los sistemas vasculares entre un hemisferio cerebral y otro, además de la correspondencia entre la circulación anterior y posterior, dadas por el sistema carotídeo y el sistema vertebro-basilar.⁹ Se localiza en la base del cerebro, es una intercomunicación arterial que rodea la superficie ventral del diencéfalo, adyacente al nervio óptico y sus tractos. Un círculo clásico presupone un sistema de suplencia por colaterales que conectan las arterias principales para abastecer el cerebro y el tallo encefálico. El círculo arterial del cerebro actúa como una conexión entre los sistemas carotídeo y vertebro-basilar, mientras que otras colaterales conectan los vasos extracraneales con los intracraneales.

Esta capacidad de redistribución del flujo sanguíneo, depende de la presencia y tamaño de los vasos que lo componen. La arteria carótida interna (ACI) distal habitualmente se bifurca dando la arteria cerebral anterior (ACA) y arteria cerebral media (ACM). La arteria cerebral posterior (ACP) surge de la arteria basilar.¹⁰

Thomas Willis (1621-1675) un anatomista y médico Ingles, describió por primera vez en el año 1664 la circulación arterial cerebral, comúnmente conocida como "Círculo de Willis" en honor a su nombre, descrita como la conformación clásica.^{9, 11}

El círculo de Willis está compuesto por diez vasos:

- Dos arterias carótidas internas (ACIs) derecha e izquierda,
- Dos tramos horizontales de la ACA precomunicante (A1)
- Una arteria comunicante anterior (ACoA)
- Dos arterias comunicantes posteriores (ACoP)
- Dos segmentos horizontales o precomunicantes de la arteria cerebral posterior (P1 ACP)
- Una arteria basilar (AB)



Este se divide en circulación o sistema anterior y posterior. La arteria carótida interna (ACI), arteria cerebral anterior (ACA) y la arteria comunicante anterior (ACoA) forman la circulación anterior. La arteria basilar (AB), arteria comunicante posterior (ACoP) y arteria cerebral posterior forman la circulación posterior.^{10, 12}

Variantes normales

Las variaciones de la circulación cerebral, en particular, del círculo de Willis, son comunes, por lo que es importante entender la aparición de estas variantes normales, su prevalencia y su relevancia clínica, en particular con respecto al riesgo de formación de aneurismas.^{3, 13} Una arteria hipoplásica o la falta de una anastomosis puede comprometer la eficacia de la suplencia, en caso de obstrucción de un tronco o arriesgar un aumento del área de isquemia en caso de vasoespasmio.

Algunas anomalías se asocian a alteraciones del desarrollo del encéfalo, como la holoprosencefalia y la agenesia del cuerpo calloso. Otras veces, la presencia de las variantes anatómicas arteriales poco frecuentes puede hacer que una arteria quede incluida en un clip, sea coagulada o comprimida por un separador durante la disección quirúrgica. Esto puede determinar la aparición de áreas de isquemia o infarto con secuelas potencialmente graves. El conocimiento de estas

variaciones es necesario con vista al acto quirúrgico, ya que a veces no pueden ser anticipadas por los estudios paraclínicos.¹³

Un círculo de Willis completo sin ningún componente ausente o hipoplásico no se ve más que en el 20 a 25% de los casos; casi en el 50% de todos los especímenes anatómicos se ven anomalías en la parte posterior del polígono.^{9, 10}

En la literatura nacional e internacional se cuenta con muchos investigadores que han realizado estudios morfológicos del círculo de Willis, en la que se muestra un rango amplio de frecuencia de variantes entre el 40% y 90.8%, siendo más predominantes las variantes en la circulación posterior de hasta un 79%. En México Hernández y cols¹⁴ en el año 2015 encontró una frecuencia del 42%, diagnosticadas por angioresonancia magnética 3D TOF. **Cuadro 1.**

Estudio	País/Año	Pacientes	Frec. Variantes (%)	Sistemas (%)	Método de Estudio
Shaikh R ¹⁵	Pakistan 2018	135	77.8	CA (20) CP (77.8)	Angioresonancia 3D TOF
Jalali Kondori B ¹⁶	Iran 2017	525	79.1	CA (19) CP (79)	Angioresonancia 3D TOF
Hernández J ¹⁴	México 2015	602	42	CA (12) CP (69)	Angioresonancia 3D TOF
Rao S ¹⁷	India 2015	300	83.4	CA (22.7) CP (32.6) AC (22)	Angioresonancia 3D TOF
Gunnal S ¹⁸	India 2014	150	40	CA (33) CP (50)	Anatomopatológico
Armario Bel ¹⁹	Barcelona 2012	76	90.8	CA (28) CP (67)	Angioresonancia Arterial Sping Labeling
Silva A ²⁰	Brasil 2012	512	NA	CP- Aneurismas en hombre CA- Aneurismas en mujeres	Angiografía Digital
De Silva K ²¹	Sri Lanka 2011	225	85.8	CA (14) CP (34) AC (23)	Anatomopatológico
Dimmick S ³	Australia 2009	300	NA	NA	Angiotomografía
Parmar H ²²	Singapore 2005	843	NA	NA	Angioresonancia 3D TOF
Hyung Lee ²³	Korea 2004	117	81	CA (20) CP (74)	Angioresonancia 3D TOF
Martínez F ¹³	Uruguay 2004	96	NA	CA (15.6)	Anatomopatológico
Boleaga B ²⁴	México 2004	412	90.7	CA (9.6) CP (64.8)	Angioresonancia 3D TOF
Rivas D ⁹	Perú 2000	307	73	CA (12) CP (53)	Anatomopatológico
Hartkamp M ²⁵	Holanda 1999	75	45	CA (12) CP (37)	Angioresonancia 3D TOF

Cuadro 1. CA: Circulación anterior; CP: Circulación posterior, AC: Ambas Circulaciones. NA: No aplica.

Las variantes normales más frecuentes son la hipoplasia de una o ambas arterias comunicantes posteriores (34%), un segmento A1 de la arteria cerebral anterior hipoplásico o ausente y un origen fetal de la arteria cerebral posterior a partir de la arteria carótida interna, con el segmento P1 hipoplásico o ausente (17%). En el 10% de los casos hay dilataciones infundibulares en los orígenes de la arteria comunicante posterior de la arteria carótida interna.^{9, 15}

Las variantes normales incluyen duplicaciones y fenestraciones, dentro de las variantes del círculo de Willis. Se revisaron las variantes normales más importantes y clínicamente relevantes en estas dos categorías, basándonos en la publicación de Dimmick y cols en el año 2009 (Australia).³ Existen otros dos grupos que son parte de las variantes de la circulación cerebral y no se abordaron en esta investigación, la persistencia de la anastomosis arterial carótido-basilar y variantes arteriales de la base del cráneo.

1.- Duplicaciones y Fenestraciones

Una duplicación se define como dos arterias distintas con orígenes independientes y sin convergencia arterial distal. La fenestración, por el contrario, se define como una división de la luz arterial en canales claramente separados, cada uno con su propia capa endotelial y muscular, mientras que la adventicia puede ser compartida.

Una asociación se ha observado entre la fenestración y la formación de aneurismas. Se ha postulado que el flujo turbulento creado por defectos en la túnica media en los extremos proximal y distal de un segmento fenestrado conduce a la formación de aneurismas. Estas lagunas en la media, en combinación con el aumento del estrés hemodinámico, se cree que contribuyen a la mayor prevalencia de los aneurismas en los pacientes con fenestración.^{3, 22}

La fenestración es más frecuentemente encontrada en la autopsia que en la angiografía. La fenestración arterial intracraneal es más común en las arterias

vertebro-basilares que en las arterias de la circulación anterior (arteria cerebral anterior, cerebral media y carótidas internas).^{3, 12}

Arteria comunicante anterior

La duplicación de la arteria comunicante anterior tiene una prevalencia del 18%, mientras que la fenestración de la arteria comunicante anterior está presente en el 12%-21% de la población. La fenestración de la arteria comunicante anterior se ve con más frecuencia en los estudios de imagen anatómicos que en evaluaciones angiográficas (5,3% de los casos).^{3, 12}

Arteria cerebral anterior

La fenestración de la arteria cerebral anterior es un hallazgo raro. La prevalencia de la fenestración del segmento A1 es de entre 0% y 4% en estudios de imagen anatómicos y 0,058% en estudios angiográficos. La fenestración del segmento A2 se encontró en el 2% de fetos en la autopsia. En un estudio realizado con angiografía de resonancia magnética (ARM), sólo se observó un caso de fenestración del segmento A2.^{3, 12, 22}

Arteria cerebral media

La duplicación de la arteria cerebral media se produce cuando una rama de la arteria cerebral media surge por encima de la bifurcación de la arteria carótida interna. El duplicado del vaso es paralelo a la arteria cerebral media principal y da irrigación al lóbulo temporal anterior. La prevalencia de la duplicación de la arteria cerebral media es del 0,2%-2,9%. Se postula que una arteria cerebral media duplicada representa una persistencia de la anastomosis entre la arteria cerebral anterior y la arteria cerebral media. La duplicación de arterias cerebrales medias no tiene algún significado clínico directo; sin embargo, hay reportes de aneurismas que ocurren en el origen de una arteria cerebral media duplicada.

La prevalencia de la fenestración de la arteria cerebral media fue del 1% en una serie de autopsias y de 0,17% por angiografía. La mayoría de las fenestraciones de la arteria cerebral media son localizadas en la porción proximal del segmento

M1. El mecanismo que conduce a la fenestración de la arteria cerebral media sigue siendo poco claro. Se postula que la anomalía se debe a la ramificación temprana de la arteria temporo-polar de la arteria cerebral media. ^{3, 22}

Arterias vertebral y basilar

La fenestración de la arteria basilar se ha encontrado en un 0,6% de los exámenes angiográficos y aproximadamente el 5% de las autopsias. Las fenestraciones de la arteria basilar se localizan más comúnmente en el tronco basilar proximal, cerca de la unión vertebro-basilar. La frecuencia reportada de la formación de aneurismas en los casos de fenestración de la arteria basilar es de un 7%. Las fenestraciones de la arteria vertebral tienen una prevalencia del 0,3%-2,0%.

En el feto, la arteria basilar está formada por la fusión de las arterias neuronales longitudinales bilaterales durante la 5^{ta} semana de gestación. Como esta fusión progresa, las arterias puente que se conectan temporalmente con las arterias neuronales longitudinales tienen regresión. Si las arterias puente tienen una falla a la regresión, el resultado es la fenestración de la arteria basilar. ^{3, 12}

Arteria cerebral posterior

La fenestración de la arteria cerebral posterior, una ocurrencia extremadamente rara, se ha encontrado tanto en los segmentos P1 y el P2. El origen embriológico de esta anomalía sigue sin estar claro. ²²

Arteria comunicante posterior

La duplicación de la arteria comunicante posterior nunca se ha reportado por angiografía. En la disección quirúrgica, se ha encontrado una prevalencia del 2% en esta anomalía. Las duplicaciones unilaterales parcial y completa de la arteria comunicante posterior fueron identificados en el estudio de Dimmick y cols, 2009, realizado por medio AngioTC.³

Hay un único informe de caso identificado por fenestración en un sitio proximal a la arteria comunicante posterior por angiografía. Como en fenestraciones de otros sitios, puede haber un mayor riesgo de formación de aneurismas en el sitio proximal a la fenestración. ^{3, 12, 22}

Arteria carótida interna

La fenestración de la arteria carótida interna distal es una anomalía rara. Somos conscientes de sólo seis casos previamente reportados en la literatura. La fenestración de la arteria carótida interna distal, como fenestración en otros sitios, se asocia con la formación de aneurisma.^{3, 12}

2.- Variantes Normales del Círculo de Willis

Arteria cerebral anterior ácigos

Una arteria cerebral anterior ácigos representa la persistencia de la arteria mediana embrionaria del cuerpo calloso. Bilateralmente, los territorios de la arteria cerebral anterior son irrigados por un tronco A2 de línea media simple. La prevalencia de las arterias cerebrales anteriores ácigos es de 0,2%-4,0%.^{22, 26}

La arteria cerebral anterior ácigos puede estar asociada con holoprosencefalia, diversas anomalías de la migración neuronal, y una predisposición a la formación de aneurismas.^{3, 22, 27} La anomalía es clínicamente relevante también porque en el caso de oclusión de la arteria cerebral anterior secundaria a enfermedad tromboembólica o error quirúrgico, la isquemia resultante afecta a ambos hemisferios.³

Trifurcación arteria cerebral anterior

La Trifurcación de la arteria cerebral anterior se define como la aparición de tres segmentos A2.^{1, 3, 28} La prevalencia reportada de trifurcaciones de la arteria cerebral anterior que surgen de la arteria comunicante anterior es del 2% al 13%. Esta variante normal más probable representa la persistencia de la arteria mediana del cuerpo calloso.^{3, 12}

Arteria cerebral anterior bihemisférica

Esta anomalía se caracteriza por hipoplasia de un segmento A2, con el segmento A2 contralateral proporciona un flujo arterial importante bilateralmente al territorio de la arteria cerebral anterior.

La prevalencia de esta anomalía es del 2%-7%. La presencia de un segmento A2 hipoplásico permite la diferenciación de esta variante de una arteria cerebral anterior ácidos; sin embargo, la relevancia clínica de los dos es similar con respecto a la oclusión. La oclusión del segmento A2 dominante resulta en la isquemia de los dos hemisferios.^{3, 29}

Ausencia o hipoplasia del segmento A1

La hipoplasia de un segmento A1 de la arteria cerebral anterior está presente en 10% de las autopsias, y la ausencia de un segmento A1 se ve en 1%-2%.³ En presencia de cualquier variante, la arteria cerebral anterior contralateral puede irrigar parte o todo del territorio de la arteria cerebral anterior del hemisferio opuesto a través de una gran arteria comunicante anterior. En el caso de la enfermedad tromboembólica, estas condiciones dan como resultado una irrigación colateral disminuida y por lo tanto un mayor riesgo de infarto.^{12, 26, 29}

Ausencia de la arteria comunicante anterior

La arteria comunicante anterior a menudo no se representa en la angiografía, pero esto no necesariamente significa que la arteria está ausente. La ausencia definitiva de la arteria comunicante anterior se ha encontrado en 5% de las disecciones quirúrgicas.^{3, 22}

Arteria Cerebral Media accesoria

Una arteria cerebral media accesoria es una arteria que surge de la arteria cerebral anterior y cursa paralelo al segmento M1 de la arteria cerebral media, da irrigación a la región antero-inferior del lóbulo frontal. Esta variante tiene una prevalencia del 2,7%.^{3, 30}

Puede ser difícil diferenciar una arteria cerebral media accesoria de una arteria cerebral media duplicada. Una rama más pequeña de la arteria cerebral media se origina de la arteria cerebral anterior, denominada como una arteria cerebral media accesoria, mientras que una rama más pequeña de la arteria cerebral media surge de la arteria carótida distal, esta es llamada arteria cerebral

media duplicada. La comparación con el nivel de bifurcación de la carótida y el patrón de ramificación en el lado opuesto pueden ser útiles para la identificación de esta variante.

La arteria recurrente de Heubner (arteria estriada medial) y la arteria cerebral media accesorio representan filogenéticamente una anastomosis vascular primitiva con la corteza piriforme, con uno u otro vaso generalmente predominante. Durante el desarrollo normal, la arteria recurrente de Heubner proporciona el principal flujo de sangre a la corteza piriforme, mientras que la arteria cerebral media accesorio sufre regresión.

La arteria cerebral media accesoria puede proporcionar flujo sanguíneo colateral al territorio de la arteria cerebral media distal en presencia de oclusión de la arteria cerebral media. Debido a que un aneurisma se puede producir en el origen de una arteria cerebral media accesoria, esta variante es clínicamente mucho más significativa que una arteria cerebral media duplicada.^{3, 12, 30}

La ramificación temprana de la arteria cerebral media

En esta variante, el segmento M1 ya sea bifurcado o trifurcado en la región de la ínsula, la división temprana del segmento M1 cerca de su origen en la arteria carótida interna es un hallazgo común y puede ser unilateral o bilateral. La ramificación temprana de la arteria cerebral media no está asociada con un mayor riesgo de formación de aneurisma y por lo tanto es de poca importancia clínica.^{3, 30}

Arteria Coroidea Anterior Hiperplásica

La arteria coroidea anterior, por lo general es un pequeño vaso, surge de la arteria carótida interna supraclinoidea justamente distal a la arteria comunicante posterior. A partir de ahí se subdivide en ramas importantes que irrigan el pedúnculo cerebral y tracto óptico.

Las ramas temporo-occipital de la arteria cerebral posterior pueden originarse de la arteria coroidea anterior. En las personas con esta variante cerebrovascular,

la arteria coroidea anterior se describe como hiperplásica. La prevalencia de la arteria coroidea anterior hiperplásica es reportada entre un 1,1% - 2,3%.^{3, 22}

Anomalías de la arteria comunicante posterior

Hipoplasia o ausencia de una o ambas Arterias Comunicantes Posteriores

Es la variante más común del círculo de Willis, vista en aproximadamente un 25-33%. Es encontrada en un tercio de las disecciones anatómicas y en un cuarto de las angio-RM. Cuando es bilateral no existe comunicación entre la circulación anterior y posterior. Este tipo de anomalías pueden ser importantes cuando ocurre estenosis u obstrucción de los vasos extracraneales, ya que estas interconexiones normales entre la circulación anterior y posterior pueden proveer de importante circulación colateral. En el caso de la ausencia unilateral la circulación colateral no se encuentra tan comprometida.¹⁰

Origen fetal de la arteria cerebral posterior

En la presencia de esta anomalía, el calibre de la arteria comunicante posterior puede ser el mismo que o mayor que la del segmento P1 ipsilateral, y el flujo de sangre dominante para los lóbulos occipitales proviene de la arteria carótida interna.²²

El origen fetal de la arteria cerebral posterior se produce cuando falla la regresión de la arteria cerebral posterior embrionaria. Puede ocurrir en el lado derecho (10% de la población general), el lado izquierdo (10% de la población general), o bilateralmente (8% de la población general). El segmento P1 puede estar ausente en el origen fetal de la arteria cerebral posterior, pero su ausencia es un hallazgo poco común.^{3, 31, 32}

Arteria comunicante posterior Infundíbulo

Un infundíbulo es una dilatación de una región en forma de embudo en el origen de la arteria comunicante posterior de la arteria carótida interna. Puede ser redonda o cónica, tiene un diámetro menor a 2 mm, y es simétrica. En la arteria carótida interna está en su base, y en la arteria comunicante posterior se origina de

su vértice. Un infundíbulo debe distinguirse de los aneurismas localizados en la arteria comunicante posterior y de la arteria carótida interna.^{3, 31, 32}

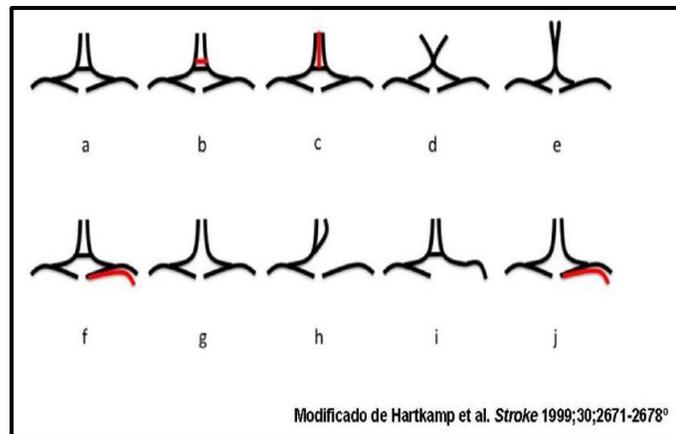
Tronco común de la arteria cerebral posterior y de la cerebelosa superior

La prevalencia de un tronco común de las arterias cerebral posterior y cerebelar superior es del 2% - 22%. Esta anomalía no tiene ningún significado clínico reportado.^{3, 12, 22}

Incertidumbre

Hartkamp y cols²⁵ (Holanda) en el año de 1999, investigaron el flujo colateral del círculo de Willis por angiografía de resonancia magnética, realizaron una descripción en esquemas de las variantes en la circulación anterior y posterior del círculo de Willis, posteriormente Armario Bel y cols¹⁹ (Barcelona, 2012) publicaron la relación entre la anatomía del polígono de Willis y asimetrías interhemisféricas del flujo sanguíneo cerebral, modificando los esquemas de Hartkamp y cols.²⁵

Fig. 3. Variantes anatómicas de la circulación anterior: a) Sin variantes anatómicas, b) Al menos dos Arterias Comunicantes Anteriores, c) Arteria medial del Cuerpo Caloso se origina de la Comunicante Anterior, d) Fusión puntual de las Arterias Comunicantes Anteriores, e) Tronco común de Arterias Comunicantes anteriores, dividiéndose posteriormente en 2 segmentos A2, f) Arteria Cerebral Media se origina de Carótida Interna en 2 troncos separados, g) Hipoplasia o ausencia de Arteria Comunicante Anterior, h) Un segmento A1 hipoplásico o ausente, y el contralateral dando 2 segmentos A2, i) Ausencia unilateral de ACI, j) Hipoplasia o ausencia de Arteria Comunicante Anterior, la Arteria Cerebral Media se origina de Carótida Interna en 2 troncos separados.^{19, 25}



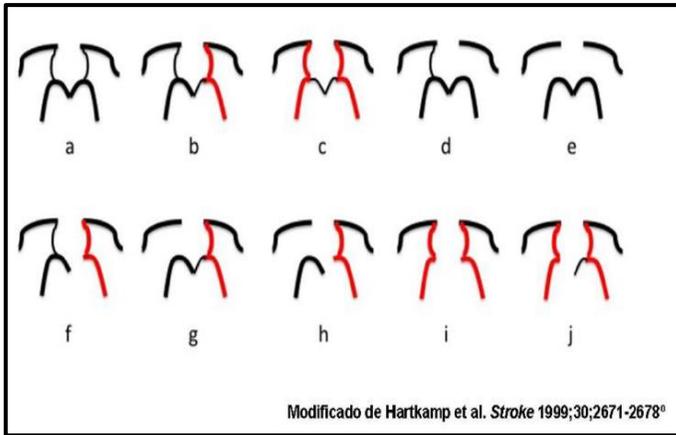


Fig. 4. Variantes anatómicas de la circulación posterior: a) Sin variantes anatómicas, b) Arteria Fetal Posterior Unilateral, c) Arteria Fetal Posterior Bilateral, d) Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Unilateral, e) Hipoplasia Arteria

Comunicante Posterior Bilateral, f) Arteria Fetal Posterior Unilateral + Hipoplasia Segmento P1, g) Arteria Fetal Posterior Unilateral + Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Contralateral, h) Arteria Fetal Posterior Unilateral + Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Contralateral + Hipoplasia Segmento P1, i) Arteria Fetal Posterior Bilateral + Hipoplasia segmento P1 Bilateral, j) Arteria Fetal Posterior Bilateral + Hipoplasia segmento P1 Unilateral.^{19, 25}

PACS

Es un sistema de Comunicación y Archivo de Imágenes. Esta definición corresponde a la traducción literal de sus siglas en Ingles Picture Archiving and Communications System.³³

IV. JUSTIFICACIÓN

La reciente implementación del estudio de Angioresonancia magnética 3D TOF en la mayoría de las unidades médicas de alta especialidad han dado la oportunidad de detectar de manera certera y oportuna pacientes con variantes anatómicas del círculo de Willis que no fueron detectadas con otros métodos de estudios como la tomografía computada y resonancia magnética simples, debido a la menor capacidad de resolución, esto ha permitido obtener un diagnóstico topográfico en pacientes sometidos a estudios de resonancia magnética de cráneo, ya que la identificación de estas variantes anatómicas y el conocimiento de su relevancia clínica, permitirá la prevención de complicaciones, así como de una adecuada planificación quirúrgica en caso de presentarse.

Sin embargo, en nuestro medio hay pocos estudios de investigación relacionados a nuestro tema de interés, ya que no todos los hospitales cuentan con resonancia magnética, así como el poco uso de esta secuencia como rutina en los estudios de resonancia magnética de cráneo. Los resultados de esta investigación contribuirán a orientar la información respecto a este tema, así también fomentará la capacitación de los médicos radiólogos, permitiendo contribuir a un mejor abordaje y conocimiento de las variantes anatómicas del círculo de Willis.

Surge así la necesidad de realizar la investigación para identificar en cuantos estudios de los pacientes a los que se les solicitó resonancia magnética de cráneo en la UMAE Hospital General CMN “La Raza”, se conforma el diagnóstico de variantes anatómicas y con esto darle al médico clínico una mejor herramienta para el estudio de los pacientes.

V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las variantes anatómicas del círculo de Willis acorde a su localización y tipo identificadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en los pacientes atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza?

VI. OBJETIVOS:

Objetivos generales:

- Identificar las variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en los pacientes atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General, Dr. Gaudencio González Garza, CMN La Raza del 1 abril de 2017 al 31 de marzo de 2018.

Objetivos específicos:

- Categorizar las variantes anatómicas del círculo de Willis.
- Conocer la frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis.
- Reconocer las alteraciones vasculares y cerebrales asociadas a las variantes anatómicas del círculo de Willis.

VII. HIPÓTESIS:

No aplica por tratarse de estudio transversal - retrospectivo - descriptivo

VIII. PROGRAMA DE TRABAJO (MATERIAL Y MÉTODOS)

Lugar donde se efectuó el estudio.

El estudio se llevó a cabo en el servicio de Resonancia Magnética del Departamento de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza, CMN La Raza del Instituto Mexicano del Seguro Social.

Diseño de la investigación.

1. Por el control de la maniobra experimental: **Transversal**
2. Por la captación de la información: **Retrospectivo.**
3. **Descriptivo**
4. **Observacional**

Acorde a lo propuesto por nuestro estudio se clasificó por un radiólogo experto en resonancia magnética, posteriormente se obtuvo concordancia intra observador, y a continuación se analizaron los resultados mediante estadística descriptiva, tablas de contención y gráficos.

Universo de estudio.

Pacientes atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza, a los que se les realizó resonancia magnética de cráneo, durante el periodo comprendido del 1 de abril de 2017 al 31 de marzo de 2018.

Criterios de selección:

Inclusión:

Pacientes de cualquier edad que les hayan solicitado resonancia magnética de cráneo sin cuadro clínico que sugiera alteración vascular, atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza, durante el periodo de 1 abril de 2017 al 31 marzo de 2018.

Expediente con información mínima requerida (que contaba con todas las variables que se midieron).

Estudio que contaba con Angioresonancia magnética 3D TOF.

Exclusión:

Imágenes de Pacientes postquirúrgicos

Imágenes de Pacientes con tumoración de cráneo

Imágenes de Pacientes con sospecha de malformación vascular

Imágenes de Pacientes con enfermedad isquémica-hemorrágica.

Eliminación:

Pacientes atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza, con resonancia magnética de cráneo que no contenían imágenes de Angioresonancia magnética 3D TOF.

Pacientes con estudio de Angioresonancia magnética 3D TOF realizados fuera del periodo de 1 abril de 2017 al 31 marzo de 2018.

Imágenes de Pacientes de Angioresonancia magnética 3D TOF que no fueron realizadas en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza.

Tamaño de la muestra.

Se incluyeron todos los pacientes atendidos en el servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza, en el periodo del 1 abril de 2017 al 31 marzo de 2018, que contenían imágenes de Angioresonancia magnética de cráneo 3D TOF y cumplían con los criterios de inclusión.

VARIABLES:

Variable Dependiente El diagnóstico de variantes anatómicas del círculo de Willis a través de Angioresonancia magnética de cráneo 3D TOF.

Variable Independiente Angioresonancias magnéticas con secuencia 3D TOF, a pacientes con estudio de cráneo durante el periodo del 1 de abril de 2017 al 31 de marzo de 2018. (Los médicos radiólogos del servicio están altamente preparados para realizar la angioresonancia magnética 3D TOF).

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE: ANGIORESONANCIA MAGNÉTICA 3D TOF (time-of-flight)

- 1) **Definición Conceptual:** Estudio de imagen que utiliza la absorción de energía de protones de una sustancia cuando son sometidos a campos magnéticos de frecuencias específicas, obtiene imágenes internas de un organismo, especialmente con fines diagnósticos. Es una técnica eco de gradiente que utiliza tiempos de eco cortos y depende del flujo sanguíneo. Los protones de los tejidos no estacionarios (con movimiento), como los que componen la sangre, no experimentan excitación y por lo tanto no se saturan, generando una alta intensidad de señal.
- 2) **Definición operativa:** Visualización correcta y precisa de la anatomía vascular cerebral con enfoque al círculo de Willis.
- 3) **Indicador:** Imágenes que abarquen desde la convexidad a la base del cráneo, con la aplicación de la secuencia 3D TOF, en diferentes planos ortogonales.
- 4) **Escala de medición:** Cualitativa Politómica.

VARIABLE INDEPENDIENTE

- 1) **Definición Conceptual:** Estudios de imagen de resonancia magnética de cráneo solicitados, utiliza la absorción de energía por los protones de una sustancia cuando son sometidos a campos magnéticos de frecuencias específicas, obtiene imágenes internas de un organismo, especialmente con fines diagnósticos.
- 2) **Definición operativa:** Estudios solicitados en forma escrita por médicos de especialidad, quienes quieren descartar alguna alteración cerebral, archivos de imagen que serán tomados de la base de datos del servicio de radiología.
- 3) **Indicador:** Imágenes que muestran datos por Angioresonancia magnética 3D time-of-flight
- 4) **Escala de medición:** Cualitativa dicotómica (si/no).

VARIABLES DEMOGRÁFICAS

Edad

- 1) **Definición conceptual:** Tiempo que ha vivido una persona desde su nacimiento.
- 2) **Definición operacional:** Tiempo en años que ha vivido una persona desde su nacimiento corroborado con su número de afiliación médica.
- 3) **Indicadores:** Edad en años y meses cumplidos
- 4) **Escala de medición:** Cuantitativa discreta.

Sexo

- 1) **Definición conceptual:** Constitución orgánica que distingue una hembra de un macho
- 2) **Definición operacional:** Se registra con base en el sexo de asignación social, según su expediente clínico y afiliación del mismo.
- 3) **Indicador:** Masculino o femenino
- 4) **Escala de medición:** Cualitativa nominal dicotómica.

VARIABLES DE INTERÉS

VARIANTE ANATÓMICA DEL CÍRCULO DE WILLIS:

1. **Definición conceptual:** El término círculo de Willis representa un esquema de suplencia vascular que interconecta los sistemas vasculares entre un hemisferio y otro, además de la correspondencia entre la circulación anterior y posterior, dadas por el sistema carotídeo y el sistema vertebro-basilar. Un círculo clásico presupone un sistema de suplencia por colaterales que conectan las arterias principales para abastecer el cerebro y el tallo encefálico. Muchas veces la conformación del círculo de Willis no es la clásicamente descrita por su autor en 1664. Un círculo de Willis completo sin ningún componente ausente o hipoplásico no se ve más que en el 20 a 25% de los casos;
2. **Definición operacional:** Variantes anatómicas normales que se presentan en el círculo de Willis como resultado de una alteración en la embriogénesis de las arterias, que afecta uno o más segmentos del círculo, que se puede asociar a otras alteraciones.
3. **Indicador:** De acuerdo a sus características y localización se pueden dividir en duplicaciones y fenestraciones, variantes de la circulación anterior y posterior, y remanentes arteriales embrionarios.
4. **Escala de medición:** Cualitativa y Politómica.

LOCALIZACIÓN:

- 1.-**Definición conceptual:** Determinación del lugar en que se halla una variante.
- 2.-**Definición operacional:** Situación de la variante con respecto a los componentes anatómicos del Círculo de Willis.
- 3.- **Indicador:** Según la descripción clásica del círculo de Willis, se localizan:
 - Arterias carótidas internas (ACIs) derecha e izquierda,

- Segmentos horizontales de la ACA precomunicante (A1)
- Arteria comunicante anterior (AcoA)
- Arterias comunicantes posteriores (ACoP) derecha e izquierda
- Segmentos horizontales o precomunicantes de la arteria cerebral posterior (P1 ACP) derecho e izquierdo
- Arteria basilar (AB)

Este se divide en circulación o sistema anterior y posterior. La arteria carótida interna (ACI), arteria cerebral anterior (ACA) y la arteria comunicante anterior (ACoA) forman la circulación anterior. La arteria basilar (AB), arteria comunicante posterior (ACoP) y arteria cerebral posterior forman la circulación posterior

4.- **Escala de medición:** Cualitativa y politómica.

TIPO DE VARIANTE ANATÓMICA DEL CÍRCULO DE WILLIS:

1.-**Definición conceptual:** Determinación de la morfología de una variante.

2.-**Definición operacional:** Características macroscópicas de la variante con respecto a su forma, tamaño y trayecto.

3.- **Indicador:** Según lo estudios clínicos y paraclínicos permiten clasificar en:

- Duplicaciones y fenestraciones.
- Variantes de la circulación anterior y posterior

4.- **Escala de medición:** Cualitativa y politómica.

NÚMERO DE VARIANTES DEL CÍRCULO DE WILLIS:

1) **Definición conceptual:** Número de variantes.

2) **Definición operacional:** Número de variantes encontradas en los componentes del Círculo de Willis en un mismo tiempo diagnóstico.

3) **Indicador:** se describirán de acuerdo al número de componentes arteriales del círculo de Willis afectados

- Arterias carótidas internas (ACIs) derecha e izquierda,
- Segmentos horizontales de la ACA precomunicante (A1)
- Arteria comunicante anterior (AcoA)
- Arterias comunicantes posteriores (ACoP) derecha e izquierda
- Segmentos horizontales o precomunicantes de la arteria cerebral posterior (P1 ACP) derecho e izquierdo
- Arteria basilar (AB)

4) **Escala de medición:** Cuantitativa discreta.

IX. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Este trabajo de investigación se realizó a través de la revisión de imágenes del archivo electrónico PACS en pacientes que contaban con algún estudio en este hospital, la información e identidad de pacientes será conservada bajo confidencialidad.

CONFIDENCIALIDAD

A cada paciente se le asignó un número de identificación y con éste fue capturado en una base de datos. La base de datos solo estará a disposición de los investigadores o de las instancias legalmente autorizadas en caso de así requerirlo. Los investigadores se comprometen a mantener de manera confidencial la identidad y datos de los participantes y hacer un buen uso de las bases de datos que resultaron de la investigación, omitiendo los datos como nombre y número de seguridad social de cada uno de los pacientes.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

De acuerdo a lo estipulado en el Artículo 17.I, del reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la salud, el presente trabajo de investigación se clasificó sin riesgo, tratándose de investigación documental retrospectiva, donde no se realizó ninguna intervención o modificación intencionada en las variables fisiológicas, psicológicas y sociales de los individuos que participaron en el estudio.

Esta investigación cumple con las consideraciones emitidas en el código de Núremberg, la Declaración de Helsinki, promulgada en 1964 y sus diversas modificaciones incluyendo la actualización de Fortaleza, Brasil 2013, así como las pautas internacionales para la investigación médica con seres humanos, adoptados por la OMS y el consejo de Organizaciones Internacionales para Investigación con seres humanos; en México, cumple con lo establecido por la Ley General de Salud y el IFAI, en materia de investigación para la salud y protección de los datos personales.

X. RECURSOS HUMANOS

Se revisaron las imágenes de las Angioresonancias magnéticas de cráneo con secuencias 3D TOF que fueron realizadas del 1 de abril de 2017 al 31 de marzo de 2018 para las que se emplearon recursos propios de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del CMN La Raza del Instituto Mexicano del Seguro Social, tanto médico, como de equipamiento perteneciente al servicio de Radiodiagnóstico.

Se contó con personal médico con especialidad en Imagenología Diagnóstica y Terapéutica, los cuales tienen amplia experiencia para la interpretación de los estudios, además se utilizó un equipo sensible y especializado para la realización de las resonancias magnéticas, es un equipo Philips Ingenia CX de 1.5 teslas. No se requirió de financiamiento externo o de recursos extras por parte del hospital, ya que los que se emplearan forman parte del protocolo cotidiano para la atención del derechohabiente para su diagnóstico radiológico.

XI. FACTIBILIDAD

El presente estudio es particularmente reproducible debido a que en este hospital se concentra a la población de la Zona Norte del centro del país en condiciones raciales y socioeconómicas similares. Además, se cuenta con la infraestructura tecnológica y humana, un registro radiológico digital completo, la información de dicha base de datos y expedientes clínicos suficientes para permitir el análisis de las variables del estudio.

XII. RESULTADOS

Se revisaron 347 estudios de pacientes, de los cuales se eliminaron 89 que no cumplieron los criterios de inclusión, 55 de estos presentaban evento isquémico-hemorrágico, 14 malformación arterio-venosa, 16 tumor cerebral y 4 eran pacientes posquirúrgicos.

Los resultados de este estudio se encuentran organizados en base a las variables de investigación establecidas, que se recopilaron referente a los 258 estudios de angioresonancia magnética de cráneo con secuencia 3D TOF que cumplieron con los criterios de inclusión, los cuales se solicitaron al servicio de Radiología e Imagen de la UMAE Hospital General Dr. Gaudencio González Garza del Centro Médico Nacional La Raza, durante el periodo del 1 abril de 2017 al 31 marzo de 2018.

Tabla 1. Características de la población estudiada.

Sexo	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Femenino	149	57.8	57.8	57.8
Masculino	109	42.2	42.2	100.0
Grupos de edad				
0 a 9 años	29	11.2	11.2	11.2
10 a 19 años	65	25.2	25.2	36.4
20 a 29 años	18	7.0	7.0	43.4
30 a 39 años	31	12.0	12.0	55.4
40 a 49 años	28	10.9	10.9	66.3
50 a 59 años	36	14.0	14.0	80.2
60 a 69 años	25	9.7	9.7	89.9
70 a 79 años	22	8.5	8.5	98.4
80 a 89 años	4	1.6	1.6	100.0
Total de pacientes	258	100.0	100.0	



Grafica 1. Características de la población estudiada: Sexo

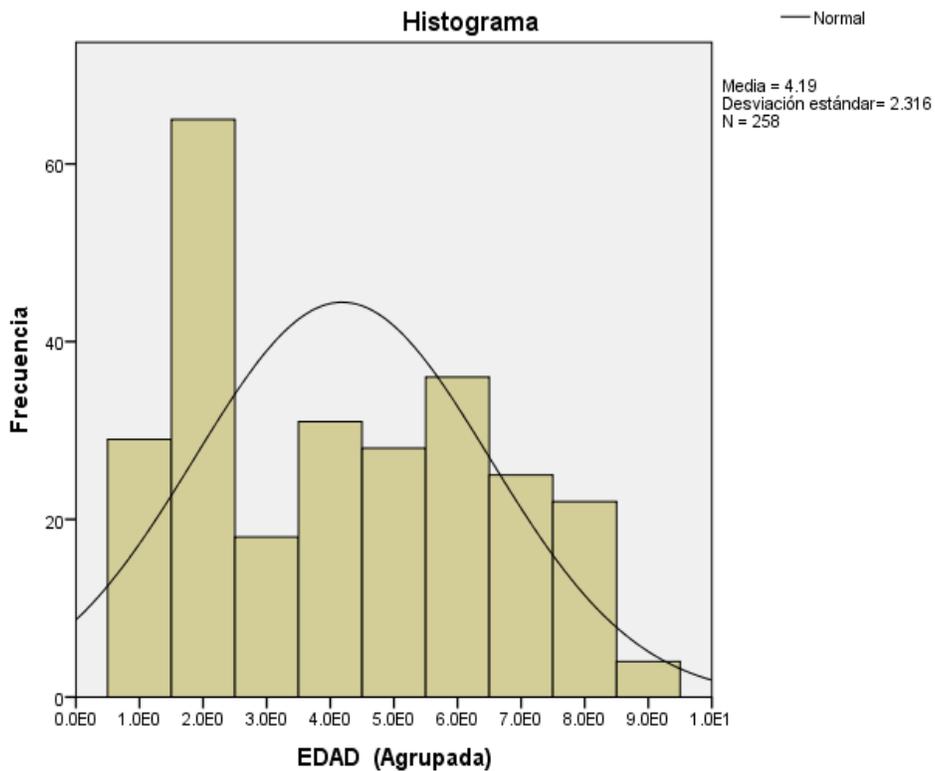
En los 258 estudios revisados, 149 correspondían a pacientes del sexo femenino lo que representa el 57.8%, los 109 casos restantes fueron del sexo masculino, con un 42.2%, (*Tabla y Grafica 1*).



Grafica 2. Características de la población estudiada: Grupos de edad

Tabla 2. Estadística Descriptiva edad.

	Estadístico	Error estándar
Media	35.79	1.449
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	32.93
	Límite superior	38.64
Media recortada al 5%	35.29	
Mediana	34.50	
Varianza	542.052	
Desviación estándar	23.282	
Mínimo	0	
Máximo	88	



Grafica 3. Características de la población estudiada: Edad (Histograma).

De la población estudiada, se obtuvo un rango de edad de los 0 (4 meses) a los 88 años, con una media de 35.79 años y una mediana de 34.50 años de edad. Destacando que hubo una mayor cantidad de pacientes entre los 10 y 19 años de edad, con un total de 65, equivalente al 25.2% (Tabla 2; Grafica 2 y 3).

**Tabla 3. Análisis de las Variantes Anatómicas
Presencia de Variante del Círculo de Willis (CW).**

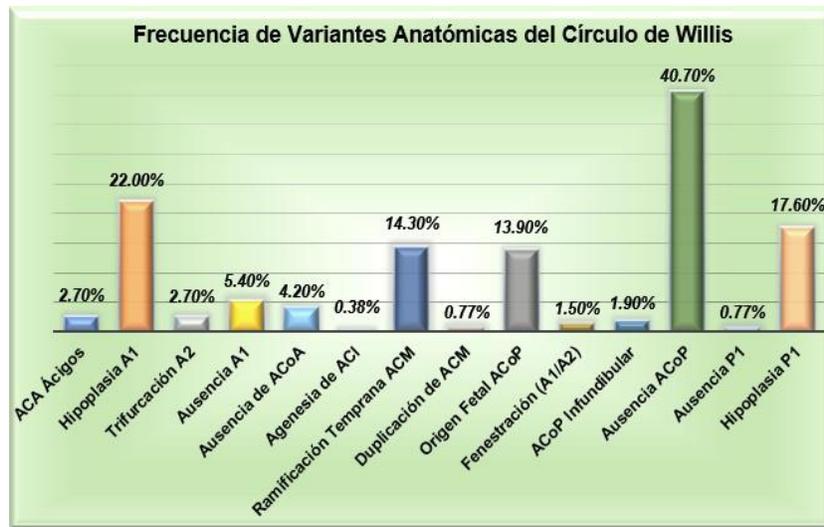
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Ausente	63	24.4	24.4	24.4
Presente	195	75.6	75.6	100.0
Cantidad de variantes CW				
Múltiples	117	45.3	45.3	45.3
Ninguna	63	24.4	24.4	69.8
Única	78	30.2	30.2	100.0
Número de variantes CW				
Sin variantes	63	24.4	24.4	24.4
1 variante	78	30.2	30.2	54.7
2 variantes	73	28.3	28.3	82.9
3 variantes	37	14.3	14.3	97.3
4 variantes	7	2.7	2.7	100.0
Localización de la variante (Circulación Anterior/ Posterior/ Ambas)				
Posterior	73	28.3	28.3	28.3
Ambas	66	25.6	25.6	53.9
Ninguna	63	24.4	24.4	78.3
Anterior	56	21.7	21.7	100.0
Total	258	100.0	100.0	

De los estudios de angioresonancia magnética de cráneo 3D TOF que cumplieron los criterios de inclusión, se realizó el diagnóstico de variantes anatómicas del círculo de Willis en 195 pacientes, correspondiente al 75.6%; la conformación clásica se observó en 63 pacientes, es decir en un 24.4% (Tabla 3).

En los casos revisados, 117 pacientes tenían múltiples variantes (2 a 4), correspondía al 45.3%, y 78 presentaban una sola variante, el 30.2%. Respecto a la localización, se encontró una frecuencia de 73 casos con variantes anatómicas en la circulación posterior, equivalente al 28.3%; en la circulación anterior hubo 56, proporcional al 21.7%; el diagnóstico en ambas circulaciones se observó en 66 pacientes, con el 25.6% (Tabla 3).

Tabla 4. Tipo de Variantes Anatómicas del Círculo de Willis.

Circulación Anterior	Frecuencia	Porcentaje
Arteria Cerebral Anterior Ácigos	7	2.7
Trifurcación de Arteria Cerebral Anterior (Segmento A2)	7	2.7
Ausencia del Segmento A1	14	5.4
Hipoplasia del Segmento A1	57	22
Ausencia de Arteria Comunicante Anterior	11	4.2
Ramificación Temprana de Arteria Cerebral Media (Segmento M1)	37	14.3
Otras: Circulación Anterior	Frecuencia	Porcentaje
Fenestración (Segmento A1 y A2)	4	1.5
Duplicación de Arteria Cerebral Media	2	0.77
Agenesia de Arteria Carótida Interna	1	0.38
Circulación Posterior	Frecuencia	Porcentaje
Origen Fetal de Arteria Comunicante Posterior	36	13.9
Arteria Comunicante Posterior Infundibular	5	1.9
Ausencia de Arteria Comunicante Posterior	105	40.7
Ausencia del Segmento P1	2	0.77
Hipoplasia del Segmento P1	33	12.8



Grafica 4. Frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis en 258 pacientes.

Se realizó la descripción de las variantes anatómicas del círculo de Willis por frecuencia en orden descendente, la ausencia de arteria comunicante posterior con 105 casos, es decir el 40.7%, de las cuales 69 (65.7%) eran unilaterales y 36

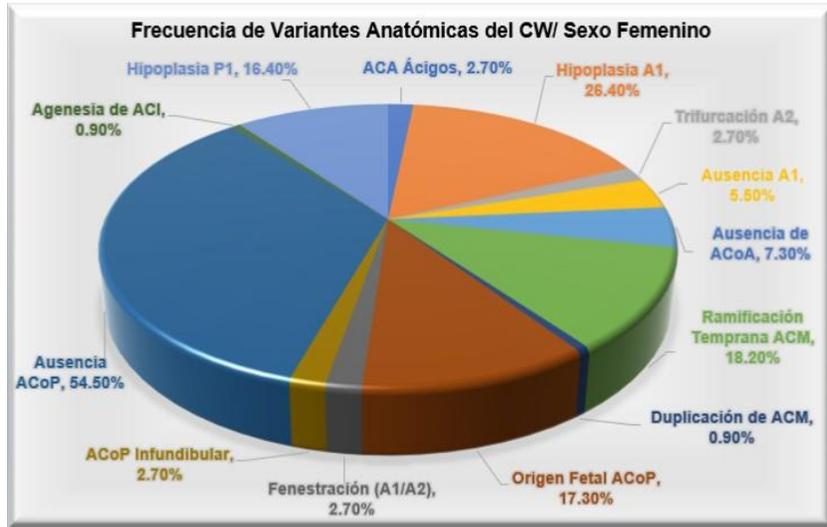
(34.3%) bilaterales; seguida de la hipoplasia del segmento A1 con el 22%; ramificación temprana de arteria cerebral media (segmento M1), en un 14.3%; origen fetal de arteria comunicante posterior, 13.9%; hipoplasia del segmento P1, 12.8%; el resto con una frecuencia de entre 0.38% y el 5.4%; la agenesia de arteria carótida interna unilateral solo se observó en un solo caso, es decir el 0.38%, (*Tabla y Grafica 4*).

**Tabla 5. Análisis de las Variantes Anatómicas CW.
Presencia o Ausencia/ Sexo**

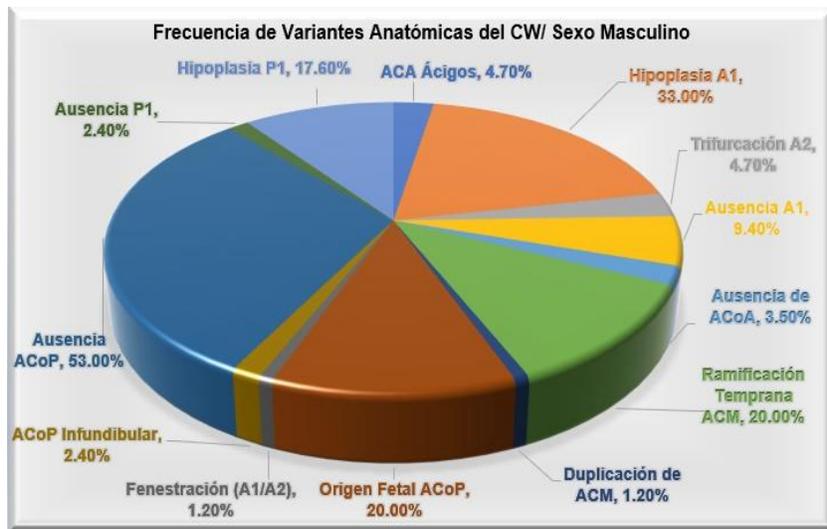
Sexo	Frecuencia	Porcentaje	Ausente VCW	Porcentaje	Presente VCW	Porcentaje	Porcentaje válido
Femenino	149	57.8	39	15.1	110	42.6	73.8
Masculino	109	42.2	24	9.3	85	33	77.9
Total	258	100	63	24.4	195	75.6	195

Tabla 6. Tipos de Variantes Anatómicas del Círculo de Willis/ Sexo.

	Frecuencia Femenino	Porcentaje Femenino	Frecuencia Masculino	Porcentaje Masculino
Arteria Cerebral Anterior Ácigos	3	2.7	4	4.7
Trifurcación de Arteria Cerebral Anterior (A2)	3	2.7	4	4.7
Ausencia del Segmento A1	6	5.5	8	9.4
Hipoplasia del Segmento A1	29	26.4	28	33
Ausencia de Arteria Comunicante Anterior	8	7.3	3	3.5
Ramificación Temprana de Arteria Cerebral Media (M1)	20	18.2	17	20
Fenestración (Segmento A1 y A2)	3	2.7	1	1.2
Duplicación de Arteria Cerebral Media	1	0.9	1	1.2
Agenesia de Arteria Carótida Interna	1	0.9	0	0
Origen Fetal de Arteria Comunicante Posterior	19	17.3	17	20
Arteria Comunicante Posterior Infundibular	3	2.7	2	2.4
Ausencia de Arteria Comunicante Posterior	60	54.5	45	53
Ausencia del Segmento P1	0	0	2	2.4
Hipoplasia del Segmento P1	18	16.4	15	17.6



Grafica 5. Frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis en el sexo femenino.



Grafica 6. Frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis en el sexo masculino.

Se analizó la frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis por sexo, 149 de los estudios revisados eran de pacientes del sexo femenino, en 110 de estos se hizo el diagnóstico de variantes, equivalente al 73.8%; en el caso del sexo masculino se revisaron 109 estudios, de los cuales 85 presentaban variantes, correspondiente al 77.9%, (Tabla 5).

Al examinar de forma individual la conformación no clásica del círculo en razón al sexo, se observó la ausencia de la arteria comunicante posterior en un 54.5%, ausencia de arteria comunicante anterior (7.3%), fenestración (2.7%), arteria comunicante posterior Infundibular (2.7%), agenesia de arteria carótida interna unilateral (0.9%), en relación a pacientes del sexo femenino, respecto al 53%, 3.5%, 1.2%, 2.4% y 0% en el masculino (*Tabla 6; Grafica 5 y 6*).

**Tabla 7. Análisis de las Variantes Anatómicas CW.
Presencia o Ausencia/ Grupo de Edad**

Grupo de Edad	Frecuencia	Porcentaje	Ausente VCW	Porcentaje	Presente VCW	Porcentaje	Porcentaje válido
0 a 9 años	29	11.2	10	16	19	9.7	65.5
10 a 19 años	65	25.2	17	27	48	24.6	73.8
20 a 29 años	18	7	6	9.5	12	6.2	66.7
30 a 39 años	31	12	8	12.7	23	11.8	74.2
40 a 49 años	28	10.9	6	9.5	22	11.3	78.6
50 a 59 años	36	14	4	6.3	32	16.4	88.9
60 a 69 años	25	9.7	6	9.5	19	9.7	76
70 a 79 años	22	8.5	6	9.5	16	8.2	72.7
80 a 89 años	4	1.6	0	0	4	2	100
Total	258	100	63	100	195	100	

En cuanto al diagnóstico por grupo de edad, se encontró en pacientes de 10 a 19 años una frecuencia de 48 casos, que corresponde al 24.6%, de un total de 195 de pacientes que presentaron un círculo de Willis no clásico, considerando que fue el grupo de edad que más pacientes aportó a la investigación con 65 (25.2%) de los 258 estudios revisados; entre los 50 y 59 años de edad se observó una frecuencia de 32 pacientes con variantes, es decir el 16.4%, el resto de los grupos de edad oscilaron entre el 2% y 11.8% . Al analizar el número de casos de cada grupo de edad y su frecuencia de variantes de forma individual, se observó un incremento a partir de los 40 años de edad, con diagnóstico de estas hasta un 100% en el grupo de edad 80 a 89 años (*Tabla y Grafica 7*).



Grafica 7. Frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis por Grupo de edad

Tabla 8. Análisis de las Variantes Anatómicas CW más frecuentes.

Unilateral o Bilateral

	Unilateral	Porcentaje	Bilateral	Porcentaje	Total
Hipoplasia del Segmento A1	57	100	0	0	100
Ramificación Temprana de Arteria Cerebral Media (M1)	33	89.2	4	10.8	100
Origen Fetal de Arteria Comunicante Posterior	35	97.2	1	2.8	100
Ausencia de Arteria Comunicante Posterior	69	65.7	36	34.3	100
Hipoplasia del Segmento P1	32	97	1	3	100

Se realizó el análisis de variantes que podrían afectar arterias pares en la circulación cerebral, como el segmento A1 de la arteria cerebral anterior, arteria cerebral media, arteria comunicante posterior, y el segmento P1 de la arteria cerebral posterior. En todos los casos de este apartado se observó una mayor afectación unilateral, destacando el 100% en la hipoplasia del segmento A1, de un total de 57 pacientes que presentaron esta variante, el resto osciló entre el 65.7% y 97.2%. La ausencia de la arteria comunicante posterior tuvo una afectación bilateral en 36 estudios, equivalente al 34.3% de todos los casos de esta variante (105); el resto de las variantes presentaron una frecuencia entre el 2.8% y 10.8%; en el caso de la hipoplasia del segmento A1 no presentó afectación bilateral, (*Tabla 8*).

**Tabla 9. Análisis de las Variantes Anatómicas CW más frecuentes.
Asociaciones con otras variantes**

	Frecuencia	Porcentaje
Hipoplasia de A1 + Ausencia de Arteria Comunicante Posterior	27	47.4
Origen Fetal de Arteria Comunicante Posterior + Hipoplasia o ausencia de P1 Ipsilateral	33	91.7
Ausencia de Arteria Comunicante Posterior + Hipoplasia de A1	28	26.7
Hipoplasia o ausencia de P1 + Origen Fetal de Arteria Comunicante Posterior Ipsilateral	33	94.3

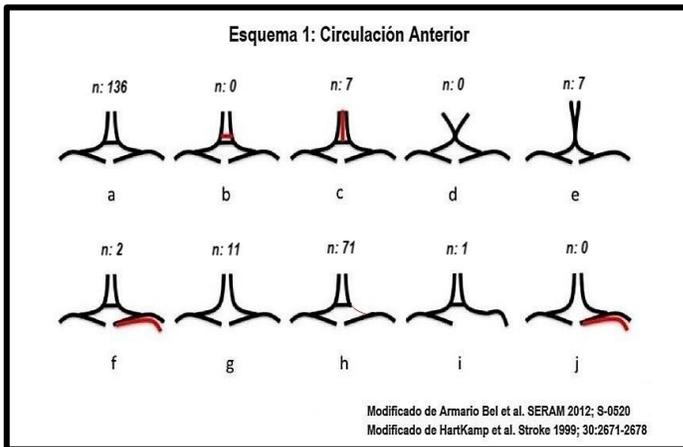
Se observaron asociaciones entre algunas variantes anatómicas del círculo de Willis, el origen fetal de la arteria comunicante posterior se encontró asociada a la hipoplasia o ausencia del segmento P1 ipsilateral en 33 pacientes de un total de 36, que corresponde al 91.7%; en el caso de la hipoplasia o ausencia del segmento P1 de la arteria cerebral posterior se presentó una frecuencia de 35 casos, de estos 33 se asociaron al origen fetal de la arteria comunicante posterior unilateral, con un 94.3%. También se analizó la relación entre la hipoplasia del segmento A1 con la ausencia de arteria comunicante posterior, observada en 27 pacientes de un total de 57, proporcional al 47.4%, (Tabla 9).

Tabla 10. Frecuencia de Aneurismas (SI/NO)

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
NO	248	96.1	96.1	96.1
SI (ACoA)	3	1.2	1.2	97.3
SI (A1)	1	0.4	0.4	97.7
SI (ACI)	4	1.5	1.5	99.2
SI (ACM)	2	0.8	0.8	100.0
Total	258	100.0	100.0	

En los 258 estudios revisados, se encontró la presencia de aneurismas en 10 casos, su frecuencia equivale al 3.9%; no hubo relación directa en la localización del aneurisma con alguna variante anatómica del círculo de Willis que afectara la misma arteria en él 100% de los casos, sin embargo, se encontró en 4 de los casos con aneurisma (3 de la ACoA y 1 en el segmento A1) asociación con la hipoplasia o ausencia del segmento A1 (Tabla 10).

De los estudios analizados solo un paciente presentaba agenesia del cuerpo calloso, en un 0.38% de la población estudiada, este presento ramificación temprana de la arteria cerebral media y origen fetal de arteria comunicante posterior unilateral; el resto de las asociaciones buscadas en esta investigación no fueron observadas en los casos revisados.

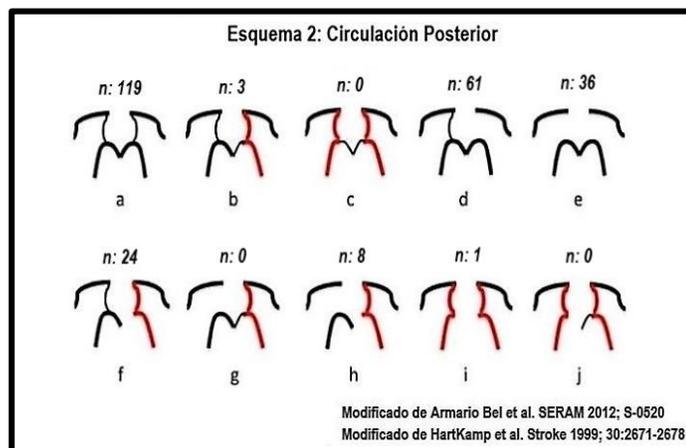


Esquema 1. Variantes anatómicas de la circulación anterior:

a) Sin variantes anatómicas, b) Al menos dos Arterias Comunicantes Anteriores, c) Arteria medial del Cuerpo Calloso se origina de la Comunicante Anterior, d) Fusión puntual de las Arterias Comunicantes Anteriores, e) Tronco común de Arterias Comunicantes anteriores,

dividiéndose posteriormente en 2 segmentos A2, f) Arteria Cerebral Media se origina de Carótida Interna en 2 troncos separados, g) Hipoplasia o ausencia de Arteria Comunicante Anterior, h) Un segmento A1 hipoplásico o ausente, i) Ausencia unilateral de ACI, j) Hipoplasia o ausencia de Arteria Comunicante Anterior, la Arteria Cerebral Media se origina de Carótida Interna en 2 troncos separados.

Esquema 2. Variantes anatómicas de la circulación posterior:



a) Sin variantes anatómicas, b) Arteria Fetal Posterior Unilateral, c) Arteria Fetal Posterior Bilateral, d) Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Unilateral, e) Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Bilateral, f) Arteria Fetal Posterior Unilateral + Hipoplasia Segmento P1, g) Arteria Fetal Posterior Unilateral + Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Contralateral, h) Arteria Fetal Posterior Unilateral + Hipoplasia Arteria Comunicante Posterior Contralateral + Hipoplasia Segmento P1, i) Arteria Fetal Posterior Bilateral + Hipoplasia segmento P1 Bilateral, j) Arteria Fetal Posterior Bilateral + Hipoplasia segmento P1 Unilateral.

XIII. DISCUSIÓN

La Angioresonancia magnética time of flight (TOF) es la técnica angiográfica sin contraste más antigua y más utilizada en imágenes neurovasculares, por sus varias ventajas, habitualmente utilizada para la evaluación de la circulación cerebral.
3, 5, 6

La circulación arterial cerebral, comúnmente conocida como “Círculo de Willis”, fue descrita por su autor en 1664 como la conformación clásica, múltiples trabajos han demostrado su gran variabilidad anatómica y funcional.^{9, 11}

En el presente estudio sólo 63 pacientes de 258 presentaron la conformación clásica sin variantes anatómicas, lo cual representa el 24.4%, y 195 pacientes con la presentación no clásica, es decir el 75.6% del total de estudios revisados, esto concuerda con lo reportado en la literatura internacional, la frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis oscila entre el 40% y 90.8%^{9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25}.

De los últimos estudios de investigación publicados que presentaron una frecuencia muy similar a nuestro estudio fue el de Shaikh y cols¹⁵ realizado en Pakistán (2018) el cual presentó una frecuencia de variantes anatómicas en un 77.8%, y una conformación clásica del 22.2%, realizado con angioresonancia magnética 3D TOF; en nuestro continente Rivas y cols⁹ en Perú (2000) encontró en cerebros disecados una frecuencia de variantes en un 73%, con una conformación clásica del círculo de Willis en el 27%. Hernández y cols¹⁴ en nuestro medio, México (2015), obtuvieron en sus resultados una menor frecuencia de variantes anatómicas con un 42%, y un círculo clásico en el 58%.

De los casos revisados, 117 pacientes tenían múltiples variantes (2 a 4), correspondía al 45.3%, y 78 presentaban una sola variante, es decir el 30.2%, en la literatura revisada no se encontraron informes de datos similares.

Respecto a la localización, se encontró una mayor frecuencia de variantes en la circulación posterior con 73, equivalente al 28.3%; en la circulación anterior 56,

proporcional al 21.7%, el diagnóstico en ambas circulaciones se observó en 66 pacientes, con el 25.6%. Tomando en cuenta solo los 195 pacientes con variantes anatómicas, la circulación posterior presento un 37.4%, la circulación anterior el 28.7% y la frecuencia en ambas circulaciones fue del 33.8%. Rao y cols¹⁷ en la India (2015) así como De Silva y cols²¹ en Sri Lanka (2011) encontraron una mayor frecuencia de variantes en la circulación posterior, similar a la observada en nuestro estudio. Hernández y cols¹⁴, México (2015) reportaron una mayor frecuencia en la circulación posterior con un 69%.

Se realizó la descripción de los tipos de variantes anatómicas del círculo de Willis por frecuencia, la más diagnosticada fue la ausencia de arteria comunicante posterior con 105 casos, es decir el 40.7% de los estudios presentaron esta variante, de las cuales 69 (65.7%) eran unilaterales y 36 (34.3%) bilaterales, seguida de la hipoplasia del segmento A1 con el 22%; ramificación temprana de arteria cerebral media (segmento M1), en un 14.3%; origen fetal de arteria comunicante posterior, 13.9%; hipoplasia del segmento P1, 12.8%; el resto con una frecuencia entre el 0.38% y 5.4%; siendo la menos frecuente la agenesia de arteria carótida interna unilateral, con un solo caso (0.38%). Los resultados descritos son similares en la mayoría de la literatura internacional, Hernández y cols¹⁴, México (2015), encontraron como la más frecuente la ausencia de arteria comunicante posterior similar a nuestra investigación, sin embargo, nuestros resultados mostraron una mayor frecuencia de hipoplasia del segmento A1, en comparación al origen fetal de la arteria comunicante posterior que fue mayor en su estudio.

Se analizó la frecuencia de variantes anatómicas del círculo de Willis por sexo, 149 de los estudios revisados eran de pacientes del sexo femenino, en 110 de estos se hizo el diagnóstico de variantes, equivalente al 73.8%; en el caso del sexo masculino se revisaron 109 estudios, de los cuales 85 presentaban variantes, correspondiente al 77.9%, esto significa que en nuestra investigación se encontró una mayor conformación no clásica del círculo en el sexo masculino. A diferencia de nuestro estudio Hartkamp y cols²⁵ en Holanda (1999), así como Rao y cols²⁶ en la India (2015) observaron una mayor frecuencia en el sexo femenino.

Sin embargo, al examinar de forma individual las variantes anatómicas del círculo en relación al sexo, se observó que algunas eran más frecuentes en el sexo femenino como la ausencia de arteria comunicante posterior (54.5%), ausencia de arteria comunicante anterior (7.3%), fenestración (2.7%), arteria comunicante posterior Infundibular (2.7%), agenesia de arteria carótida interna unilateral (0.9%), respecto al 53%, 3.5%, 1.2%, 2.4% y 0% en el sexo masculino. En la literatura no hay información respecto a resultados por sexo en relación al tipo de variante.

El grupo de edad donde más frecuente se realizó el diagnóstico de variantes fue en el rango de edad 10 a 19 años, que corresponde al 24.6% de un total de 195 casos que presentaron variantes, considerando que fue el grupo de edad que más pacientes aportó a la investigación con 65 (25.2%) de los 258 estudios revisados. Al analizar el número de casos de cada grupo de edad y su frecuencia de variantes de forma individual, se encontró un incremento en el porcentaje de variantes a partir de los 40 años de edad, con diagnóstico de estas hasta un 100% en el grupo de edad 80 a 89 años, Hartkamp y cols²⁵ en Holanda (1999) y Rao y cols²⁶ en la India (2015), llegan a la conclusión que a mayor edad hay un incremento en la frecuencia de variantes anatómicas, de predominio en la hipoplasia de los vasos, similar a nuestros resultados, a pesar de que la mayoría de nuestra población de estudio tenía un rango de edad entre los 10 y 19 años.

Se observaron asociaciones entre algunas variantes anatómicas del círculo de Willis, la que presentó una mayor frecuencia es el origen fetal de la arteria comunicante posterior con la hipoplasia del segmento P1 ipsilateral, observada en 33 pacientes de un total de 36, lo que significa es que si se encontramos en un paciente un origen fetal de la arteria comunicante posterior es muy probable observar la hipoplasia del segmento P1 ipsilateral, en nuestro estudio fue del 91.7%; en el caso de que observemos la hipoplasia del segmento P1 de la arteria cerebral posterior, es más probable que encontremos un origen fetal de la arteria comunicante posterior, observada en 33 casos de nuestros estudios de imagen revisados de un total de 35, que corresponde al 93.9%. También se analizó la

relación entre la hipoplasia del segmento A1 con la ausencia de arteria comunicante posterior, observada en 27 pacientes de un total de 57, que es proporcional al 47.4%. Hartkamp y cols²⁵ identificaron esta asociación, la cual describieron en sus esquemas, posteriormente Armario Bel y cols¹⁹ en Barcelona, España (2012) realizaron algo similar modificando dichos esquemas.

En los 258 estudios revisados, se encontró la presencia de aneurismas en 10 casos, su frecuencia equivale al 3.9%; no hubo relación directa en la localización del aneurisma con alguna variante anatómica del círculo de Willis que afectara la misma arteria, en él 100% de los casos, sin embargo, se encontró en 4 de los casos con aneurisma (3 de la ACoA y 1 en el segmento A1) el 100% de asociación con la hipoplasia o ausencia del segmento A1 de nuestro estudio, en un total de 71 casos con esta variante, que corresponde al 5.6%. Uchino y cols²⁶ en Japón (2006) encontró asociación parecida a la nuestra, con una frecuencia de 7 aneurismas de la arteria comunicante anterior (ACoA) asociada en un 100% a hipoplasia del segmento A1 unilateral, en 50 casos que presentaban esta variante, que corresponde al 14%, ligeramente mayor a la observada en nuestros resultados.

De los estudios analizados solo un paciente presentaba agenesia del cuerpo calloso, en un 0.38% de la población estudiada, este presentó ramificación temprana de la arteria cerebral media y origen fetal de la arteria comunicante posterior unilateral; el resto de las asociaciones buscadas en esta investigación no fueron observadas en los casos revisados.

XIV. CONCLUSIÓN

Las variaciones morfológicas del círculo de Willis demostradas por la angioresonancia magnética 3D TOF en nuestro estudio, proporcionan una fuente de referencia a nivel nacional como internacional.

Nuestros resultados confirman la opinión de que la configuración de la circulación cerebral varía ampliamente en la población general. La conformación clásica del círculo fue del 24.4%, y la frecuencia de la conformación no clásica se presentó en un 75.6%, en general las variantes son ligeramente más frecuentes en el sexo masculino, sin embargo, se identificó que algunas variantes anatómicas como la ausencia de arteria comunicante posterior, ausencia de arteria comunicante anterior, fenestración, y la arteria comunicante posterior Infundibular tienen una ligera predilección en el sexo femenino. Se observó que hay un aumento en la frecuencia de variantes en mayores de 40 años.

La circulación posterior presentó una mayor variación morfológica con un 28.3%, la variante más frecuente en la circulación posterior y en general fue la ausencia de la arteria comunicante posterior con el 40.7%; la conformación no clásica en la circulación anterior se presentó en un 21.7%, y su variante más observada fue la hipoplasia de A1 con un 22%; la afectación de ambas circulaciones se encontró en el 25.6%.

Es más común encontrar múltiples variantes anatómicas en un solo paciente (2 a 4), con el 45.3%, en comparación a la presencia de una sola variante, con un 30.2%. Se identificó una mayor frecuencia entre la asociación de hipoplasia de P1, con el origen fetal de la arteria comunicante posterior, con el 93.9% de los casos.

La presencia de aneurismas asociados a las variantes anatómicas es comparable con la descrita en la literatura, siendo más frecuente la asociación de la hipoplasia o ausencia del segmento A1 con los aneurismas de la arteria comunicante anterior (ACoA).

Recomendamos usar de forma rutinaria la angioresonancia magnética con secuencia 3D TOF en los pacientes sometidos a estudio de cráneo, esto permitirá la identificación de variantes anatómicas del círculo de Willis, sobre todo por su relevancia clínica en los accidentes cerebrales vasculares, permitiendo la prevención de complicaciones, así como de una adecuada planificación quirúrgica en caso de presentarse.

XV. BIBLIOGRAFÍA

1. Huston J, Ehman R. Comparison of Time-of-Flight and Phase-Contrast MR Neuroangiographic Techniques. *RadioGraphics* 1993; 13:5-19.
2. López J, Pérez C, González I, Valles H, Díaz F. Angioresonancia sin contraste, nueva secuencia: 3D Inhance Inflow IR. Técnica y sus aplicaciones clínicas. *SERAM* 2012; S-0388.
3. Dimmick S, Faulder K. Normal Variants of the Cerebral Circulation at Multidetector CT Angiography. *RadioGraphics* 2009; 29:1027-1043.
4. Edelman R. The History of MR Imaging as Seen through the Pages of Radiology. *Radiology* 2014; 273: S181-S200.
5. Pandey S, Hakky M, Kwak E, Fara H, Geyer C, Erbay S. Application of Basic Principles of Physics to Head and Neck MR Angiography: Trouble-shooting for Artifacts. *RadioGraphics* 2013; 33:E113-E123.
6. Vilanova P, Muñoz B, Moreno J. Angiografía por resonancia magnética: técnica y aplicaciones en el estudio de la estenosis de carótida. Elsevier. *Imagen Diagn.* 2014; 5:24-31.
7. Raghavan P, Mukherjee S, Gaughen J, Douglas C. Magnetic Resonance Angiography of the Extracranial Carotid System. *Top Magn Reson Imaging* 2008; 19:241-249.
8. Deutschmann H, Augustin M, Simbrunner J, Urger B, Schoellnast H, Fritz G, et al. Diagnostic Accuracy of 3D Time-of-Flight MR Angiography Compared with Digital Subtraction Angiography for Follow-Up of Coiled Intracranial Aneurysms: Influence of Aneurysm Size. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007; 28:628-634.
9. Rivas D, Huertas M, Rodríguez H. Variantes anatómicas del polígono de Willis. Estudio de 307 casos. *Rev Per Neurol* 2000; 6:46-49.
10. Madrid C, Arias M, Cortes J, García J, Valentín A, González-Spinola J, et al. Estudio de las variantes del Polígono de Willis. *SERAM* 2014; S-1245.
11. Pradhan P, Baral K, Dan U, Prasad R. Morphological Study Of Circle of Willis – A Short Review. *J. Anat. Soc. India* 2009; 58:35-39.
12. Osborn AG. *Diagnostic cerebral angiography*. Second edition. Philadelphia, Pa: Lippincott William & Wilkins; 1999.
13. Martínez F, Spagnuolo E, Calvo-Rubal A, Laza S, Sgarbi N, Soria-Vargas V, et al. Variaciones del sector anterior del polígono de Willis. Correlación anatómo-angiográfica y su implicancia en la cirugía de aneurismas intracraneos. *Neurocirugía* 2004; 15:578-589.
14. Hernández-Luna J, Casares-Cruz K, Rendón-Macías R, Licea-Medina D, Castillo-Lima J. Evaluación con angioresonancia magnética nuclear de las variantes anatómicas del círculo arterial cerebral. *Anales de Radiología México* 2015; 14:256-261.
15. Shaikh R, Sohail S. MRA-based evaluation of anatomical variation of circle of Willis in adult Pakistanis. *J Pak Med Assoc* 2018; 68:187-191.

16. Jalali Kondori B, Azemati F, Dadseresht S. Magnetic Resonance Angiographic Study of Anatomic Variations of the Circle of Willis in a Population in Tehran. *Arch Iran Med* 2017; 20:235-239.
17. Rao S, Bhat V, Ashok G. Magnetic resonance angiographic evaluation of circle of Willis: A morphologic study in a tertiary hospital set up. *Anna Iof Indian Academy of Neurology* 2015; 18:391-397.
18. Gunnal S, Farooqui M, Wabale R. Anatomical Variations of the Circulus Arteriosus in Cadaveric Human Brains. *Neurology Research International* 2014; 687281:16.
19. Armario Bel D, Pla Esperanzi A, Pareto D, Mitjana Penella R, Auger Acosta C, Rovira Cañellas A. Relación entre la anatomía del polígono de Willis y asimetrías interhemisféricas del flujo sanguíneo cerebral: medido con RM de 3,0 T y técnica de "arterial spin labeling". *SERAM* 2012; S-0520.
20. Silva A, Brandao R, Moraes M. Carotid siphon geometry and variants of the circle of Willis in the origin of carotid aneurysms. *Arq Neuropsiquiatr* 2012; 70:917-921.
21. De Silva K, Silva R, Amaratunga D, Gunasekera W, Jayasekera R. Types of the cerebral arterial circle (circle of Willis) in a Sri Lankan Population. *BMC Neurology* 2011; 11:5.
22. Parmar H, Sitoh Y, Hui F. Normal variants of the intracranial circulation demonstrated by MR angiography at 3T. *European Journal of Radiology* 2005; 56:220-228.
23. Hyun Lee J, Gon Choi C, Kyun Kim D, Eun Kim G, Kyu Lee H, Chul Suh D. Relationship Between Circle of Willis Morphology on 3D Time-of-Flight MR Angiograms and Transient Ischemia During Vascular Clamping of the Internal Carotid Artery During Carotid Endarterectomy. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004; 25:558-564.
24. Boleaga-Durán B, Ameller-Terrazas S, Criales-Cortés J. Variantes anatómicas del círculo arterial de la base craneal. *Anales de Radiología México* 2004; 4:239-244.
25. Hartkamp M, Van de Grond J, Van Everdingen K, Hillen B, Mali W. Circle of Willis Collateral Flow Investigated by Magnetic Resonance Angiography. *Stroke* 1999; 30:2671-2678.
26. Uchino A, Nomiya K, Takase Y, Kudo S. Anterior cerebral artery variations detected by MR angiography. *Neuroradiology* 2006; 48:647-652.
27. Niederberger E, Gauthier J, Morandi X, Carsin-Nicol B, Gauthier T, Ferré J. Anatomic variants of the anterior part of the cerebral arterial circle at multidetector computed tomography angiography. *Elsevier. Journal of Neuroradiology* 2010; 37:139-147.
28. Cui Y, Xu T, Chen J, Tian H, Cao H. Anatomic variations in the anterior circulation of the circle of Willis in cadaveric human brains. *Int J Clin Exp Med* 2015; 8:15005-15010.
29. Klimek-Piotrowska W, Rybicka M, Wojnarska A, Wójtowicz A, Koziej M, Holda M. A multitude of variations in the configuration of the circle of Willis: an autopsy study. *Anat Sci Int* 2015; 12:31-34.

30. Uchiyama N. Anomalies of the Middle Cerebral Artery. *Neurol Med Chir Tokyo* 2017; 57:261-266.
31. Chuang Y, Chan L, Lai Y, Kuo K, Chiou Y, Huang L, et al. Configuration of the Circle of Willis is associated with less symptomatic intracerebral hemorrhage in ischemic stroke patients treated with intravenous thrombolysis. *Journal of Critical Care* 2013; 28:166-172.
32. González X, Landó F. Angiotomografía cerebral: Variantes anatómicas más frecuentes del polígono de Willis ensayo iconográfico. *Rev Imagenol* 2014; XVII:93-97.
33. Roldán E, Espejo R, Hernández J. Hacia una radiología “sin placas”: Sistema de Archivo y Comunicación de Imágenes (PACS). *Anales de Radiología México* 2003; 4:219-224.

XVI. ANEXOS

GALERIA DE IMÁGENES

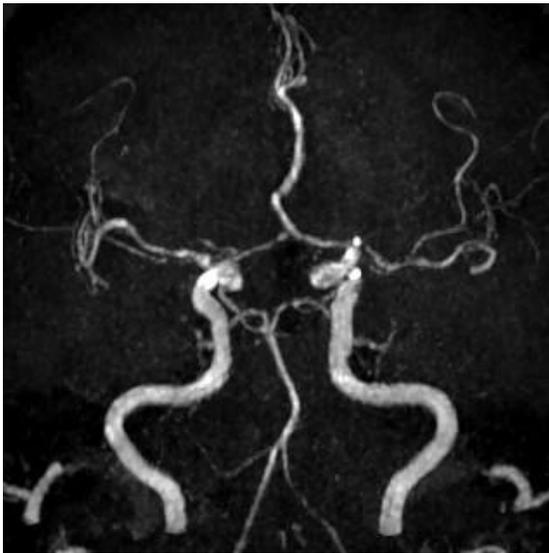


Imagen 1. Arteria cerebral anterior ácidos.

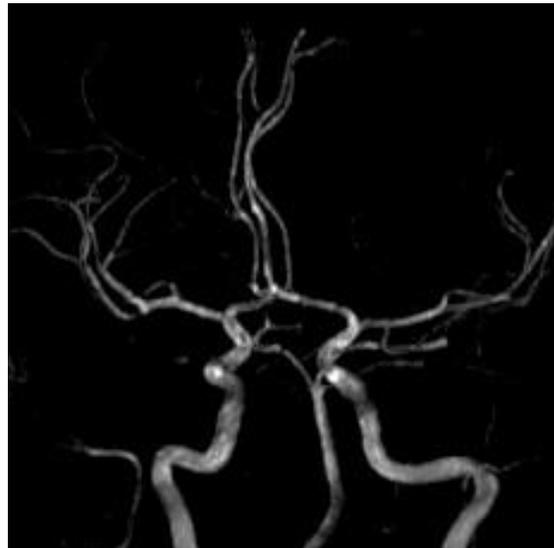


Imagen 2. Trifurcación de la ACA (A2).

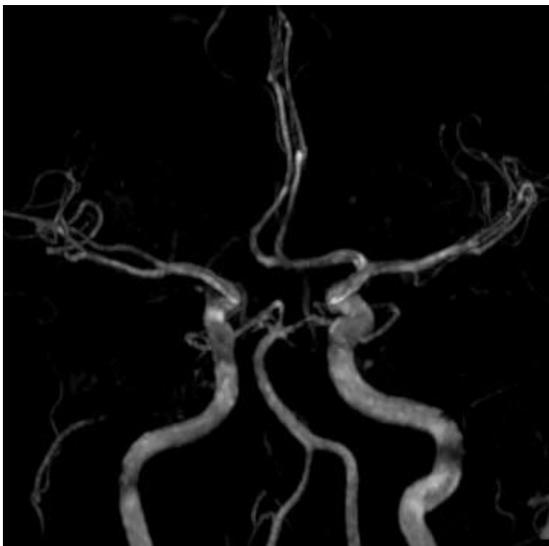


Imagen 3. Ausencia del segmento A1 der.

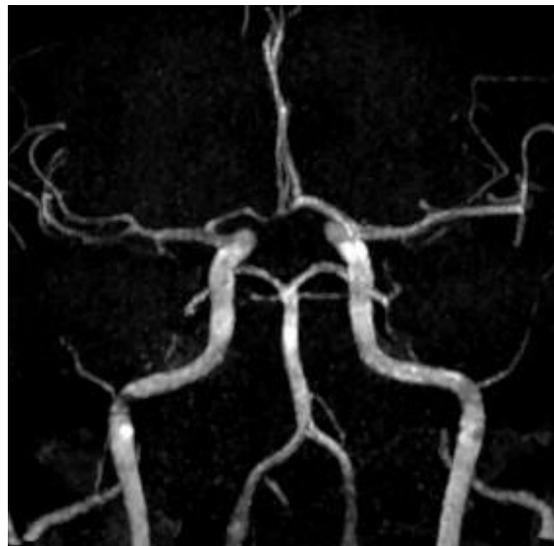


Imagen 4. Hipoplasia del segmento A1 derecha + Fenestración A2.

GALERIA DE IMÁGENES

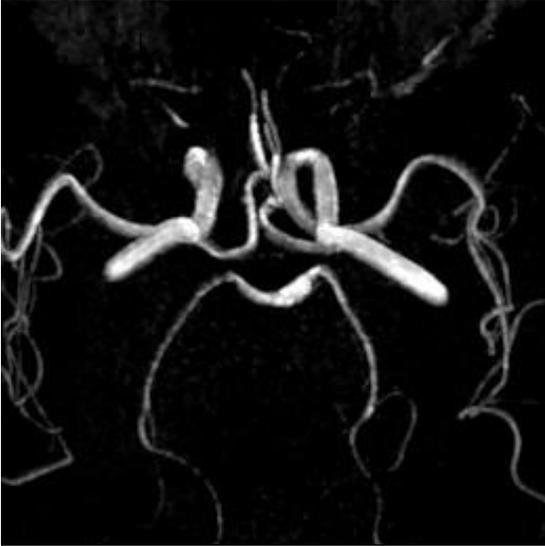


Imagen 5. Ausencia de ACoA + Ausencia de ambas ACoPs.

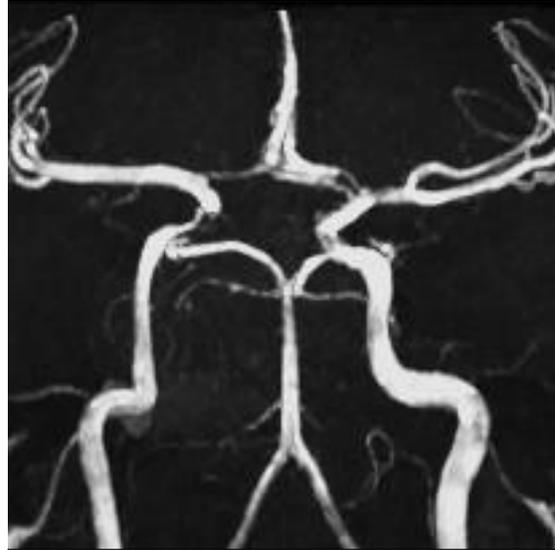


Imagen 6. Ramificación Temprana de ACM + Fenestración A1 Izq + Hipoplasia A1 Der

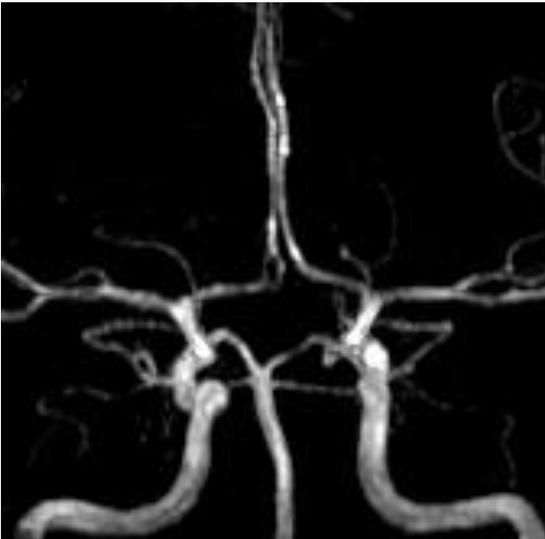


Imagen 7. Fenestración A2 Derecha.



Imagen 8. Duplicación de ACM Izquierda.

GALERIA DE IMÁGENES



Imagen 9. Ausencia de ACI Izquierda.

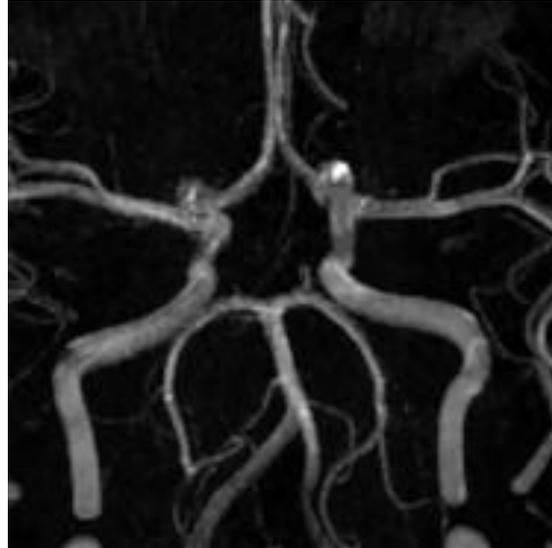


Imagen 10. ACoPs Infundibulares.

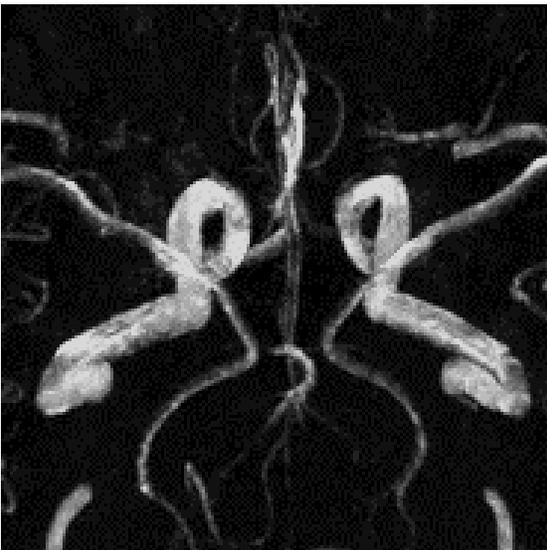


Imagen 11. Origen fetal de ACoPs + Hipoplasia de P1 Bilateral.

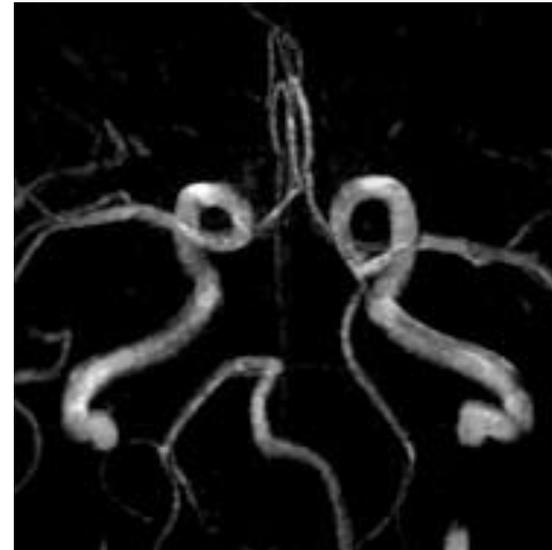
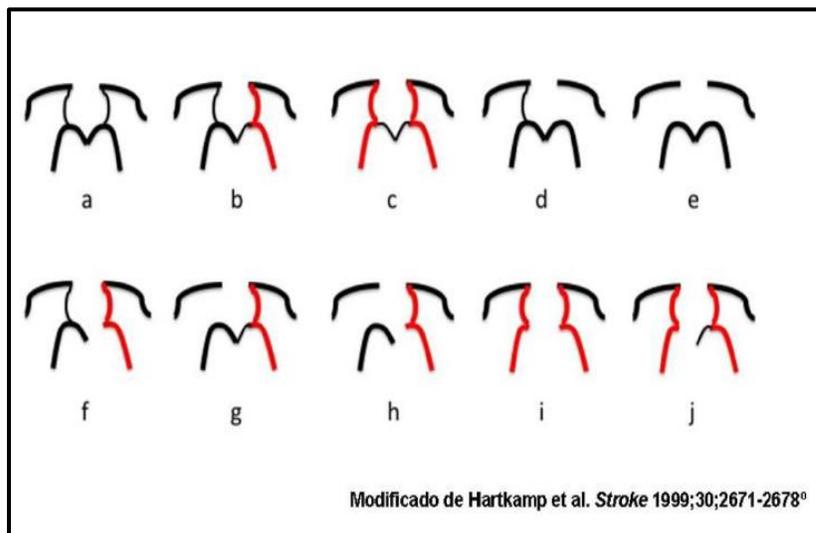
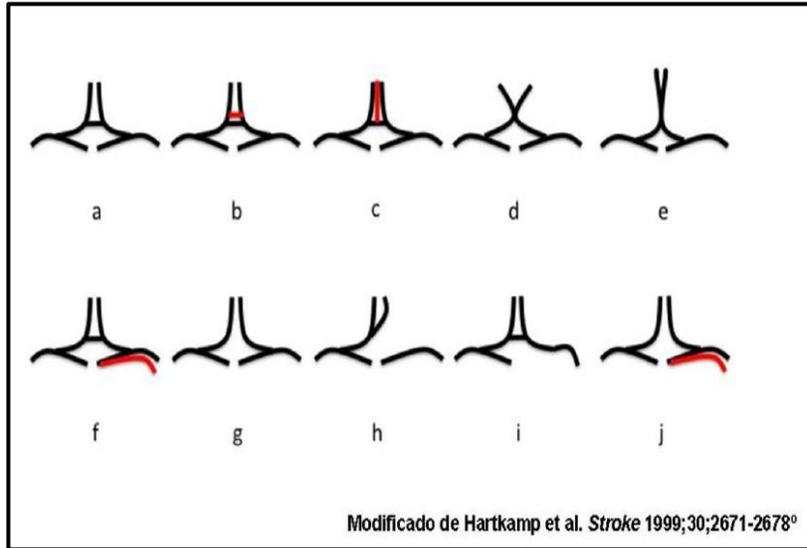


Imagen 12. Origen fetal de ACoP Izq + Ausencia de P1 Ipsilateral + Ausencia de ACoP contralateral.

ESQUEMAS



CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:

Variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en una UMAE de 2017 a 2018.

2018	ENERO	FEBRERO	MARZO/ ABRIL	MAYO/ JUNIO	JULIO
Búsqueda bibliográfica	X				
Elaboración del proyecto	X				
Registro en el SIRELCIS		X			
Recopilación de datos			X		
Análisis Estadístico			X		
Redacción de tesis				X	
Publicación de tesis					X

Variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en una UMAE de 2017 a 2018.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

NOMBRE DEL PACIENTE _____

FECHA: _____

EDAD: _____ AÑOS

SEXO: F M

VARIANTE: SI NO

LOCALIZACIÓN DE LA VARIANTE

TIPO DE VARIANTE

NÚMERO DE VARIANTES

COMORBILIDAD

LOCALIZACIÓN DE LA VARIANTE

CIRCULACIÓN ANTERIOR	CIRCULACIÓN POSTERIOR	AMBAS
----------------------	-----------------------	-------

ASOCIADO CON:

SI

NO

ANEURISMA

ASIMETRÍA INTERHEMISFÉRICA

HOLOPROSENCEFALIA

AGENESIA DEL CUERPO CALLOSO

DIAGNÓSTICO POR ANGIORESONANCIA MAGNÉTICA DE CRÁNEO 3D TOF:



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
UNIDAD DE EDUCACIÓN, INVESTIGACIÓN Y POLÍTICAS DE SALUD
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN EN SALUD
CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

Nombre del estudio:	Variantes anatómicas del círculo de Willis diagnosticadas por Angioresonancia magnética 3D TOF en una UMAE de 2017 a 2018.
Patrocinador externo (si aplica):	NO APLICA
Lugar y fecha:	Abril de 2018. Azcapotzalco, Ciudad de México, México.
Número de registro:	En Trámite
Justificación y objetivo del estudio:	El grupo de investigadores quiere Identificar las diferentes formas (variantes anatómicas) de los tubos que llevan la sangre al cerebro revisando los estudios de Rayos X como el que le hicieron a su familiar; la identificación de las variantes anatómicas tiene relevancia clínica, permitiendo contribuir a un mejor abordaje y tratamiento en caso de ser necesario.
Procedimientos:	Su participación consiste en que nos permita la revisión de las imágenes del estudio que se le hizo a su familiar. Se buscarán las formas (variantes) de los tubos que llevan la sangre al cerebro.
Posibles riesgos y molestias:	Categoría Investigación sin riesgo, no existe ninguna molestia, dado que solo se verán las imágenes en la computadora sin comprometer la integridad de su familiar o la de usted.
Posibles beneficios que recibirá al participar en el estudio:	La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y aclaración a cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación y el tratamiento de su familiar o el de usted.
Información sobre resultados y alternativas de tratamiento:	La información obtenida de las imágenes del estudio de Rayos X que se revisarán de su familiar podrá ser otorgada a usted en el momento que lo desee.
Participación o retiro:	La participación es voluntaria. Si usted se retira no hay ningún problema, ni en su atención médica ni para sus familiares.
Privacidad y confidencialidad:	A su familiar o a usted no se les identificara por nombre, número de seguridad social ni imágenes, los datos serán manejados con absoluta confidencialidad.

En caso de colección de material biológico (si aplica):

No autoriza que se tome la muestra.

Si autorizo que se tome la muestra solo para este estudio.

Si autorizo que se tome la muestra para este estudios y estudios futuros.

Disponibilidad de tratamiento médico en derechohabientes (si aplica):	Este estudio no utilizará fármacos para tratamiento
Beneficios al término del estudio:	La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y aclaración a cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación y el tratamiento de su familiar o el de usted.
En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con el estudio podrá dirigirse al:	Departamento de radiología e imagen de la UMAE Hospital General del Centro Médico Nacional La Raza.
Investigador Responsable:	Flores Sorcia Daniel
Colaboradores:	Ramírez García Bernardo, Sánchez Avila Hugo Alberto

En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a: Comisión de Ética de Investigación de la CNIC del IMSS: Avenida Cuauhtémoc 330 4° piso Bloque "B" de la Unidad de Congresos, Colonia Doctores, Ciudad de México, CP 06720. Teléfono (55) 56 27 69 00 extensión 21230, Correo electrónico: comision.etica@imss.gob.mx, "y/o al Comité de ética e Investigación del Hospital General Centro Médico Nacional La Raza "Dr. Gaudencio González Garza" Unidad Médica de Alta Especialidad" en Av. Jacarandas S/N Col. La Raza, Delegación Azcapotzalco, Ciudad de México. Dirección de Enseñanza e Investigación en Salud. Teléfono (55) 57245900, Ext. 23383.

Nombre y firma de ambos padres o tutores o representante legal

Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento

Testigo 1
Nombre, dirección, relación y firma

Testigo 2
Nombre, dirección, relación y firma

Este formato constituye una guía que deberá completarse de acuerdo con las características propias de cada protocolo de investigación, sin omitir información relevante del estudio.

Clave: 2810-009-013