

Variaciones anatómicas del polígono de Willis y malformaciones cerebrovasculares por angiotomografía

Nancy Rosalía Bertado-Ramírez^{1,a}; María Fernanda Rojas-Velasco^{1,b}; Leticia Ramos-Hernández^{2,c}; Eliezer Mallyolo Pelayo-Salazar^{3,d}; Arturo García-Galicia^{1,e}; Álvaro José Montiel-Jarquín^{1,f}; Deyaneira Palacios-Figueroa^{1,b}

1 Hospital de Especialidades de Puebla, Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional "Gral. de Div. Manuel Ávila Camacho", Dirección de Educación e Investigación en Salud. H. Puebla de Zaragoza, México.

2 Hospital General Regional N.º 1, Instituto Mexicano del Seguro Social, Órgano de Operación Administrativa Desconcentrada, Orizaba. Veracruz, México.

3 Hospital Regional de Alta Especialidad ISSSTE. Puebla de Zaragoza, México.

^a Médico especialista en neurología, ^b médico general, ^c médico especialista en imagenología, ^d médico especialista en neurocirugía, ^e médico especialista en pediatría, ^f médico especialista en cirugía general.

RESUMEN

Objetivo: Identificar la prevalencia de las variantes anatómicas del polígono de Willis y su asociación con malformaciones cerebrovasculares mediante un estudio de angiotomografía de cráneo. **Materiales y métodos:** Se realizó un estudio descriptivo, observacional y transversal en un hospital de tercer nivel, en población mexicana. Se incluyeron pacientes de cualquier edad, de ambos sexos, que contaran con historia clínica completa y con un estudio de angiotomografía (angio-TAC). Se excluyó a quienes no completaron el estudio de angio-TAC, asimismo, se eliminaron aquellos que no completaron alguno de los datos requeridos para el estudio. Se empleó estadística descriptiva, así como coeficiente Phi para la correlación entre la presencia de malformaciones cerebrovasculares y variantes anatómicas del polígono de Willis. Se consideró significativa una p de 0,05 o menor. Todos los datos personales fueron tratados con la máxima confidencialidad y exclusivamente con fines de investigación. **Resultados:** La muestra fue de 97 pacientes, la media de edad fue de 50,19 años (entre 11 y 79 años); 65 (67 %) eran mujeres y 32 (33 %), hombres; 67 (69 %) presentaron al menos una comorbilidad, mientras que 14 (14,4 %), más de una. La indicación más frecuente para que se realizara una angiotomografía de cráneo fue la presencia de aneurismas en 36 pacientes (37,1 %). Solo 40 (41,2 %) presentaron variantes anatómicas del polígono de Willis y 61, malformaciones cerebrovasculares. La variante vascular más frecuente fue la hipoplasia, presente en 25 (62,5 %) casos. La correlación entre la presencia de variantes anatómicas del polígono de Willis y la presencia de malformaciones cerebrovasculares mostró un coeficiente Phi de -0,05, con una $p = 0,095$. **Conclusiones:** La correlación entre la presencia de variantes anatómicas del polígono de Willis y malformaciones cerebrovasculares fue negativa y débil, y careció de significación estadística. La configuración anatómica clásica del polígono de Willis se observó en 59 % de los casos. La variante anatómica afectada con mayor frecuencia fue la arteria comunicante anterior.

Correspondencia:

Arturo García Galicia
neurogarcialgalicia@yahoo.com.mx

Recibido: 29/1/2025

Evaluado: 10/4/2025

Aprobado: 5/5/2025

Palabras clave: Círculo Arterial Cerebral; Neuroanatomía; Malformaciones Vasculares del Sistema Nervioso Central; Angiografía por Tomografía Computarizada (Fuente: DeCS Bireme).

Anatomical variations of the circle of Willis and cerebrovascular malformations on computed tomography angiography

ABSTRACT

Objective: To determine the prevalence of anatomical variations of the circle of Willis (CoW) and their association with cerebrovascular malformations detected on cerebral computed tomography angiography (CTA). **Materials and methods:** A descriptive, observational, cross-sectional study was conducted at a tertiary-care hospital involving a Mexican population. Patients of all ages and both sexes, with complete medical histories and a cerebral CTA scan, were included. Patients with incomplete CTA studies or missing data were excluded. Descriptive statistics and the phi coefficient were used to assess the relationship between cerebrovascular malformations and anatomical variations of the CoW. A p value ≤ 0.05 was considered significant. All personal data were handled with strict confidentiality and used exclusively for research purposes. **Results:** The sample consisted of 97 patients, with a mean age of 50.19 years (range: 11-79). The cohort



Esta obra tiene licencia de Creative Commons. Artículo en acceso abierto. Atribución 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Copyright © 2025, Revista Horizonte Médico (Lima). Publicado por la Universidad de San Martín de Porres, Perú.

comprised 65 females (67 %) and 32 males (33 %). Overall, 67 patients (69 %) had at least one comorbidity and 14 (14.4 %) had multiple comorbidities. The most common indication for cerebral CTA was aneurysm detection, observed in 36 patients (37.1 %). A total of 40 patients (41.2 %) presented anatomical variations of the CoW, while 61 exhibited cerebrovascular malformations. The most prevalent vascular variation was hypoplasia, found in 25 cases (62.5 %). The correlation between anatomical variations of the CoW and cerebrovascular malformations showed a phi coefficient of -0.05 and a p value = 0.095. **Conclusions:** The study found a weak, statistically non-significant negative correlation between anatomical variations of the CoW and cerebrovascular malformations. The classic anatomical configuration of the CoW was observed in 59 % of cases, with the anterior communicating artery being the most frequently observed anatomical variation.

Keywords: Circle of Willis; Neuroanatomy; Central Nervous System Vascular Malformations; Computed Tomography Angiography (Source: MeSH NLM).

INTRODUCCIÓN

El polígono de Willis es una red arterial anastomótica en la base del cerebro ⁽¹⁾. Su función principal es proporcionar una circulación colateral eficiente al cerebro y al cerebelo, previniendo así la isquemia y los ataques isquémicos transitorios o accidentes cerebrovasculares posteriores ⁽²⁾. En una proporción considerable de pacientes, se reportan variantes anatómicas que resultan en alteraciones de los mecanismos compensatorios del flujo sanguíneo ⁽³⁾, y esto puede aumentar el riesgo de accidentes cerebrovasculares isquémicos ⁽⁴⁾.

La variante anatómica clásica es simétrica con un contorno completo. Solo el 50 % de los cerebros sanos tienen un polígono de Willis completo; el otro 50 % y el 80 % de los cerebros disfuncionales tienen variantes anatómicas ⁽⁵⁾. El deterioro de la perfusión colateral contribuye al desarrollo de complicaciones quirúrgicas vasculares y neurológicas, infartos cerebrales, migraña y enfermedades psiquiátricas ⁽⁶⁾. La geometría alterada de la red arterial aumenta la posibilidad de desarrollo y ruptura de aneurismas ⁽⁷⁾.

Las variantes anatómicas reportadas en la literatura incluyen fenestraciones, duplicaciones, ausencias e hipoplasias ⁽⁸⁾, trifurcación de la arteria cerebral media accesoria (ACM) y la arteria cerebral anterior (ACA), ACA bihemisférica, ACA ácidos, arteria coroidea anterior hiperplásica (ACoA) e infundíbulo y origen fetal de la arteria cerebral posterior ⁽⁹⁾.

Los aneurismas intracraneales (AI) se encuentran entre las anomalías que se observan con mayor frecuencia en las proximidades o dentro de la convexidad cerebral ⁽¹⁰⁾, y la prevalencia de segmentos faltantes o hipoplásicos allí es del 12 %. Estos afectan la velocidad y la dirección del flujo sanguíneo, lo que aumenta el riesgo de AI ⁽¹¹⁾.

Las malformaciones arteriovenosas (MAV) son lesiones conformadas por arterias y venas que se conectan directamente sin capilares intermedios. Estas presentan arterias aferentes dilatadas y drenan a través de venas arterializadas, las cuales forman un cortocircuito de baja resistencia y alto flujo ⁽¹²⁾. El 85 % de las MAV tienen una localización supratentorial ⁽¹³⁾, se originan en el periodo prenatal y se asocian a aneurismas hasta en un 30 % de los casos ⁽¹⁴⁾.

Otras malformaciones cerebrovasculares incluyen la angiopatía cerebral proliferativa ⁽¹⁵⁾, las fístulas arteriovenosas, las malformaciones cavernosas y las telangiectasias ⁽¹⁶⁾. El estudio de elección para la evaluación de las MAV cerebrales es la angiografía; sin embargo, la angiotomografía craneal (angio-TC) suele ser más accesible, menos invasiva y con riesgo menor de complicaciones asociadas al procedimiento ⁽¹⁷⁾.

La angio-TC presenta una sensibilidad del 98 % y una especificidad cercana al 100 % ⁽¹⁸⁾ en el diagnóstico de aneurismas. Además, presenta una sensibilidad del 90 % en la detección de malformaciones arteriovenosas, con menor sensibilidad en lesiones <1 cm y mayor en las que superan los 3 cm. Por otro lado, presenta una sensibilidad del 88 % para fístulas arteriovenosas y una especificidad del 100 %. Sin embargo, carece de resolución temporal de la dinámica de flujo ⁽¹⁹⁾. Las altas sensibilidad y especificidad en la adecuada caracterización de las estructuras anatómicas vasculares facilitan la correcta planificación del tratamiento de las malformaciones cerebrovasculares y sus complicaciones asociadas ⁽²⁰⁾.

El objetivo de este estudio fue identificar la prevalencia de variantes anatómicas del polígono de Willis y su asociación con alteraciones vasculares estructurales mediante un estudio de angiografía por tomografía computarizada cerebral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y población de estudio

Se realizó un estudio descriptivo, retrospectivo y transversal en un hospital de tercer nivel del Instituto Mexicano del Seguro Social en Puebla, México, en población mexicana. Se incluyeron los expedientes de pacientes de cualquier edad, de ambos sexos, que contaran con expediente clínico completo, incluyendo estudio de angio-TC concluyente. Se excluyeron los que no completaron el estudio de angio-TC. Todos los estudios fueron interpretados por un médico especialista en imagenología y experto en neuroimagen. Se eliminaron aquellos que no completaron alguno de los datos requeridos.

Variables y mediciones

Para la visualización de los estudios, se utilizó el programa PACS (*Picture Archiving and Communication System*). Se registraron las características clínicas y sociodemográficas de los pacientes,

así como las variantes anatómicas del polígono de Willis, la presencia de aneurismas o MAV y el resto de las variables.

Análisis estadístico

Se empleó estadística descriptiva, además del coeficiente de correlación Phi. Se consideró significativo un valor p de 0,05 o menor.

Consideraciones éticas

Este estudio fue aprobado por el Comité de Investigación en Salud 2101 del Instituto Mexicano del Seguro Social R-2023-2101-093, con fecha 5 de septiembre del 2023. Todos los datos personales fueron tratados con la máxima confidencialidad y exclusivamente con fines de investigación.

RESULTADOS

Se revisaron 111 expedientes, de los cuales 97 cumplieron los criterios de selección. La edad media de los pacientes fue de 50,19 años (desviación típica: $\pm 17,20$; edad mínima: 11; edad máxima: 79), 65 (67 %) eran mujeres y 32 (33 %), hombres.

En cuanto a las comorbilidades, 67 pacientes (69 %) presentaron al menos una comorbilidad, mientras que 14 (14,4 %), más de una. De este total, 43 (64,18 %) tuvieron hipertensión arterial sistémica; 13 (19,4 %), epilepsia, y 10 (15 %), diabetes tipo 2. Otras comorbilidades incluyeron lupus eritematoso sistémico, cirrosis, migraña, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y la presencia de tumores (12 pacientes, 12,4 % cada uno).

Las indicaciones más frecuentes para los estudios de angio-TC fueron sospecha de aneurismas en 36 pacientes (37,1 %), hemorragia intraparenquimatosa en 16 (16,5 %), hemorragia subaracnoidea en 14 (14,3 %), MAV en 10 (10,3 %) (Figura 1), epilepsia en 2 (2,1 %) y otras causas que incluyen patologías predominantemente de origen tumoral, como hemangiomas, glomus, angiosclerosis, etc. Cuatro pacientes (4,4 %) presentaron MAV, mientras que dos (2,1 %), epilepsia. Otras causas incluyeron patologías predominantemente de origen tumoral, como hemangiomas, glomus y angiosclerosis, entre otras.

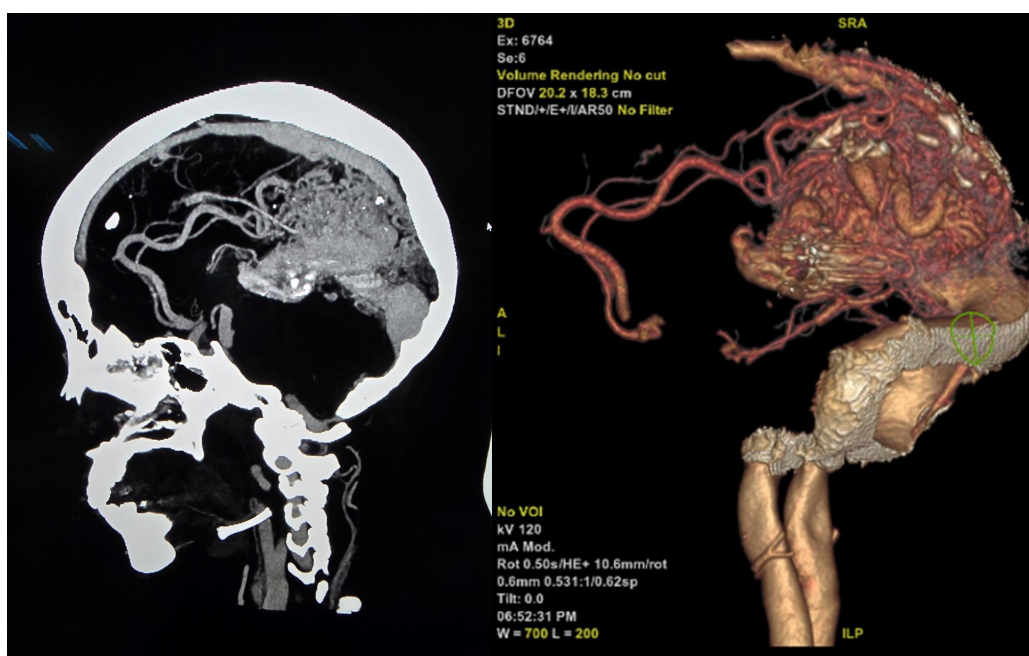


Figura 1. Angiotomografía cerebral con reconstrucción sagital y proyección de intensidad máxima que muestra una malformación arteriovenosa

Se identificaron variantes anatómicas de la circulación intracraneal en 40 (41,2 %) pacientes como hallazgo positivo. Se reportaron compromiso único del complejo de circulación anterior (25 pacientes, 25,8 %), coexistencia de circulación anterior y posterior (5, 5,2 %), compromiso único de circulación posterior (9, 9,3 %) y arteria trigémina persistente (1, 1,03 %). La variante vascular más frecuente fue la hipoplasia en 25 (62,51 %) casos (de una o dos arterias de la circulación anterior o posterior).

En seis (14 %) casos se reportaron dos variantes (asociación entre hipoplasia del segmento A1 con circulación fetal persistente en hasta cuatro [10 %] pacientes). La circulación fetal persistente fue la segunda variante más frecuente, presentándose en 14 (35 %) casos (Figura 2). Se identificó un caso (2,5 %) de anastomosis carótido-basilar (CBA) (Tabla 1).

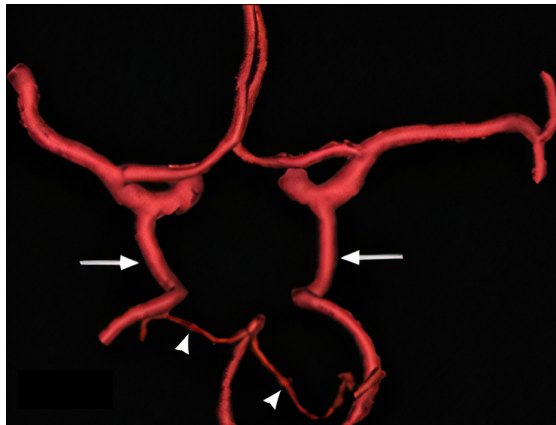


Figura 2. Reconstrucción 3D de angio-TAC que muestra origen fetal de la arteria comunicante posterior

Tabla 1. Variaciones anatómicas según su localización

ACA	Número de casos (N = 40) (%)
Hipoplasia del segmento A1	14 (14,42)
Triple A2	1 (1,03)
Duplicación del segmento A1	1 (1,03)
ACoA	
Morfología en X	2 (2,0)
Hipoplasia	1 (1,03)
Morfología en forma de V	1 (1,03)
Fenestración	1 (1,03)
ACoP	
Hipoplasia	10 (10,30)
ACP	
Circulación fetal persistente	14 (14,42)
Arteria trigémina persistente	1 (1,03)

ACA: arteria cerebral anterior, ACoA: arteria comunicante anterior, ACoP: arteria comunicante posterior, ACP: arteria cerebral posterior.

Las anomalías vasculares estructurales estaban presentes en 63 (64,9 %) pacientes (Tabla 2).

Tabla 2. Anomalías cerebrovasculares

Cambio vascular estructural	Casos y prevalencia (N = 97) (%)
Aneurismas	44 (45,30)
MAV	13 (13,40)
Otro	6 (6,20)

MAV: malformaciones arteriovenosas.

En 37 de los 44 pacientes con aneurismas, únicamente se documentó una sacularización, mientras que los siete restantes exhibieron dos o más con un total de 54 identificadas (Figura 3).

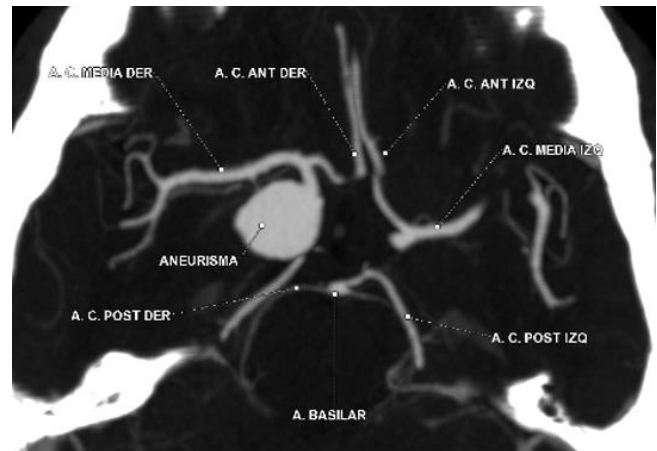


Figura 3. Imagen con proyección de intensidad máxima que muestra la presencia de un aneurisma sacular en el C5 derecho, además de persistencia de la circulación fetal

De estos, 33 (61,1 %) ocurrieron en la arteria carótida interna; 11 (20,3 %), en la arteria cerebral media; 6 (11,1 %), en la ACA, y 4 (7,4 %), en la ACoA. La ubicación más frecuente fue en el segmento comunicante (C7) de la arteria carótida interna (31 %), seguido del segmento oftálmico (C6) (16 %) y 11 % en el segmento horizontal de la arteria cerebral media.

La correlación entre la presencia de variantes anatómicas del polígono de Willis y la de malformaciones cerebrovasculares mostró un coeficiente Phi de -0,05, con $p = 0,095$.

DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo documentar las variantes anatómicas más prevalentes del polígono de Willis, ya que a pesar de la ausencia de implicaciones clínicas para muchos individuos, un subconjunto puede presentar anomalías como aneurismas, oclusiones vasculares, estenosis y otras ⁽²¹⁾. En la práctica quirúrgica también es importante tener conocimiento de las variantes anatómicas, pues ello evita confusiones con otros procesos patológicos y permite la planificación quirúrgica, en caso de ser realizada ⁽²²⁾.

Se han identificado variantes anatómicas en hasta el 60 % de los casos, algunas de las cuales tienen relevancia clínica en relación con una mayor incidencia de aneurismas y malformaciones, eventos oclusivos y planificación quirúrgica ⁽²³⁾.

La variante más prevalente observada en este estudio fueron los vasos hipoplásicos, representando el 55 % de los casos. Este hallazgo es similar a otra serie en pacientes peruanos, en quienes se reportó una prevalencia de hasta 66,45 % ⁽²⁴⁾.

Reportes en series poblacionales de pacientes asiáticos y centroamericanos muestran hallazgos incidentales de variaciones del polígono de Willis, revelando que la ACoP se encuentra involucrada con mayor frecuencia ^(25,26). Por su parte, en la población colombiana se le adjudica a la ACoP la mayor prevalencia de compromiso, y como variante anatómica más común, a la hipoplasia ⁽²⁶⁾.

La circulación anterior fue la más comprometida en este estudio, y el segmento A1 fue el más afectado por la hipoplasia. La segunda variante más frecuente fue la arteria cerebral posterior fetal; estos resultados son similares a los reportados en cerebros cadavéricos ⁽²⁷⁾.

Los AI fueron el hallazgo más frecuente en los estudios de angio-TC cerebral, con un 45,3 % de pacientes que presentaron algún tipo de aneurisma, y de estos, solo el 36 % presentó algún tipo de variante anatómica de la circulación intracraneal. Los AI se han asociado con la hipoplasia cerebral ⁽²⁸⁾.

El sitio más prevalente de presentación del aneurisma fue la arteria carótida interna, observándose una mayor proporción en su segmento C7. Esto podría estar asociado a un mayor estrés hemodinámico, por ser un sitio que presenta bifurcación según los criterios de Rhoton ⁽²⁹⁾. La segunda alteración vascular más prevalente fue la MAV, la cual se presentó en 13 casos (13,4 %), hallazgo que concuerda con la literatura existente ⁽³⁰⁾.

Otras malformaciones vasculares incluyeron drenajes anómalos, dilataciones venosas, angioma cavernoso y fístula carótido-cavernosa, que registraron, en conjunto, 6,1 % (seis casos). Cabe destacar que algunas muestras reportadas internacionalmente son de cadáveres, mientras que este trabajo fue realizado en pacientes vivos. Esta diferencia podría representar una limitación del estudio.

La baja prevalencia de las variantes anatómicas vasculares estudiadas en este reporte, así como la heterogeneidad de las características clínicas observadas, podrían explicar la limitada significancia estadística obtenida, lo cual restringe la posibilidad de detectar asociaciones claras. Otros factores que podrían contribuir a este resultado son la complejidad fisiopatológica de estas entidades clínicas y, paradójicamente, el hecho de que muchas de ellas se identifican como hallazgos incidentales. Una muestra de mayor tamaño podría permitir evidenciar correlaciones más sólidas y estadísticamente significativas.

En conclusión, las pacientes de sexo femenino presentaron con mayor frecuencia patología intracraneal. Los aneurismas fueron la indicación más común para la realización de estudios de angio-TC. La configuración anatómica habitual del polígono de Willis se identificó en aproximadamente el 59 % de los casos, y la variante de normalidad más frecuente fue la hipoplasia de una o varias de sus estructuras vasculares. Ambos hallazgos son consistentes con lo reportado en la literatura internacional.

Los elementos de la circulación anterior presentaron las variantes anatómicas de normalidad más frecuentes. En México, hasta el momento, no se han reportado estudios que identifiquen una asociación entre las variantes del polígono de Willis, las condiciones clínicas analizadas y alteraciones vasculares estructurales. Por ello, se requieren investigaciones futuras con un mayor número de pacientes, las cuales permitan corroborar y fortalecer los hallazgos obtenidos.

Contribución de autoría: BRNR y RVMF contribuyeron con la concepción y diseño del artículo, la recolección de resultados, el análisis y la interpretación de datos, la redacción del artículo, su revisión crítica, la aprobación de la versión final y las asesorías estadística, técnico-administrativa y metodológica. RHL, PSME y MJAJ aportaron con la redacción del artículo, su revisión crítica, la asesoría metodológica y la aprobación de la versión final. PFD, con la redacción del artículo, su revisión crítica y la aprobación de la versión final.

Fuentes de financiamiento: Los autores financiaron este artículo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jones JD, Castanho P, Bazira P, Sanders K. Anatomical variations of the circle of Willis and their prevalence, with a focus on the posterior communicating artery: a literature review and meta-analysis. Clin Anat [Internet]. 2021;34(7):978-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ca.23662>
2. Enyedi M, Scheau C, Baz RO, Didilescu AC. Circle of Willis: anatomical variations of configuration. A magnetic resonance angiography study. Folia Morphol (Warsz) [Internet]. 2023;82(1):24-9. Disponible en: <https://doi.org/10.5603/FM.a2021.0134>
3. Quijano Y, García D. Variantes anatómicas del círculo arterial cerebral en un anfiteatro universitario en Bogotá (Colombia). Rev Cienc Salud [Internet]. 2020;18(3):1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.9688>
4. Del Brutto OH, Recalde BY, Mera RM. Variants of the circle of Willis as seen on magnetic resonance angiography and carotid siphon calcifications in community-dwelling older adults. Neuroradiol J [Internet]. 2022;35(3):300-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/19714009211042890>
5. Pascalau R, Padurean VA, Bartos D, Bartos A, Szabo BA. The geometry of the circle of Willis anatomical variants as a potential cerebrovascular risk factor. Turk Neurosurg [Internet]. 2019;29(2):151-8. Disponible en: <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.21835-17.3>
6. Vega J, Trillo S, Caniego JL. Neuroimagen en el ictus en fase aguda. In: Trillo S, editor. Manual de neurología crítica para neurólogos [Internet]. Madrid: Ediciones SEN; 2023. p. 199-212. Disponible en: https://www.sen.es/pdf/2023/MANUAL_NEUROLOGIA_CRITICA.pdf

7. Hindenes LB, Ingebrigtsen T, Isaksen JG, Håberg AK, Johnsen LH, Herder M, et al. Anatomical variations in the circle of Willis are associated with increased odds of intracranial aneurysms: the Tromsø study. *J Neurol Sci* [Internet]. 2023;452:120740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2023.120740>
8. Lin E, Kamel H, Gupta A, RoyChoudhury A, Girgis P, Glodzik L. Incomplete circle of Willis variants and stroke outcome. *Eur J Radiol* [Internet]. 2022;153:110383. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110383>
9. Şahin H, Pekçevik Y. Anatomical variations of the circle of Willis: evaluation with CT angiography. *Anatomy* [Internet]. 2018;12(1):20-6. Disponible en: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/482887>
10. Rahmani R, Baranowski JF, Albuquerque FC, Lawton MT, Hashimoto T. Intracranial aneurysm calcification – a narrative review. *Exp Neurol* [Internet]. 2022;353:114052. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2022.114052>
11. Johnsen LH, Herder M, Vangberg T, Kloster R, Ingebrigtsen T, Isaksen JG, et al. Prevalence of unruptured intracranial aneurysms: impact of different definitions – the Tromsø Study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [Internet]. 2022;93(8):902-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/jnnp-2022-329270>
12. Pelayo-Salazar ME, Montenegro-Rosales HA, Balderrama-Bañares JL, Martínez-Arellano P, Campos-Flota OA, Mestre-Orozco L, et al. Clinical and anatomic description of patients with arteriovenous malformation treated with endovascular therapy in a Mexican population. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg* [Internet]. 2023;25(1):36-49. Disponible en: <https://doi.org/10.7461/jcen.2023.E2022.06.003>
13. Gross BA, Du R. Diagnosis and treatment of vascular malformations of the brain. *Curr Treat Options Neurol* [Internet]. 2014;16(1):279. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11940-013-0279-9>
14. Biondi A. Intracranial aneurysms associated with other lesions, disorders or anatomic variations. *Neuroimaging Clin N Am* [Internet]. 2006;16(3):467-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nic.2006.05.004>
15. Lakhani DA, Boo S. Diffuse cerebral proliferative angiopathy. *Radiology* [Internet]. 2023;308(2):e230058. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/radiol.230058>
16. Larson AS, Flemming KD, Lanzino G, Brinjikji W. Brain capillary telangiectasias: from normal variants to disease. *Acta Neurochir (Wien)* [Internet]. 2020;162(5):1101-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04271-3>
17. American College of Radiology. ACR-NASCI-SIR-SPR practice parameter for the performance and interpretation of body computed tomography angiography (CTA) [Internet]. Reston (VA): American College of Radiology; 2021. Disponible en: <https://gravitas.acr.org/PPTS/GetDocumentView?docId=164>
18. Zerega M, Müller K, Rivera R, Bravo S, Cruz JP. Hemorragia subaracnoidea no traumática con angiografía por tomografía computada inicial “negativa”. *Rev Chil Radiol* [Internet]. 2018;24(3):94-104. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082018000300094>
19. Besada C, Ulla M, Levy E, García R. Tomografía computada multislice: aplicaciones en SNC y cabeza & cuello. ¿Cómo, cuándo, por qué y para qué? *Rev Argent Radiol* [Internet]. 2009;73(2):153-60. Disponible en: <https://www.scielo.org.ar/pdf/rar/v73n2/v73n2a03.pdf>
20. da Silva PB, da Silva HFM, Coelho VG, Melo ML, Nascimento CAL, Fernandes PG, et al. Diagnóstico por imagem do aneurisma de artéria cerebral: uma revisão integrativa. *Revista Foco* [Internet]. 2023;16(11):e3740. Disponible en: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n11-198>
21. Rodríguez KP, Peñalver CL, Benítez AM, Rossi MI, Herraiz L, Martínez De Vega V. Variantes anatómicas en la planificación de la cirugía endoscópica endonasal transesfenoidal [comunicación]. En: 34.º Congreso Nacional de la SERAM; 2018 may 24-27; Pamplona, España. *Radiología*. 2018;60(Supl Cong):1290. Disponible en: <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/8371/6837>
22. Spina JC. Variantes anatómicas: la importancia de su reconocimiento y reporte en nuestros informes. *Rev Argent Radiol* [Internet]. 2022;86(4):225-6. Disponible en: <https://doi.org/10.24875/RAR.M22000038>
23. Expert Panel on Neurological Imaging, Ledbetter LN, Burns J, Shih RY, Ajam AA, Brown MD, et al. ACR appropriateness criteria® cerebrovascular diseases – aneurysm, vascular malformation, and subarachnoid hemorrhage. *J Am Coll Radiol* [Internet]. 2021;18(11S):S283-304. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2021.08.012>
24. Rivas D, Huertas MA, Rodríguez H. Variantes anatómicas del polígono de Willis estudio de 307 casos. *Rev Per Neurol* [Internet]. 2000;6(3):46-9. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BvRevistas/neurologia/v06_n3/variantes.htm
25. Kabakcı A, Bozkır G. Anatomical variations and clinical significance of the cerebral arterial circle in Turkish cadavers. *Int J Morphol* [Internet]. 2023;41(4):1095-100. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022023000401095>
26. Plaza O, Torres E, Tapia M. Prevalence of anatomical variants of the Willis polygon in cadavers undergoing medico-legal necropsy. *Int J Med Surg Sci* [Internet]. 2022;9(1):1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.32457/ijmss.v9i1.1806>
27. Martínez F, Spagnuolo E, Calvo-Rubal A, Laza S, Sgarbi N, Soria V, et al. Variaciones del sector anterior del polígono de Willis. Correlación anatomo-angiográfica y su implicancia en la cirugía de aneurismas intracraneales (Arterias: árgos cerebral anterior, mediana del cuerpo calloso y cerebral media accesoria). *Neurocirugía* [Internet]. 2004;15(6):578-88. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1130-1473\(04\)70449-2](https://doi.org/10.1016/S1130-1473(04)70449-2)
28. Zamora-Chavarría A, Herrera-Guerra C, Quesada F, Ballesteros D. Variantes anatómicas del segmento anterior del polígono de Willis: relación con aneurismas cerebrales. *Rev Méd Sinerg* [Internet]. 2023;8(6):e1063. Disponible en: <https://doi.org/10.31434/rms.v8i6.1063>
29. Poblete T, Soto M, Casanova D, Rojas X. Descripción de la técnica de Rhoton modificada para la preparación de encéfalos en cadáveres y su práctica en el adiestramiento neuroquirúrgico en Chile. *Rev Chil Neurocirugía* [Internet]. 2020;46(1):8-14. Disponible en: <https://doi.org/10.36593/rev.chil.neurocir.v46i1.180>

30. Machasio RM, Nyabanda R, Mutala TM. Proportion of variant anatomy of the circle of Willis and association with vascular anomalies on cerebral CT angiography. Radiol Res Pract [Internet]. 2019;2019:6380801. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/6380801>