



BUAP

Facultad de Medicina

Unidad Médica de Alta Especialidad

Hospital de Especialidades de Puebla

Centro Médico Nacional

“Gral. de Div. Manuel Ávila Camacho”

Instituto Mexicano del Seguro Social

**“PREVALENCIA DE LAS VARIANTES ANATÓMICAS DEL CÍRCULO DE
WILLIS Y SU ASOCIACIÓN CON LA PRESENCIA DE ALTERACIONES
VASCULARES ESTRUCTURALES INTRACRANEANAS EN PACIENTES
CON ESTUDIO DE ANGIOTOMOGRAFÍA DE CRÁNEO EN HEP DE
DICIEMBRE 2021 A AGOSTO 2023”**

Tesis para obtener el título de Especialidad de:

IMAGENOLOGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA

Presenta:

Dra. Leticia Ramos Hernández

Directores:

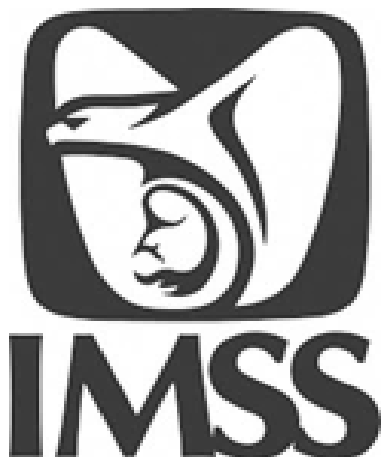
Dra. Nuria Melisa García Alarcón

Dr. Mallyolo Eliezer Pelayo Salazar

Dra. Nancy Rosalía Bertado Ramírez

N° de registro: R-2023-2101-093

H. Puebla de Z. Noviembre 2023





INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS



Dictamen de Aprobado

Comité de Ética en Investigación 21018
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CENTRO MEDICO NACIONAL GRAL. DIV. MANUEL AVILA CAMACHO

Registro COFEPRIS 17 CI 21 114 056
Registro CONBIOÉTICA CONBIOÉTICA 21 CEI 002 2018073

FECHA Martes, 05 de septiembre de 2023

Doctor (a) **NANCY ROSALIA BERTADO RAMIREZ**

P R E S E N T E

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **PREVALENCIA DE LAS VARIANTES ANATÓMICAS DEL CÍRCULO DE WILLIS Y SU ASOCIACIÓN CON LA PRESENCIA DE ALTERACIONES VASCULARES ESTRUCTURALES INTRACRANEANAS EN PACIENTES CON ESTUDIO DE ANGIOTOMOGRAFÍA DE CRÁNEO EN HEP DE DICIEMBRE 2021 A AGOSTO 2023** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **A P R O B A D O**:

Número de Registro Institucional
Sin número de registro

De acuerdo a la normativa vigente, deberá presentar en junio de cada año un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo a su cargo. Este dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de ser necesario, requerirá solicitar la reaprobación del Comité de Ética en Investigación, al término de la vigencia del mismo.

ATENTAMENTE


Maestro (a) Georgina Guadalupe Quiroz Bayardo
Presidente del Comité de Ética en Investigación No. 21018

Impreso

IMSS

SEGURIDAD Y SALUD SOCIAL



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS



Dictamen de Aprobado

Comité Local de Investigación en Salud 2101
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CENTRO MEDICO NACIONAL GRAL. DIV. MANUEL AVILA CAMACHO

Registro COFEPRIS 17 CI 21 114 055
Registro CONBIOÉTICA CONBIOÉTICA 21 CEI 002 2018073

FECHA Martes, 05 de septiembre de 2023

Doctor (a) **NANCY ROSALIA BERTADO RAMIREZ**

PRESENTE

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **PREVALENCIA DE LAS VARIANTES ANATÓMICAS DEL CÍRCULO DE WILLIS Y SU ASOCIACIÓN CON LA PRESENCIA DE ALTERACIONES VASCULARES ESTRUCTURALES INTRACRANEANAS EN PACIENTES CON ESTUDIO DE ANGIOTOMOGRAFÍA DE CRÁNEO EN HEP DE DICIEMBRE 2021 A AGOSTO 2023** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **A P R O B A D O**:

Número de Registro Institucional
R-2023-2101-093

De acuerdo a la normativa vigente, deberá presentar en junio de cada año un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo a su cargo. Este dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de ser necesario, requerirá solicitar la reaprobación del Comité de Ética en Investigación, al término de la vigencia del mismo.

ATENTAMENTE

Doctor (a) **JOSE ALVARO PARRA SALAZAR**
Presidente del Comité Local de Investigación en Salud No. 2101

Imprimir

IMSS

SEGURO SOCIAL



GOBIERNO DE
MÉXICO

DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS
UNIDAD DE ATENCIÓN MÉDICA
COORDINACIÓN DE UNIDADES MÉDICAS DE
ALTA ESPECIALIDAD



CENTRO MÉDICO NACIONAL
"GRAL. DE DIV. MANUEL ÁVILA CAMACHO"
UNIDAD MÉDICA DE ALTA ESPECIALIDAD
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DE PUEBLA
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN EN SALUD

PUEBLA, PUE., A 1 de Noviembre 2023

AUTORIZACION DE IMPRESIÓN DE TESIS DE ESPECIALIDAD

LOS ASESORES:

Dra. Nancy Rosalva Bertado Ramirez
Dra. Nidia Melisa Garcia Alarcón
Dr. Mallyolo Eliezer Pelayo Salazar

DE LA TESIS TITULADA: Prevalencia de los variantes anatomicos del circulo de Willis y su asociación con la presencia de alteraciones vasculares estructurales intra-cranearias en pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo en HEP de Diciembre 2021 a Agosto 2023

REALIZADA POR EL MÉDICO RESIDENTE: Leticia Ramos Hernandez

DE LA ESPECIALIDAD: Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

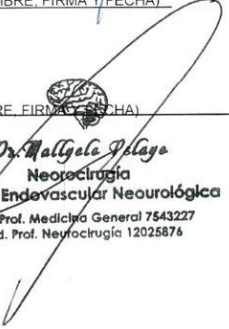
HACEMOS CONSTAR QUE ESTE TRABAJO CIENTIFICO HA SIDO REVISADO Y AUTORIZADO EN EL SIRELCIS

CON NÚMERO DE REGISTRO NACIONAL: R-2023-2101-093

AUTORIZAMOS SU IMPRESIÓN


Dra. Nidia Melisa Garcia Alarcón

(NOMBRE, FIRMA Y FECHA)


Dr. Mallyolo Eliezer Pelayo Salazar
Neurocirugía
Terapia Endovascular Neurológica
Ced. Prof. Medicina General 7543227
Ced. Prof. Neurocirugía 12025876

(NOMBRE, FIRMA Y FECHA)


Dra. Nancy Rosalva Bertado Ramirez
Enc. División de Educación en Salud
UMAE HOSPITAL DE ESPECIALIDADES
DE PUEBLA
IMSS Mat. 98383216



GOBIERNO DE
MÉXICO

CARTA COMPROMISO

Puebla, Puebla, a 1 de Noviembre de 2023.

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
PRESENTE

El (la) suscrito (a) Leticia Ramos Hernández, en mi calidad de estudiante y habiendo sido beneficiario de la especialización médica/maestría/doctorado en Imagendegía Diagnóstico y Terapéutica, de fecha 2020 - 2024 manifiesto bajo protesta de decir verdad que soy autor del trabajo de Tesis titulado Prevalencia de las variantes anatómicas del Círculo de Willis y su asociación con la presencia de alteraciones vasculares estructurales intracraneanas en pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo en HEP de Diciembre 2021 a Agosto 2023, el cual ha sido asesorado por el (los) doctor (es) Dra. Nancy Rosalva Bertado Ramirez, Dra. Nuria Melissa García Alarcon y Dr. Malyob Elezer Pelayo Salazar en las instalaciones del Instituto Mexicano del Seguro Social. Por tanto, para fines de divulgación y publicación sobre la metodología, resultados y/o otra información desarrollada durante el proyecto, reconozco que deberé contar con la autorización escrita de todos los autores.

Asimismo, manifiesto que en caso de que el presente trabajo implique derechos de propiedad industrial e intelectual como resultado de su desarrollo, tomando en consideración que será producto de una investigación practicada en las instalaciones del Instituto y con pacientes, equipos, materiales y diversos instrumentos de su propiedad, se reconoce como legítimo propietario de dicha novedad al Instituto Mexicano del Seguro Social; en donde el suscrito participa en colaboración con mi (los) asesor (es), por lo que mi colaboración y derechos estará sujeta al porcentaje de autoría que corresponda a mi participación en relación con los demás autores en colaboración.

Atentamente

Leticia Ramos Hernández 
Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por tu amor y tus bendiciones, por haber contado con el apoyo y el amor de mis padres, porque su ejemplo es luz que ha guiado mi vida.

Este trabajo que representa la culminación de este largo camino va dedicado a mi hermoso hijo porque a pesar de la distancia, su amor y el entusiasmo por volver a estar juntos siempre fueron motivación para seguir adelante.

A mi esposo por demostrarme su amor cada día a través de su apoyo incondicional, por motivarme a mi crecimiento personal y ser el pilar de nuestra familia.

A mis asesores por darme la oportunidad de trabajar con ustedes, por su paciencia, tiempo y apoyo incondicional.

A todas mis maestras y maestros de la residencia porque cada uno dejó huella en mi aprendizaje.

Y a mis queridos amigos ahora médicos especialistas, con quienes inicié este camino, en especial a aquellos en quienes siempre encontré ese apoyo incondicional.

A todos ustedes, gracias.

RESUMEN

“PREVALENCIA DE LAS VARIANTES ANATÓMICAS DEL CÍRCULO DE WILLIS Y SU ASOCIACIÓN CON LA PRESENCIA DE ALTERACIONES VASCULARES ESTRUCTURALES INTRACRANEANAS EN PACIENTES CON ESTUDIO DE ANGIOTOMOGRAFÍA DE CRÁNEO EN HEP DE DICIEMBRE 2021 A AGOSTO 2023”

Autores: Ramos Hernández Leticia¹, García Alarcón Nuria Melisa², Pelayo Salazar Mallyolo Eliezer³, Bertado Ramírez Nancy Rosalía⁴

Afiliación:

- 1.- Residente de cuarto año de imagenología diagnóstica y terapéutica del Hospital de Especialidades Puebla.
- 2.- Médico radiólogo con alta especialidad en oncología adscrita al Hospital de Especialidades Puebla.
- 3.- Médico neurocirujano con subespecialidad en terapia endovascular adscrito al Hospital de Especialidades Puebla.
- 4.- Médico neurólogo adscrita al Hospital de Especialidades Puebla.

Correspondencia: ythell25@live.com.mx

Introducción.

Existe una amplia variación en la configuración anatómica del círculo de Willis entre los diferentes individuos. Las alteraciones vasculares estructurales que incluyen principalmente a los aneurismas, las malformaciones arterio – venosas entre otras malformaciones componen un grupo heterogéneo de patologías que pueden estar asociadas a la presencia de variantes anatómicas de la circulación cerebral. Dichas variaciones anatómicas pueden tener repercusión en la planeación y la evolución posterior al tratamiento de las alteraciones vasculares estructurales, por lo que es importante realizar una descripción de estas variantes y anomalías. En nuestro medio la angiotomografía de cráneo resulta ser un método de estudio de fácil

acceso y poco invasivo, con una alta sensibilidad para la valoración de ambos hallazgos.

Material y Métodos: Este es un estudio descriptivo, retrospectivo y transversal, de pacientes enviados a estudio de angiotomografía de cráneo en Centro médico nacional “General De División Manuel Ávila Camacho”, evaluando datos desde diciembre de 2021 a agosto 2023, donde se analizaron imágenes de angiotomografía reformateadas en 3D y proyección de máxima intensidad para determinar la configuración anatómica del círculo de Willis y la presencia de alteraciones vasculares estructurales.

Resultados:

La muestra incluyo 97 pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo, entre estos existió una predominancia del sexo femenino, la edad promedio fue de 50 años y la principal indicación para el estudio de fueron los aneurismas, los cuales se encontraron en el 45.3% de los pacientes.

El 41% mostro la presencia de una variante anatómica del círculo de Willis, siendo el sector anterior el más afectado y la hipoplasia la variante más frecuente.

La alteración vascular estructural más frecuente fueron los aneurismas, no se encontró una relación estadística entre la presencia de alteraciones vasculares estructurales y variantes anatómicas.

Conclusión:

La prevalencia de las variantes anatómicas fue del 41%, y de entre estas la de mayor frecuencia fue la hipoplasia, hallazgos que coinciden con la bibliografía.

A diferencia de otras investigaciones, no se encontró una relación estadística entre la presencia de variantes anatómicas alteraciones vasculares estructurales.

Se necesitan estudios posteriores que incluyan un mayor número de pacientes en nuestro país ya que no contamos con un estudio previo que corroboren los resultados obtenidos en este estudio.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	10
1.2 ANTECEDENTES ESPECIFICOS	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	33
3. JUSTIFICACIÓN.....	35
4. MATERIAL Y MÉTODOS	36
5. RESULTADOS	40
6. DISCUSIÓN.....	48
7. CONCLUSIONES	50
8. BIBLIOGRAFÍA.....	51
9. ANEXOS.....	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Anatomía

El cerebro es un órgano altamente vascularizado, que recibe el 15% del gasto cardiaco consumiendo aproximadamente el 25% de oxígeno de la producción corporal (1).

Secundario a esta alta demanda de flujo existe una red arterial anastomótica cuya función principal es proteger al encéfalo de la isquemia. Esta red es suministrada por una circulación anterior que proviene de la arteria carótida interna y una posterior que es suministrada por el sistema vertebro basilar, a este conjunto se le denomina círculo arterial de Willis anteriormente conocido como polígono de Willis (1).

Esta red arterial fue descrita por primera vez por Thomas Willis y sus colaboradores en su obra *Cerebri Anatome* en el año de 1664 y sería Albrecht Von Haller quien utilizaría el termino círculo de Willis por primera vez en la enciclopedia Biblioteca Anatómica en 1774-1777 (2).

El círculo de Willis está dividido clínicamente en dos complejos arteriales uno anterior y otro posterior; el anterior tiene su origen en la arteria carótida interna (ACI) de donde surgen la arteria comunicante posterior (ACoP), a través de las cuales el complejo anterior se comunica con la circulación posterior, y la arteria cerebral anterior (ACA), la cual se anastomosa con la contralateral a través de la arteria comunicante anterior (ACoA), formando así el circuito anterior (3).

De la ACI surge otra rama importante que da origen a la arteria cerebral media (ACM) que conformaría sistema vascular medio, sin embargo, esta no forma parte del círculo arterial de Willis (3).

La circulación posterior tiene su origen en el complejo vertebrobasilar, la arteria vertebral (AV) al ingresar al espacio intracraneal por el agujero magno se

anastomosa en la línea media con la contralateral, y tienen un curso rostral al tronco cerebral formando la arteria basilar (AB), de la cual en su extremo distal surgirán dos ramas que conformarán cada una a la arteria cerebral posterior (ACP), conformando así la circulación posterior (3).

Por lo tanto, el círculo de Willis estará conformado por 10 componentes: 2 ACI, los segmentos A1 de ambas ACA's, la ACoA, 2 ACoP's, la AB, y los segmentos P1 de ambas ACP's (3). Esta configuración clásica, la cual se muestra en la figura 1, únicamente se encuentra presente en aproximadamente el 30 a 50% de la población (4). El resto presentaran variantes anatómicas.

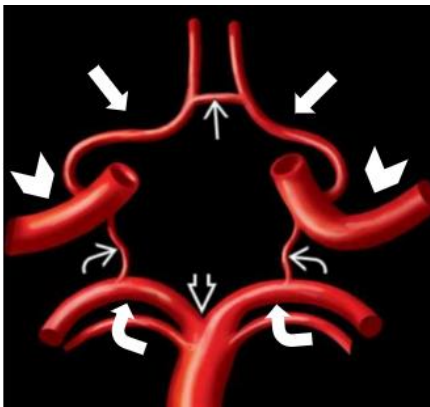


Figura 1 modificada por autoría propia y extraída de: Osborn AG, Hedlund GL, Salzman KL. Osborn's brain: imaging, pathology, and anatomy. 2nd ed. Elsevier, editor. Philadelphia, Pa; 2018. Donde la flecha recta delgada señala la ACoA, flechas rectas gruesas señalan las ACA's, cabeza de flecha las ACI's, flechas curvas delgadas las ACoP's, flechas curvas gruesas las ACP's y flecha hueca la AB.

Circulación anterior

La ACI se origina en la bifurcación de la arteria carótida común (ACC), a nivel de los cuerpos vertebrales de C4-C6. Se divide anatómicamente en 7 segmentos (5):

Segmento C1 o cervical la cual es una su única porción extracraneal, está dividida en el bulbo y porción cervical ascendente (5).

Segmento C2 o petroso que tiene su curso en el canal carotideo de la porción petrosa del hueso temporal (5).

Segmento C3, lacerum o rasgado la cual transcurre sobre el cartílago que cubre al agujero rasgado (5).

Segmento C4 o cavernoso que discurre en el espacio del seno cavernoso de forma sigmoidea por lo que también recibe el nombre de sifón carotideo (5).

Segmento C5 o clinoideo que se extiende entre los anillos distal y proximal de la duramadre, cercano a la apófisis clinoidea (5).

Segmento C6 u oftálmico que va desde la apófisis clinoidea superior hasta el origen de la ACoP (5).

Y finalmente el segmento C7 o comunicante que inicia en origen de la ACoP hasta la bifurcación de la ACI en ACA y ACM (5).

La ACA tiene un trayecto medial y anterior por encima del quiasma óptico se comunica con la contralateral a través de la ACoA y posteriormente discurre en la cisura interhemisférica, en esta arteria se reconocen 3 segmentos:

Segmento A1 u horizontal que va de la bifurcación de la ACI hasta la ACoA (6).

Segmento A2 o vertical que se extiende de la ACoA hasta el rostrum del cuerpo calloso (6).

Y el segmento A3 o callosal que discurre anterior a la rodilla del cuerpo calloso hasta que se bifurca en sus ramas terminales, la pericallosa y callosomarginal (3).

Circulación posterior.

Las arterias vertebrales tienen su origen en la arteria subclavia en la mayoría de los casos, sin embargo, en algunas ocasiones pueden surgir del cayado aórtico. Esta arteria tiene 4 segmentos denominados de la siguiente manera (7):

Segmento V1 o extraóseo el cual se delimita desde su origen hasta que ingresa al foramen transverso de la sexta vertebra cervical (7).

Segmento V2 o foraminal que discurre a través de los forámenes trasnversos de C6 hasta C2 donde cambia su dirección hacia superior y lateral para entrar nuevamente por el agujero de C1 (7).

Segmento V3 o extraespinal que inicia cuando la arteria sale del agujero vertebral de C1, posteriormente tiene un recorrido posterior y medial a la articulación atlanto-occipital, hace un giro anterosuperior para perforar la dura madre al pasar por el agujero magno (7).

Segmento V4 o intradural que discurre posterior al clivus y anterior al bulbo raquídeo y se une con la contralateral a nivel del surco ponto medular para formar la AB (7).

La ACP tiene su origen en la bifurcación distal de la AB y cursa en sentido posterolateral rodeando el tallo cerebral dirigiéndose hacia el occipucio (7) y también se divide en 4 segmentos según sus relaciones anatómicas:

Segmento P1 o precomunicante que se extiende desde la bifurcación de la arteria basilar hasta la anastomosis con la ACoP (3).

Segmento P2 o ambiens que recorre la cisterna del mismo nombre posterolateralmente al mesencéfalo (3).

Segmento P3 o cuadrigeminal que recorre la cisterna cuadrigeminal y termina cuando la ACP ingresa en la cisura calcarina (3).

Segmento P4 o calcarino que recorre la fisura calcarina (3).

Embriología

En el año de 1948 D.H. Padget publica un trabajo descriptivo sobre el desarrollo de la vascularización cerebral, el cual realizó en la universidad de Carnegie sobre una serie de embriones, formando las bases para entender la configuración final de la circulación cerebral. Esta descripción cronológica que consta de 7 etapas inicia con la aparición de la ACI (8).

La circulación cerebral empieza su desarrollo de forma temprana en el embrión alrededor de la tercera semana de vida intrauterina justo antes de que el corazón comience a latir, mediante un proceso de vasculogénesis y angiogénesis. La vasculogénesis inicia cuando los hemangioblastos se diferencian en angioblastos y posteriormente la angiogénesis ocurre con la formación de vasos nuevos a partir de

vasos preexistentes. A medida que surgen nuevos capilares se reduce la resistencia al flujo, lo que facilita una remodelación inducida propiamente por el flujo de los vasos que irrigan esta área (9).

Inicialmente el prosencéfalo está irrigado por las dos aortas dorsales (AD), que a partir de sus porciones más rostrales darán origen a las ACI, el mesencéfalo y rombencéfalo se desarrolla más tarde con la aparición del sistema vertebro-basilar (8).

El sistema circulatorio cerebral se desarrolla de la formación de los 6 pares de arcos arteriales que se originan a partir del arco branquial primitivo, las cuales posteriormente sufrirán cambios durante el desarrollo (8).

Estos arcos se originan anteriormente del saco aortico para terminar en la AD, los cuales irán retrocediendo en dirección cefalocaudal y cuando el embrión alcanza los 3 mm (24 días), aparecerán las arterias carótidas internas como resultado de la fusión del tercer arco branquial y los segmentos distales de las AD (8).

Una vez que la ACI aparece, Padgett divide el desarrollo vascular en etapas consecutivas según los cambios que surgen durante el periodo embriológico.

Etapas 1: A nivel del ganglio trigémino la ACI tiene una primera división que dará origen a la arteria trigeminal (AT), la cual se prolonga dorsalmente para unirse a la arteria neural posterior (ANP), más cranealmente la ACI tiene una división anterior que dará origen a la ACM, ACA y arteria coroidea anterior (AChA), y una división posterior que se convertirá en la ACoP y posteriormente en la ACP y a la arteria coroidea posterior (AChP) (9).

En la región posterior del rombencéfalo aparecen las dos arterias longitudinales neurales (ANL), las cuales obtienen su riego sanguíneo a partir de anastomosis carotido vertebrobasilares, que constan de la arteria trigeminal (AT), arteria ótica (AO), arteria hipoglosa (AH), y arteria proatlantal (AProA) (9).

Etapas 2: en esta etapa la AB surge a partir de la anastomosis de la ANL, y en su porción distal se unirá la ACoP. Las arterias AT, AO y AH que formaban el complejo

anastomótico carótido – vertebrobasilar desaparecerán. La AProA persiste y se fusiona de forma transversal con el segmento V3 de la AV (9).

Etapa 3: en esta etapa se forma la AV se forma a partir de la fusión transversal de las arterias intersegmentarias cervicales desde la AProA hasta la sexta arteria intersegmentaria (9).

Etapa 4: en la división anterior de la ACI, proximal a la ACA surgen pequeños brotes arteriales que darán suministro a ambos hemisferios (9).

Etapa 5: los plexos se fusionan y forman un vaso prominente que formara la ACM, y de esta surgen ramas que irrigan el hemisferio en crecimiento.

En esta etapa la ACP se desarrolla a partir del extremo caudal de ACoP, durante el desarrollo de los hemisferios se convierte en un vaso prominente (8).

Etapa 6: en esta etapa la configuración final del círculo de Willis es casi reconocible. La ACA continúa creciendo en dirección medial hasta que eventualmente se encuentra con la ACA contralateral y formaran la ACoA (9).

Etapa 7: en esta etapa la ACoP es bastante grande y puede tomar la configuración adulta que se conoce como ACoP fetal, de su extremo distal surge una rama que se anastomosa con la división distal de la AB, formando el segmento P1 de la ACP (9).

1.2 ANTECEDENTES ESPECIFICOS

Las variaciones en la configuración del círculo de Willis son frecuentes, y es importante reconocerlas por su relevancia clínica (10). La presencia de estas variaciones como es el caso de las fenestraciones y duplicaciones predispone al desarrollo de aneurismas. La presencia de oclusión de una arteria ACA ácidos puede provocar isquemia en ambos hemisferios, y pacientes que presentan origen fetal de la arteria cerebral posterior y aterosclerosis en la ACI, tienen mayor predisposición a eventos isquémicos, es por ello que la adecuada identificación de

estas variantes puede contribuir a la planeación de procedimientos y los hallazgos después del mismo (11).

Así mismo diversos estudios anatómicos han evidenciado diversas variaciones en la configuración del círculo de Willis en diferentes grupos de población, donde las variantes principales entre estos son la raza, los antecedentes clínicos y las técnicas de estudio (12).

Estas variantes las podemos clasificar según se puedan presentar en todas las arterias o como variantes específicas (9).

Variantes que afectan a todas las arterias.

Hipoplasia.

La hipoplasia es considerada la variante anatómica más frecuente (9), en un estudio realizado en autopsias de cerebros humanos por S.Iqbal en la India se encontró al menos una prevalencia del 24% de todos los encéfalos estudiados, en este estudio se definió como arteria hipoplásica cuando esta presentaba un diámetro externo menor de 1 mm y se encontraba permeable; exceptuando a las arterias comunicantes, que se consideraron hipoplásicas cuando su diámetro era menor a 0.5 mm, siendo en este estudio la ACP en su segmento P1 la más afectada, seguida de la ACA en su segmento A1 (13).

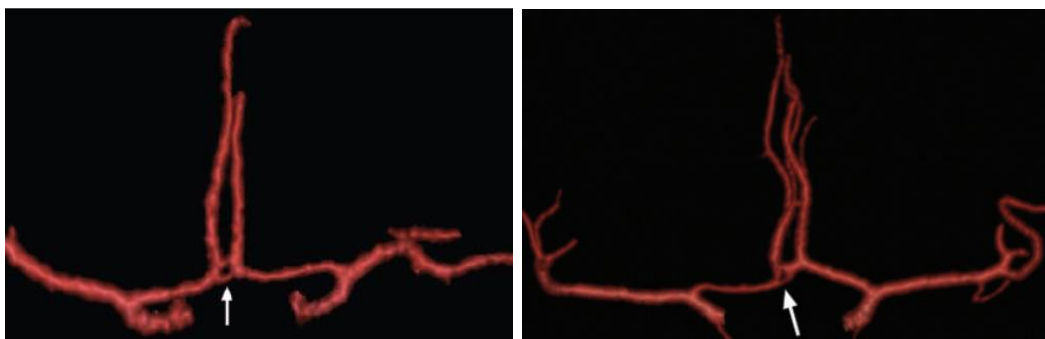
Fenestraciones.

Se define como una división de la luz arterial en canales separados y durante su trayecto se fusionarán, restableciendo el vaso primario, cada luz tiene su propia capa endotelial y muscular, y pueden compartir o no la capa adventicia (figura 2) (9).

Duplicaciones.

En cambio, a la fenestración, la duplicación hace referencia a dos vasos que tienen un origen diferente y sin convergencia en su porción distal (10).

Estas dos últimas siguen en frecuencia a la hipoplasia, como las variantes más frecuentes del círculo de Willis, figuras 2 y 3 (9).



Figuras 2 (izquierda) y 3 (derecha) extraídas de Dimmick SJ, Faulder KC. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. Vol. 29, Radiographics. 2009. p. 1027–43., donde la primera señala una duplicación y la segunda una fenestración de ACoA respectivamente.

Variantes arteriales que afectan a vasos específicos.

Arteria carótida interna.

Existen tres anomalías vasculares que se pueden reconocer en estudios de imagen: la ACI aberrante, persistencia de la arteria estapedial, persistencia de las anastomosis carótido-basilares (3).

ACI aberrante

Se considera un trayecto aberrante cuando la ACI tiene un curso sin relación con sus referencias anatómicas (9). Lo más común es que se presente con un trayecto dentro del oído medio, que cursa sobre el promontorio coclear para después incorporar a su trayecto habitual en el agujero rasgado (figura 4) (3).

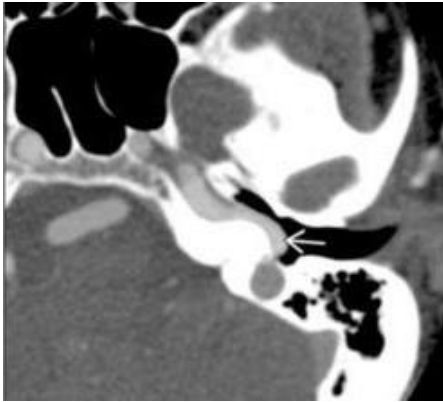
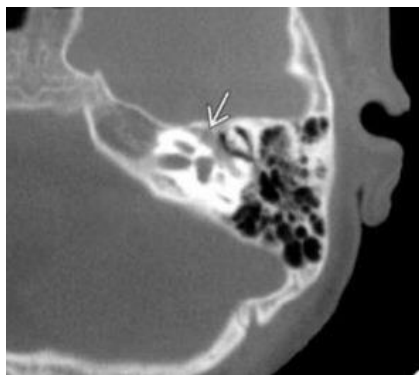


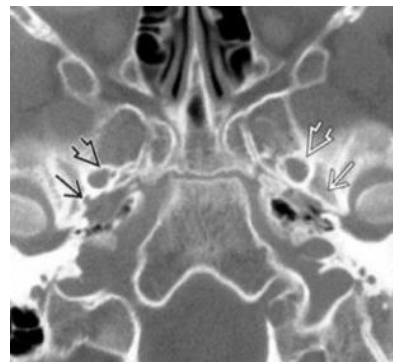
Figura 4 Osborn AG, Hedlund GL, Salzman KL. Osborn's brain: imaging, pathology, and anatomy. 2nd ed. Elsevier, editor. Philadelphia, Pa; 2018, que corresponde a tomografía axial donde se observa el trayecto aberrante de la ACI, señalada por la flecha, cursando sobre el promontorio coclear en el oído medio.

Arteria estapedial persistente

La arteria estapedial persistente tiene su origen en el segmento C2 de la ACI, los hallazgos patognomónicos son ausencia del foramen espinoso, ya que la arteria estapedial se convertirá en la arteria meníngea media, segmento timpánico del nervio facial duplicado de tamaño, la arteria estapedial persistente puede estar acompañada de una ACI aberrante (3).



A



B

Figuras 5 A y B extraídas de Osborn AG, Hedlund GL, Salzman KL. Osborn's brain: imaging, pathology, and anatomy. 2nd ed. Elsevier, editor. Philadelphia, Pa; 2018 correspondientes a tomografía axial del mismo paciente, en ventana osea donde la figura A señala la duplicación del segmento timpánico del nervio facial y la figura B señala con flecha blanca la ausencia del foramen espinoso izquierdo. Ambos forámenes ovales (flechas huecas) y espinoso derecho son normales (flecha negra).

Anastomosis carótido-basilares

Como se comentó antes durante la vida embrionaria existen vasos que comunican transitoriamente el sistema de la ACI con las ANL, las cuales son precursoras de la AB, estas a excepción de la ACoP desaparecen, sin embargo, pueden perdurar y dar origen a las anastomosis carótido-basilares persistentes (14). Se esquematizan en la figura 2.

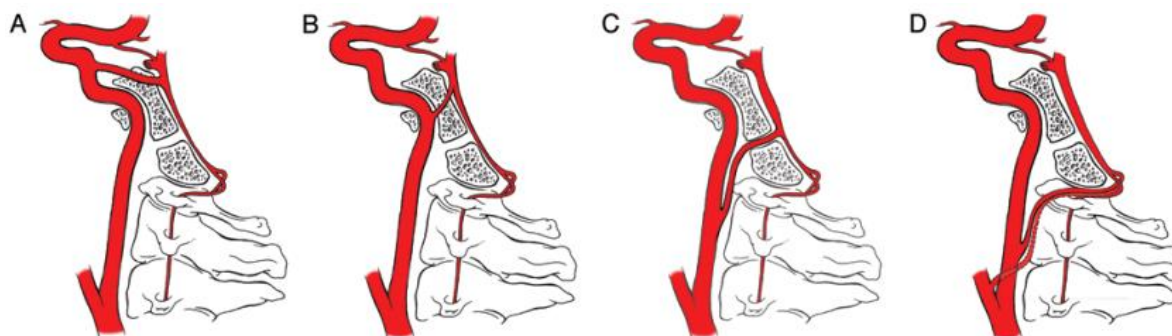


Figura 6 descripción esquemática de la arteria trigeminal persistente (A), arteria otica (B), arteria hipoglosa (C), arteria proatlantal (D). Obtenida de Tubbs RS, Verm K, Riech S, Mortazavi MM, Shoja MM, Loukas M, et al. Persistent fetal intracranial arteries: A comprehensive review of anatomical and clinical significance: A review. Vol. 114, Journal of Neurosurgery. 2011. p. 1127–34

Estas reciben su nominación de acuerdo con la relación anatómica con las estructuras adyacentes y se describen a continuación.

Arteria trigeminal persistente (ATP) es la más cefálica y se origina en la curva posterior de la porción cavernosa de la ACI, se puede clasificar en una ATP lateral o medial según su curso; la lateral cursa por debajo del VI par craneal y por encima de la primera rama del V par, para insertarse en el tercio superior de la AB. La ATP de tipo medial esta cursa superior al VI par y cursa intraselar en contacto con la glándula pituitaria, cruza a través o sobre el dorso de la silla turca para insertarse en la AB (15).

Existe otra clasificación realizada por Saltzman, que la divide en tres tipos: la tipo I en la cual la ATP irriga las arterias cerebelosas superiores y cerebrales posteriores

con escaso relleno de la ACoP, tipo II ambas arterias cerebelosas son suplidas por la ATP y las ACP por la ACoP, y de la tipo III o variante de la ATP cuando las arterias cerebelosas proceden de la ACI (16).

En el estudio realizado por Florino et al., donde se revisaron 3433 estudios de angioresonancia encontraron una prevalencia de esta variante 0.49%, de los cuales el 59% se asociaban a hipoplasia de la AB (15).

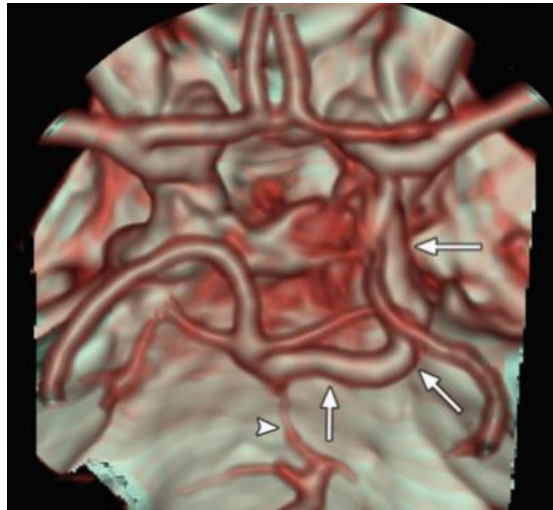


Figura 7 obtenida de Dimmick SJ, Faulder KC. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. Vol. 29, Radiographics. 2009. p. 1027–43. Angiotomografía con reconstrucción en 3D del círculo de Willis donde se señala con flechas blancas una ATP de tipo lateral asociada a hipoplasia de la AB señalada con cabeza de flecha.

La AH tiene una prevalencia estimada del 0.02 al 0.10%, la cual puede surgir desde los segmentos C1 a C3, entra por el canal hipogloso para alcanzar a la AB, se identifica como un vaso anómalo que atraviesa el agujero hipogloso agrandado (10).

La AProA es una anomalía poco frecuente, tiene su origen a la altura de los cuerpos vertebrales de C2-C4, si surge de la ACI se dice que es un tipo I y si surge de la ACE de tipo II. El tipo I se une al segmento V3 y el tipo II al segmento V4, ambas ingresan al cráneo a través del agujero magno (9). Hasta en el 50% de los casos la presencia la AProA se asocia a hipoplasia de la AV, en algunos casos se asocia también a la presencia de aneurismas (10).

Aunque existe controversia sobre la existencia de esta arteria, la AO se describe como aquella que surge de la porción petrosa de ACI, discurre lateral al canal auditivo interno y se anastomosa con el extremo distal de la AV (10).

Otra variante que se puede presentar, aunque con una baja frecuencia del 0.01% (10), es la agenesia de la ACI, en la que no existen ACI ni su canal óseo; aplasia cuando no existe la ACI pero si su canal óseo, e hipoplasia cuando no existe un desarrollo completo de la misma (17).

Variantes del complejo anterior.

Incluyen a las arterias cerebrales anteriores y comunicante anterior. Existen múltiples variaciones que pueden afectar a cualquier segmento de la ACA o la ACoA, P. López S. et. al (6) realizaron un estudio retrospectivo donde incluyeron 426 estudios de angiotomografía, y se encontraron las siguientes variantes con las siguientes frecuencias encontradas en su estudio representadas en la figura 8:

Variantes del complejo de la arteria comunicante anterior										
ACA A1										
Típica	Ausente	Hipoplasia	Fenestración							
57.7%	10.6%	31.2%	0.5%							
ACA 2										
Típica	Ausente	Hipoplasia	Fenestración	Ácigos	Triple ACA					
84.7%	0.2%	85%	0%	1.4%	5.2%					
ACoA										
Típica	Ausente	Doble o Fenestrada	Triple	Forma-X	Forma-Y	Forma-V	Forma-H	Forma N	Plexiforme	
92.5%	4.7%	0.9%	0.2%	1.2%	0.2%	0%	0%	0%	0.2%	

Figura 8 extraída y adaptada de López-Sala P, Alberdi N, Mendigaña M, Bacaicoa MC, Cabada T. Anatomical variants of anterior communicating artery complex. A study by Computerized Tomographic Angiography. Journal of Clinical Neuroscience. 2020 Oct 1;80:182–7.

La arteria ácigos representa la persistencia de la arteria embrionaria del cuerpo calloso, y tiene una prevalencia del 0.2 al 4%, en esta variante ambos territorios de

la ACA están irrigados por un solo segmento A2 localizada en la línea media (10). Esta variante se ha asociado a la predisposición de formación de aneurismas debido al mayor flujo sanguíneo que recibe, que el que recibiría si estuvieran presentes ambos segmentos A2 (6).

La trifurcación de la ACA ocurre cuando están presentes tres segmentos A2 con una prevalencia que oscila entre el 2- 13% (10), y la ACA bihemisférica cuando están presentes ambos segmentos A2, pero una es más dominante e irriga la mayoría de los vasos de ambos hemisferios (18).

Las variaciones que afectan a la ACoA incluyen ausencia que es la más frecuente hasta 14%, dobles, fenestrado, o triple ACoA. Además, existen variaciones en su morfología que pueden adoptar una configuración en X, Y, V, H, N o plexiforme 16% (6).

Las variaciones más descritas son la ausencia o hipoplasia de los segmentos A1 (9-10%) y A2 (2-7%) (6).

El sitio más frecuente de formación de aneurismas intracraneales es la ACoA, el cual se asocia a la presencia de hipoplasia del segmento A1, se cree que esto es secundario al mayor estrés hemodinámico del vaso normal secundario al mayor flujo vascular, así mismo la hipoplasia del segmento A1 se asocia con mayor tamaño y mayor relación cúpula a cuello del aneurisma. De igual forma la presencia de hipoplasia del segmento A2 se asocia con presencia de aneurisma de la ACoA (18).

En un estudio realizado por Nebojša N. Stojanović et al., donde compararon a pacientes con intervención quirúrgica por ruptura de aneurisma y pacientes sometidos a autopsia que perecieron por hemorragia intracraneana, los hallazgos más destacados fueron la aplasia o la hipoplasia de la del segmento A1 (19).

Variantes del complejo posterior.

Algunas de las variantes más frecuentes del círculo de Willis incluyen la hipoplasia y o aplasia de las ACoP (34-68%), origen fetal de la arteria cerebral posterior (fACP) (4-26%), y dilatación infundibular de la ACoP (7-15%) (20).

Origen fetal de la arteria cerebral posterior.

En el fACP, la ACoP es de igual o mayor calibre que la ACP, y por lo tanto la irrigación del lóbulo occipital ipsilateral depende de la ACI, esta variante puede ser uni o bilateral (10), si el segmento P1 está ausente se trata de una fACP completa, si el segmento P1 es de menor calibre entonces se habla de una fACP parcial, cuando el calibre de la ACP y ACoP es igual se designa ACP intermedia (21).

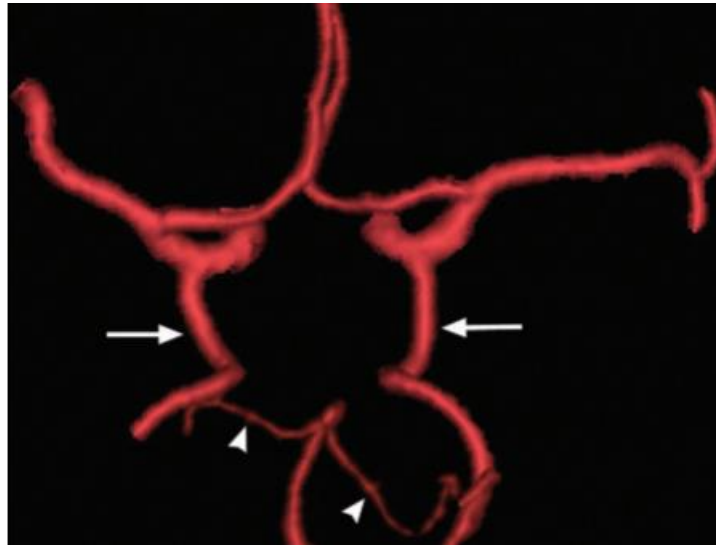


Figura 9 obtenida de Dimmick SJ, Faulder KC. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. Vol. 29, Radiographics. 2009. p. 1027–43. Angiotomografía con reconstrucción en 3D del círculo de Willis donde se señala con flechas las ACoP asociada a ausencia de ambos segmentos P1 de la ACP.

Zenh He et al, realizaron un estudio de sobre 364 casos en pacientes con sospecha de enfermedad cerebro vascular o aneurisma a quienes se les realizo angiotomografía y encontraron que el 62% de los pacientes que presentaban aneurisma se asoció con variantes del círculo de Willis, el fACP estaba presente en el 25% de forma unilateral y 7.14% bilateral (21).

En un infundíbulo de la ACoP se observa una dilatación en forma de cono en su origen con base dirigida hacia la ACI y de su vértice surge la ACoP y tiene un diámetro de menos de 2 mm (10).



Figura 10 obtenida de Dimmick SJ, Faulder KC. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. Vol. 29, Radiographics. 2009. p. 1027–43. Reconturccion 3D de estudio de angiotomografía donde se observa que la ACoP surge del verticie de un infundíbulo cuya base se encuentra dirigida hacia la ACI.

Otra variante que se puede presentar, aunque carece de relevancia clínica es un tronco común de la ACP y de la arteria cerebelosa superior con una prevalencia del 2-22% (10).

Cómo se comentó anteriormente la configuración normal del círculo de Willis está presente en menos del 50% de la población, la presencia de estas variantes puede condicionar un mayor estrés hemodinámico, que influiría en la formación de aneurismas y malformaciones arteriovenosas (4), por lo que resulta fundamental una descripción más detallada de estas.

ALTERACIONES VASCULARES ESTRUCTURALES

Aneurismas

Los aneurismas se clasifican de acuerdo con su apariencia macroscópica en sacular, pseudoaneurisma, ampular, y fusiforme (3).

Los aneurismas saculares son los más frecuentes, son adquiridos y se producen secundario a un alto estrés hemodinámico, así como a alteraciones de la matriz extracelular, más del 90% de los aneurismas se localizan en la circulación anterior afectando hasta en un tercio de los casos a la ACoA, asociados a hipoplasia del segmento A1 (21), otro tercio a la unión de la ACI-ACoP (3), y a hipoplasia de la ACoP (22).

El otro 10% de los aneurismas se identifican en la circulación posterior y afectan con mayor frecuencia a la bifurcación de la AB (3).

La fenestración de la AB, y ACA puede estar asociada a presencia de aneurismas y puede encontrarse en el sitio de la fenestración de un 7-35% de las fenestraciones de la AB. Así mismo se ha encontrado asociación entre las anastomosis carótido - vertebrales persistentes y aneurisma distal al vaso persistente (22).

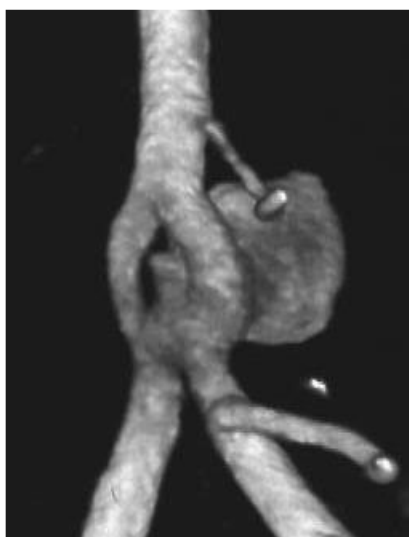


Figura 11 obtenida de Biondi A. Intracranial Aneurysms Associated with Other Lesions, Disorders or Anatomic Variations. Vol. 16, Neuroimaging Clinics of North America. 2006. p. 467-82. Donde se observa una fenestración basilar asociada a aneurisma sacular

El pseudoaneurisma es una dilatación focal la cual no contiene todas las capas de la pared arterial, difícilmente se puede distinguir de un aneurisma verdadero, su localización más frecuente es en los vasos distales al círculo de Willis (3).

El aneurisma fusiforme es una dilatación que involucra toda la circunferencia del vaso y se presenta con mayor frecuencia en la circulación posterior (3).

El de tipo ampular en un pseudoaneurisma que esta recubierto únicamente por una capa delgada de tejido fibroso, afecta principalmente al segmento clinideo de la ACI (3).

En el estudio realizado por Orakdogan M, et al., encontraron que de 128 pacientes con aneurisma intracraneal con estudio de angiografía con sustracción digital el 36% se asoció a una variante de la circulación anterior y del 24.2% en la posterior (4).

Malformaciones arteriovenosas.

Las malformaciones arteriovenosas (MAV) son lesiones compuestas por arterias y venas las cuales se comunican directamente sin presencia de capilares intermedios, estos vasos forman un nido dentro del parénquima cerebral. Presentan arterias dilatadas aferentes y que drenan a través de venas arterializadas formando un shunt de baja resistencia y de alto flujo. Esta lesión tiene origen en el periodo prenatal (23). Hasta el 85% de las MAV tienen localización supratentorial (3). Las MAV'S a su vez pueden estar asociados a la presencia aneurismas en los vasos aferentes o en el nido. Existe reporte que hasta el 25% de los pacientes que presentan ATP pueden asociarse a MAV, fistulas carótido cavernosas, así como aneurismas (24). También se ha encontrado asociación entre la presencia de MAV y arteria cerebral anterior ácidos (6).

Existen reportes de casos donde la ATP se asoció a la presencia de MAV de localización infratentorial (25,26).

La escala más utilizada para caracterizar las MAV'S es la de Spetzler – Martin, son graduados en escala de 1 a 5 basado en la suma de 3 características, calculado a partir del tamaño, elocuencia o no y tipo de drenaje venoso (3) tabla 1.

Tamaño	Localización	Drenaje venoso
Pequeño (< 3 cm) = 1	No elocuente = 0	Superficial = 0
Mediano (3-6 cm) =2	Elocuente = 1	Profundo =1
Grande (>6 cm) = 3		

Las MAV a pesar de considerarse de origen congénito pueden asociarse al desarrollo de aneurismas (27), hasta una incidencia entre el 7.5 y el 30%, los cuales pueden estar presentes dentro del nido, en el vaso de alimentación o incluso en un sitio que no guarda relación vascular con esta lesión (22).

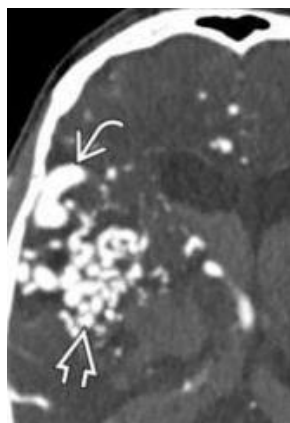


Figura 11 extraída de Osborn AG, Hedlund GL, Salzman KL. Osborn's brain: imaging, pathology, and anatomy. 2nd ed. Elsevier, editor. Philadelphia, Pa; 2018. Donde se observa la presencia de una MAV donde la flecha hueca señala el nido y la curva la vena de drenaje dilatada.

Angiopatía cerebral proliferativa.

Esta consiste en múltiples arterias nutricias y múltiples venas de drenaje, que a diferencia de la MAV no presenta una arteria alimentadora dominante ni un nido, esta lesión contiene parénquima cerebral entre los vasos anormales (3).

Fistula arteriovenosa.

La fístula arteriovenosa (FAV) a diferencia de la MAV representa una conexión directa entre sistema arterial y venoso que carecen de un nido intermedio, las cuales se pueden clasificar según su suministro arterial en FAV dural si se alimenta de la arteria meníngea media o FAV pial si lo hace de las arterias piales, ambas con

drenaje leptomeningeo, esta última es más atribuible a un origen congénito y por lo tanto se presenta en pacientes jóvenes (27).

Otras alteraciones vasculares estructurales que incluyen las malformaciones cavernosas y las telangiectasias son angiográficamente ocultas, siendo la resonancia magnética el estudio de referencia para su caracterización (27).

La anomalía venosa del desarrollo son malformaciones venosas, que tienen un patrón radial y drenan en una vena común que por su disposición se describen como un “caput medusa”, y se pueden descubrir de forma incidental en angiografías, tomografías o resonancia magnética contrastada (27).

El estudio de elección para la valoración de las alteraciones estructurales vasculares es la angiografía, sin embargo en nuestro medio la angiotomografía es de mayor accesibilidad, menos invasivo y con menor riesgo de complicaciones asociadas al procedimiento.

ANGIOTOMOGRAFÍA

La tomografía computada fue desarrollada por Godfrey Hounsfield en el año de 1972, posteriormente en 1989 surge la tomografía helicoidal que consigue una adquisición volumétrica en una sola inspiración, y en 1998 la tomografía multicorte, que en un inicio contaba con 4 filas de detectores (28).

El constante aumento en el número de detectores ha permitido disminuir el tiempo de examen, cortes más finos, realización de reconstrucciones multiplanares, que incluyen técnicas como proyección de máxima intensidad (MIP), mínima intensidad de proyección (MiniMIP), representación de volumen o “volumen rendering” y representación de superficie o “surface renderin” (28).

Según la definición de ACR–NASCI–SIR–SPR practice parameter for the performance and interpretation of body Computed Tomography Angiography (CTA) (29), la angiotomografía de cráneo (ATC) se define como una tomografía computada de corte fino que se sincroniza con el relace arterial o venoso máximo, que posteriormente el conjunto de datos volumétricos se interpreta utilizando

reconstrucciones transversales primarias, reformateos múltiplanares y representaciones en 3D (29).

Este método de estudio sirve para caracterizar, la anatomía vascular, enfermedades vasculares, planificación y seguimiento del tratamiento vascular entre otras indicaciones (29).

Dentro de las especificaciones del equipo se debe de utilizar un tomógrafo de múltiples detectores, siendo ideal el de 64 cortes, con una rotación del gantry de 0.4 a 0.27 segundos, así mismo se debe contar con inyector de material de contraste monitorizado que permita programación del volumen como la velocidad del flujo, además de contar con una estación de trabajo que permita realizar reformateos multiplanares, proyecciones de máxima intensidad y representaciones volumétricas (29).

La adquisición debe de realizarse con un grosor de corte de menos de 1.5 mm, con una superposición máxima del 50% a excepción de cuando se utilizan grosor de corte de 0.5 a 0.75 mm (29).

El medio de contraste no iónico debe tener una concentración de al menos 300 mg/ml y administrarse con una velocidad mínima de 3ml/s, posteriormente se hace el seguimiento del bolo con el uso de un software de activación automatizado basado en el control de la atenuación en la luz del vaso de interés, que al menos alcance 250-300 unidades Hounsfield (UH), mediante un escáner de TC durante la administración del medio de contraste. ATC se inicia de forma manual o automática cuando el relace alcanza un nivel predeterminado seleccionado por el operador (29).

En el posprocesamiento se pueden incluir técnicas que incluyen reformateos multiplanares, MIP y reconstrucciones tridimensionales(29).

Según los criterios de idoneidad del American College of Radiology (ACR), el estándar de oro para la evaluación de las enfermedades cerebro vasculares, incluidos los aneurismas y las malformaciones vasculares es la angiografía por sustracción digital, sin embargo también resulta usualmente apropiado el uso de la

ATC, el cual es un estudio no invasivo que se utiliza, entre otras aplicaciones, para la evaluación de pacientes con hemorragia subaracnoidea, con el fin de descartar una causa vascular de la hemorragia. Tiene una sensibilidad y especificidad de más del 90% para la detección de aneurismas, esta sensibilidad puede disminuir para hemorragia subaracnoidea difusa en pacientes con aneurismas menores de 3 mm y para aneurismas cercanos a estructuras óseas (30).

Un metaanálisis realizado sobre el rendimiento diagnóstico de la ATC de 64 cortes mostró una sensibilidad y especificidad del 97 y 91% respectivamente en el diagnóstico de aneurismas. Las ventajas que la ATC presenta sobre angiografía con sustracción digital, menor de tiempo de estudio, método menos invasivo y mejor visualización (31).

Así mismo, la ATC tiene una sensibilidad del 90% para detectar las MAV, y va en relación con el tamaño de la lesión, que disminuye en un 60% para lesiones que miden < 1cm, y una sensibilidad 100% para lesiones que miden > 3cm(27). Para las fistulas arteriovenosas la ATC demostró una sensibilidad del 88% y una especificidad del 100%, con el único inconveniente de una falta de resolución temporal la dinámica del flujo (30).

Aunque el estándar de oro para la evaluación inicial de la circulación cerebral sigue siendo la angiografía, la tomografía tiene una alta sensibilidad y especificidad para caracterizar de forma adecuada las estructuras anatómicas que lo conforman, lo cual trae consigo una herramienta para una adecuada planeación al tratamiento de las alteraciones vasculares estructurales y las posibles complicaciones asociadas a la configuración que esté presente.

Múltiples estudios han demostrado la importancia clínica entre la presencia de variantes anatómicas del círculo de Willis y la evolución clínica de antes, durante y posterior al tratamiento de las alteraciones estructurales vasculares. En un estudio realizado por E. Tarulli et. al., se demostró que pacientes que habían recibido tratamiento para aneurisma de la ACoA y que presentaba a su vez dominancia de

una del segmento A1 de alguna ACA, presentaban mayor inestabilidad en el seguimiento angiográfico (32)

Otro estudio realizado por D. Songsaeng et. al., en 200 pacientes que recibieron terapia endovascular por presencia de aneurisma se encontró que la variable mayormente asociada a aneurisma de la ACoA fue la hipoplasia (34.3%) y aplasia (34.3%) del segmento A1 de la ACA, los aneurismas que afectaban a la ACoP se asociaron a hipoplasia de la ACoP (50.8 %) y fACP (47.8%), y describen además una mayor recurrencia de aneurisma en el grupo de pacientes que muestran aplasia e hipoplasia de la ACA (33).

Por lo anterior resalta la importancia de un minucioso conocimiento de la anatomía vascular cerebral, sus diferentes variantes que pueden tener una repercusión clínica antes y posterior al tratamiento de las mismas. La angiotomografía de cráneo resulta una valiosa herramienta diagnóstica mínimamente invasiva disponible en la mayoría de los centros de especialidad que puede usarse como una evaluación inicial ante la sospecha de alteraciones vasculares estructurales.

Objetivo general

El objetivo general de este estudio fue identificar la prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis y su asociación con la presencia de alteraciones vasculares estructurales mediante estudio de angiotomografía de cráneo.

Objetivos específicos

- Describir las variantes anatómicas del círculo de Willis en pacientes con angiotomografía de cráneo en la UMAE Manuel Ávila Camacho.
- Describir la prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis en pacientes con angiotomografía de cráneo en la UMAE Manuel Ávila Camacho.
- Conocer la prevalencia de las alteraciones vasculares estructurales en pacientes con angiotomografía de cráneo en la UMAE Manuel Ávila Camacho.
- Conocer la asociación entre las variantes del círculo de Willis y las alteraciones vasculares estructurales.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los pacientes que presentan alteraciones vasculares estructurales que ameritan tratamiento intervencionista, requieren una adecuada evaluación de la anatomía vascular en búsqueda de variantes anatómicas que tengan relevancia clínica tanto para la evolución de la patología, como implicaciones en la toma de decisiones para el abordaje terapéutico. De ahí surge la importancia de realizar una adecuada evaluación mediante los estudios de imagen, y reconocer de forma adecuada las variantes anatómicas del círculo de Willis y su asociación entre la presencia de alteraciones vasculares estructurales.

Pregunta de investigación:

¿Cuál es la prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis y su asociación con alteraciones vasculares estructurales en pacientes con angiotomografía de cráneo atendidos en el Hospital de Especialidades Puebla?

3. JUSTIFICACIÓN

Como se ha encontrado en la literatura, se estima que el 50% de la población general muestra una configuración habitual del círculo de Willis, las cuales pueden ser encontradas durante el estudio anatómico de las alteraciones vasculares estructurales de la circulación intracraneana.

Existen múltiples estudios donde se realizan análisis sobre la prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis y se ha visto que existe una gran variabilidad que podría depender del tipo de población, los antecedentes de los pacientes y el tipo de estudio con el que se evalúa la circulación cerebral.

El estudio de angiotomografía de cráneo tiene alta sensibilidad para valorar la anatomía de la circulación cerebral, lo que resulta útil a para encontrar asociación entre la presencia de variantes anatómicas del círculo de Willis y las alteraciones vasculares estructurales, ya que esto podría ayudar a la toma de decisiones del médico tratante para hacer una valoración integral sobre los riesgos antes, durante y posterior al tratamiento.

En nuestro país existe pocos estudios que caractericen la circulación cerebral y su asociación con las alteraciones vasculares, por lo que surge la necesidad de realizar un análisis descriptivo de la relación entre la presencia de estas entidades.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio descriptivo, retrospectivo y transversal en pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo en el Hospital de Especialidades Puebla, en el periodo de diciembre 2021 a agosto 2023.

PACIENTES

El universo de estudio incluyó 97 pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo institucional del IMSS.

Los pacientes fueron elegidos de acuerdo con los criterios de selección incluyendo a aquellos pacientes que contaban con estudio de angiotomografía de cráneo concluyente, pacientes que contaban con expediente clínico completo, pacientes de cualquier edad, sexo e indicación para el estudio.

Se excluyeron aquellos que por error técnico no completaran el protocolo de angiotomografía y que no contaran con expediente clínico, así como pacientes sin interpretación autorizada por médico de base.

Se eliminaron a aquellos pacientes a los cuales no se logró completar algún dato requerido para este estudio.

INSTRUMENTOS

Los datos se obtuvieron de los reportes de angiotomografía encontrados en el sistema PACS (Picture Archiving and Communication System) y del expediente clínico, y se recopiló la información en una hoja de recolección de datos. Las variables englobadas fueron, edad, sexo, indicación del estudio, comorbilidades, variante anatómica, localización de la variante anatómica, tipo de variante anatómica, aneurisma, número de aneurisma, localización de los aneurismas, malformación arterio - venosa y otras alteraciones vasculares estructurales.

PROCEDIMIENTOS

Se realizó una revisión del expediente clínico y de los reportes de los estudios de angiotomografía de cráneo en el sistema PACS, y en una hoja de recolección de datos se recabaron datos epidemiológicos, médicos, presencia de variantes anatómicas del círculo de Willis, presencia de aneurismas y/o malformación arterio-venosa y el resto de las variables.

Se desarrolló una base de datos en Excell para el análisis de datos y se presentaron los datos en tablas y gráficos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para las variables cuantitativas se utilizaron medidas de frecuencia y para las cualitativas se utilizaron porcentajes.

El análisis estadístico se realizó con un software comercialmente disponible SPSS versión 29 mediante la prueba de Pearson y Spearman.

ASPECTOS ÉTICOS

De acuerdo con lo establecido al Artículo 17 este estudio es considerado como sin riesgo para la salud ya que se emplearán técnicas y métodos de investigación documental retrospectivo entre los que se consideran expedientes clínicos e interpretación de angiotomografías de cráneo, sin realizar ninguna intervención o modificación intencionada en las variables fisiológicas y sociales de los pacientes participantes en el estudio.

Esta investigación contó con la autorización del Comité Local de Investigación y ética en investigación en salud del Comité de Ética correspondiente. Se tuvo estricto apego a lo determinado por las leyes de nuestro país, así como lo establecido por la Ley General de salud en materia de investigación y Normas Internacionales (ver hoja de Consentimiento Informado en Anexos).

Los procedimientos se apegaron a las normas éticas vigentes nacionales e internacionales, el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de

investigación para la salud, y a la declaración de Helsinki, realizada en la Asamblea Médica Mundial y su última enmienda. En este estudio, los participantes obtienen el beneficio de una intervención no farmacológica que potencialmente podría modificar el conocimiento sobre las medidas de bioseguridad.

Dentro de los aspectos éticos fundamentales en esta investigación se encuentra el respeto total hacia la integridad física, emocional y moral del participante, principio basado en la declaración de Helsinki, Finlandia, en junio de 1964 y cuya última y actualización más reciente se situó en el año 2013, en la 64.º Asamblea General en Fortaleza, Brasil, por la Asociación Médica Mundial, donde se propone los principios éticos que sirven para orientar a los médicos y a otras personas que realizan investigación médica en seres humanos. También menciona que el deber del médico es promover y velar por la salud de las personas. Establece la importancia del consentimiento informado, donde se establecen de manera clara los riesgos y beneficios que trae consigo el proceso de investigación y el enfoque hacia el respeto, autonomía, libertad y bienestar del individuo que desee participar de manera libre y voluntaria, cuya decisión se encuentra por encima de la investigación, entendiéndose con ello el respeto del derecho a abandonar la investigación en el momento que él lo decida.

Esta investigación en todas sus etapas está basada en los principios éticos del Informe Belmont de 1979, ya que se basa en mantener el respeto a su autonomía, confidencialidad y beneficencia, donde se asegura que durante el proceso de la investigación se evitara el daño, y se buscara intencionadamente un máximo beneficio y se procurara justicia bajo igualdad y sus necesidades individuales.

Con base en lo establecido por el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la salud vigente en México, en su artículo tercero, esta investigación para la salud comprende el desarrollo de acciones que contribuyen a mejorar la calidad de vida y, de acuerdo con la Comisión Nacional de Bioética que participa en la generación, promoción y difusión de los instrumentos jurídicos y normativos nacionales, se permite dar cumplimiento a su Derecho de Creación, publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 7 de septiembre de 2005 y

modificado el 16 de febrero de 2017. Asimismo, el 14 de diciembre de 2011, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Derecho de reforma a la Ley General de Salud, por el que se adiciona el artículo 41 BIS y se reforma el 98 de la citada ley, que estipula la obligación de los establecimientos de salud del sector público, social y privado de contar con Comités Hospitalarios de Bioética y Comités de Ética en Investigación, bajo los criterios que establezca la Comisión Nacional de Bioética.

Esta investigación también está basada en el Código de ética médica de Núremberg publicado el 04 de agosto de 1947, cuyo objetivo consiste en proteger la integridad física, psíquica y moral de los individuos con los que se va a llevar a cabo la investigación científica, ya que ellos están expuestos a todo tipo de riesgo por parte de los científicos que se encargan de esta investigación, el cual recoge una serie de principios que rigen la experimentación con seres humanos, constituido por diez puntos, entre ellos, se incluye el consentimiento informado y la ausencia de coerción, la experimentación científica fundamentada y la beneficencia del experimento para los sujetos humanos involucrados.

La base de datos que concentrará la información personal de los pacientes, así como su información de contacto, existirá en una única copia resguardada por la investigadora principal y será manejada con estricta confidencialidad. De la misma forma, ningún producto de la investigación expondrá la identidad de los individuos partícipes y estos solo serán utilizados para fines académicos y de investigación, en concordancia con lo establecido por la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados.

Las potenciales participantes se seleccionarán, con equidad y justicia, donde no existirá ningún tipo de discriminación, ya sea por condiciones físicas, sociales, políticas, religiosas, género, preferencias sexuales, etc. Asimismo, los investigadores declaran no poseer conflictos de intereses con los resultados del estudio.

5. RESULTADOS

En un periodo de diciembre 2021 a agosto 2023 se revisaron 111 estudios de angiotomografía de cráneo realizadas en el Hospital de Especialidades de Puebla, donde se obtuvo una muestra de 97 pacientes, debido a que el resto fue eliminado por no cumplir con los criterios de inclusión, en nuestra muestra existió una predominancia en el sexo femenino, representando el 67%, mientras que el sexo masculino fue el 33% de los pacientes incluidos.

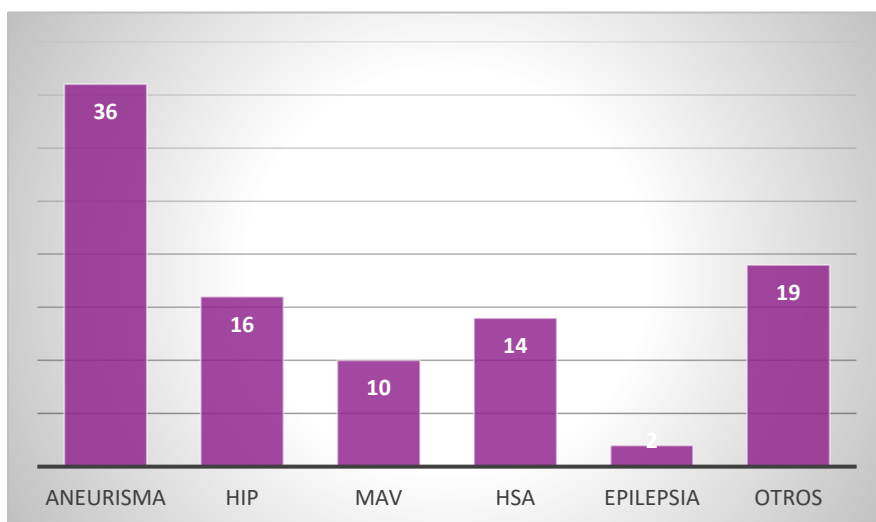
Los grupos de edades que se presentaron fueron desde los 11 a los 79 años, con una media de 50 años, identificándose mayor presentación en la séptima década de la vida.

Se llevó a cabo el análisis de antecedentes patológicos, encontrando que de los 97 pacientes anexados a la muestra, el 69% presentó alguna comorbilidad, siendo la más frecuente la hipertensión arterial sistémica en 43 pacientes, lo cual corresponde al 44%; seguido de la epilepsia presente en 14% de los pacientes y la diabetes mellitus tipo 2 en el 10%, otras patologías como lupus eritematoso sistémico, cirrosis, migraña, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y tumores, se anexaron en un cuarto grupo el cual represento el 18% de los antecedentes patológicos en nuestros pacientes (Tabla 1).

Tabla 1. Datos demográficos

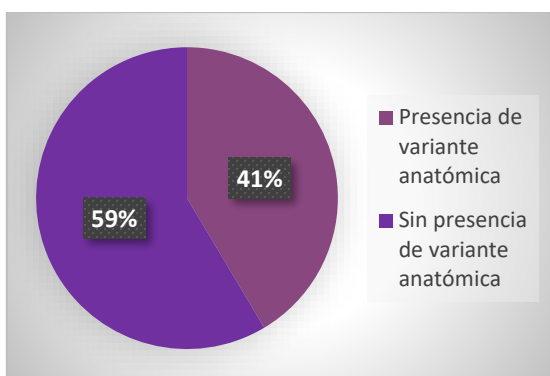
Genero	
Femenino	67%
Masculino	33%
Edad	
Rango	11 -79 años
Edad promedio	50 años
Comorbilidades	
Porcentaje de pacientes con comorbilidades	69%
Hipertensión arterial	44%
Epilepsia	14%
Diabetes mellitus tipo 2	10
Otras	18%

Dentro de la muestra estudiada de 97 pacientes la indicación más frecuente para realización del estudio de angiotomografía de cráneo, fue el diagnóstico de aneurisma en 36 pacientes, la segunda y tercera causas identificadas fueron la hemorragia intraparenquimatosas y la hemorragia subaracnoidea; se englobaron diferentes patologías predominantemente de origen tumoral como por ejemplo hemangiomas, glomus, angioesclerosis, angioma cavernoso, etc., dentro de otras causas, los cuales representaron a 19 pacientes. (Gráfica 1).

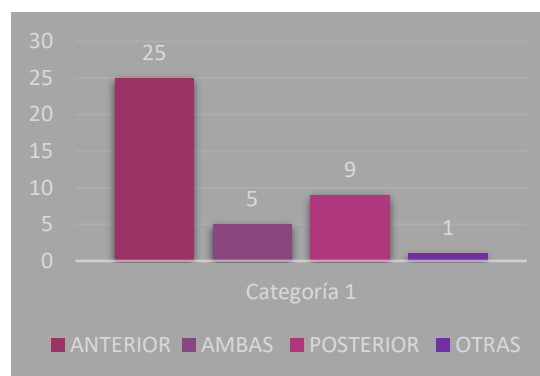


Gráfica 1. Diagnóstico de envío para la realización de estudio de angiotomografía de cráneo.

Las variantes anatómicas de la circulación intracraneal como hallazgo positivo en los estudios de angiotomografía de cráneo realizados en nuestra institución, se identificaron en 40 pacientes, que representan el 41.2 %, de las cuales se observa una afectación única del complejo de la circulación anterior en 25 pacientes, una coexistencia en la circulación anterior y posterior en 5 pacientes, seguido de la afectación únicamente de la circulación posterior en 9 pacientes, así como un único caso con presencia de arteria trigeminal persistente (Gráficas 2 y 3).



Gráfica 2. Frecuencia de variantes anatómicas de la circulación intracraneal.



Gráfica 3. Circulación intracraneal afectada.

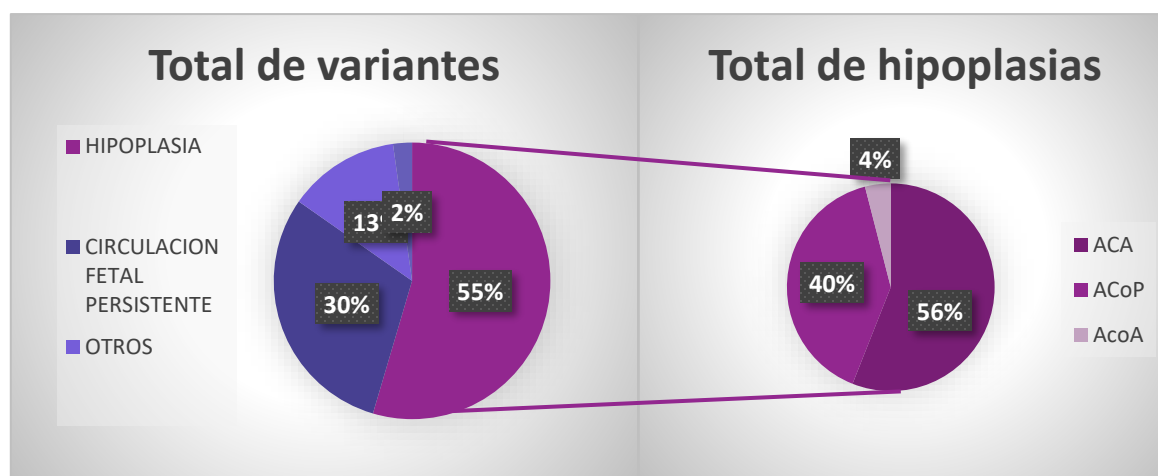
Se documentó que, en la circulación anterior, se vio afectada con mayor frecuencia la ACA (en 16 pacientes) en comparación con la ACoA (únicamente en 5 pacientes), la ACoP se vio afectada en 10 pacientes; y de las estructuras vasculares posteriores se describieron 14 casos (Tabla 2).

Tabla 2. Variantes anatómicas

ACA	No. de casos
Hipoplasia del segmento A1	14
Triple A2	1
Duplicación del segmento A1	1
ACoA	
Morfología en X	2
Hipoplasia	1
Morfología en V	1
Fenestración	1
ACoP	
Hipoplasia	10
ACP	
Circulación fetal persistente	14
Anastomosis carótido-basilar	
Arteria trigeminal persistente	1

Del total de variantes anatómicas del círculo de Willis, la más frecuentes fue la hipoplasia, la cual representó aproximadamente en el 55% (25 casos), siendo de una o dos arterias de la circulación anterior o posterior, se encontraron 6 casos de coexistencia de dos variantes, siendo la asociación entre de hipoplasia del segmento A1 con la fACP la más frecuente (4 casos). La circulación fACP fue la segunda variante más frecuente con un 30%, solo se encontró un caso de una anastomosis carótido - basilar (ATP), el resto de las variantes se englobó en un grupo que equivale al 13%.

Dentro de las hipoplasias de las estructuras que conforman el círculo de Willis, la afectada con mayor frecuencia fue la ACA hasta en el 56% de los casos estudiados en angiotomografía (Gráfica 4).



Gráfica 4. Tipo de variante anatómica más frecuente.

De todos los pacientes analizados, 61 (62.8%) presentaron anomalías vasculares estructurales, presentándose con mayor frecuencia los aneurismas en 44 pacientes, que representó, en segundo lugar las MAV en 13 pacientes, y en los 6 restantes englobaron otras patologías de origen vascular venoso como dilatación de los senos venosos, angioma cavernoso, malformaciones de la vena de galeno y fistula carotido-cavernosa (Tabla 3).

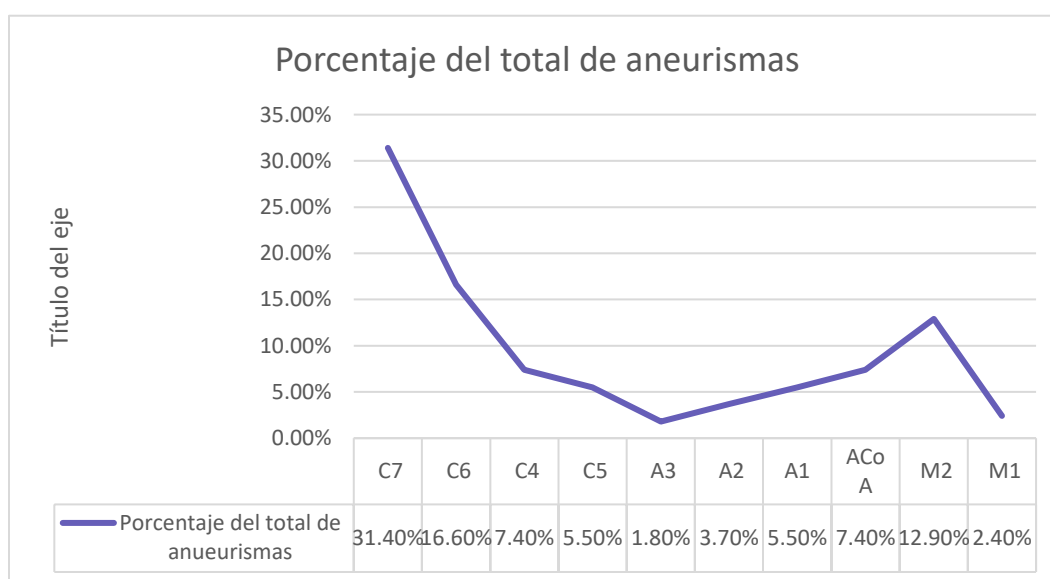
Tabla 3. Total de alteraciones vasculares estructurales

Alteración vascular estructural	Casos y prevalencia (%) (N=97)
Aneurismas	44 (45.3%)
Malformaciones arterio-venosas	13 (13.4%)
Otras	6 (6.2%)

37 de los 44 pacientes con aneurismas se les documento una sola saculación, mientras que en los 7 restante se documentaron 2 o más.

El total de aneurismas encontrados fueron 54 de los cuales el 61.1% se presentaron en la ACI, 20.3% en la ACM, 11.1% en la ACA y 7.4% en la ACoA.

La localización más frecuente de los aneurismas se trató del segmento comunicante (C7) de la arteria carótida interna hasta en un 31.4 %, en segundo lugar, con 16.6 % se reportó el segmento oftálmico (C6) y con 12.9 % el segmento M2 de la arteria cerebral media. (Grafica 5).



Gráfica 5. Localización de los aneurismas.

De los 44 pacientes que tenían aneurisma 16 presentaron variantes anatómicas, la más frecuente fue la hipoplasia del segmento A1 de la ACA con 7 casos, seguida de 5 con fACP, 3 con hipoplasia de ACoP, 1 con triple segmento A2 y 1 de morfología en X de la ACoA. Además, 13 pacientes que presentaban MAV, de las cuales 5 se asociaron con la presencia de variante anatómica.

Se realizó el análisis estadístico con la correlación de Pearson y Spearman entre la presencia de las variantes anatómicas y las patologías vasculares más frecuentes que en nuestra muestra y en la literatura se han identificado como los aneurismas intracraneales, y las malformaciones arteriovenosas, sin embargo, en ambos casos no se documentó relación estadísticamente significativa con una $p > 0.05$ (Tablas 4-7).

Tabla 4. Correlación de Pearson entre la presencia de aneurismas y variantes anatómica de la circulación intracraneal.

		Aneurismas	Variante
Aneurismas	Correlación de Pearson	1	-.086
	Sig. (bilateral)		.404
	N	97	97
Variante	Correlación de Pearson	-.086	1
	Sig. (bilateral)	.404	
	N	97	97

Tabla 5. Correlación de Spearman entre la presencia de aneurismas y variantes anatómica de la circulación intracraneal.

			Aneurismas	Variante
Rho de Spearman	Aneurismas	Coeficiente de correlación	1.000	-.086
		Sig. (bilateral)	.	.404
		N	97	97
	Variante	Coeficiente de correlación	-.086	1.000
		Sig. (bilateral)	.404	.
		N	97	97

Tabla 6. Correlación de Pearson entre la presencia de MAV y variantes anatómicas de la circulación intracraneal.

			MAV	Variante
MAV	Correlación de Pearson		1	.023
	Sig. (bilateral)			.826
	N		97	97
Variante	Correlación de Pearson		.023	1
	Sig. (bilateral)		.826	
	N		97	97

Tabla 7. Correlación de Spearman entre la presencia de MAV y variantes anatómicas de la circulación intracraneal.

			MAV	Variante
Rho de Spearman	MAV	Coeficiente de correlación	1.000	.023
		Sig. (bilateral)	.	.826
		N	97	97
	Variante	Coeficiente de correlación	.023	1.000
		Sig. (bilateral)	.826	.
		N	97	97

Se analizó específicamente si existía relación entre la hipoplasia de las arterias que conforman el círculo de Willis como variante anatómica y la presencia de aneurismas, sin embargo, se obtuvo una p de 0.537, lo que no traduce una significancia estadística (Tabla 8 y 9).

Tabla 8. Correlación de Pearson entre la patología vascular más frecuente y la variante anatómica más frecuente.

		Aneurismas	Hipoplasia
Aneurismas	Correlación de Pearson	1	-.063
	Sig. (bilateral)		.537
	N	97	97
Hipoplasia	Correlación de Pearson	-.063	1
	Sig. (bilateral)	.537	
	N	97	97

Tabla 9. Correlación de Spearman entre la patología vascular más frecuente y la variante anatómica más frecuente.

			Aneurismas	Hipoplasia
Rho de Spearman	Aneurismas	Coeficiente de correlación	1.000	-.063
		Sig. (bilateral)	.	.537
		N	97	97
	Hipoplasia	Coeficiente de correlación	-.063	1.000
		Sig. (bilateral)	.537	.
		N	97	97

6. DISCUSIÓN

En nuestro estudio, donde fueron revisadas cerca de 111 angiotomografías de cráneo que se realizaron en 21 meses en el Hospital de Especialidades de Puebla, se incluyeron en la muestra a 97 pacientes, debido a que el resto no cumplía con los criterios de selección correspondientes, de estos pacientes analizados el 41.2% mostraban alguna variante de la anatomía, resultado que se acerca a las cifras reportadas en el estudio realizado por González, X. et.al. en 2014 (34) donde encontraron que las variantes anatómicas se encontraron el 60% de los casos, algunos de los cuales presentaban relevancia clínica, en relación a aumento en la incidencia aneurismas y malformaciones, ante eventos oclusivos y en planificaciones quirúrgicas.

Nuestro estudio demostró que la variante más frecuente fueron los vasos hipoplásicos, los cuales representaron el 55% de los casos, hallazgo similar a lo reportado por Rivas, D. et. al. (35), donde lo reportaron hasta en el 66,45%.

La circulación anterior fue la mayormente afectada, siendo la hipoplasia del segmento A1 el predominantemente afectado. La segunda variante en frecuencia fue la fACP, estos resultados son similares lo reportado en el estudio realizado por Martinez. F. et. al (36). en 2004, en su estudio realizado en encéfalos procedentes de cadáveres.

En nuestro análisis de datos pudimos observar que los aneurismas intracraneales fueron la causa principal de solicitud de estudios de angiotomografía de cráneo, en 45.3% de los pacientes se documentó algún tipo de aneurisma de los cuales el 36 % presentaba algún tipo de variante anatómica de la circulación intracraneal. Según lo documentado en la revisión realizada por Zamora, A. et. al (18), que describe una asociación entre la hipoplasia y la formación de aneurismas, en nuestro estudio no encontramos una asociación estadística entre la presencia de variantes anatómicas y la presencia de aneurismas ya que el valor de p fue mayor a 0.05.

El sitio más frecuente de localización de los aneurismas fue la ACI y con mayor proporción en su segmento C7, lo cual podría estar asociado al mayor estrés

hemodinámico al ser un sitio que presenta bifurcación según los criterios de Rhoton (37).

La segunda alteración vascular encontrada en frecuencia fueron las MAV las cuales se presentaron en 13 casos (13.4%), similar a lo reportado con Machasio RM. et, al.(12), en su estudio realizado en 94 pacientes con estudio de angiotomografía. En nuestros pacientes se encontró que 6 de ellos presentaba alguna variante de la anatomía, sin encontrar una asociación estadística entra la presencia de MAV y variantes de la anatomía con un valor de $p = 0.826$.

Otras alteraciones vasculares incluyeron dilataciones venosas, drenajes anómalos, angioma cavernoso, y fistula carótido-cavernosa, se encontraron en conjunto con una frecuencia del 6.1% (6 casos).

Merece importancia mencionar que algunas de las muestras revisadas alrededor del mundo, son en pacientes cadavéricos, lo que podría ser considerado como una limitante de nuestro estudio.

7. CONCLUSIONES

Con los resultados previamente analizados en nuestros resultados, podemos afirmar lo siguiente:

En nuestra población de estudio los pacientes femeninos presentan con mayor frecuencia patología intracraneal, entre estas los aneurismas son la indicación más frecuentemente observada para la realización de estudios de angiotomografía de cráneo.

La configuración habitual del círculo de Willis se observó aproximadamente en el 59 % de los casos; la variante de la normalidad que se presenta con mayor frecuencia es la hipoplasia de una o varias estructuras vasculares que componen el círculo de Willis, ambos hallazgos corresponde a lo reportado en la literatura mundial.

En nuestro estudio se observó que los componentes de la circulación anterior fueron los que presentaron con mayor frecuencia variantes de la normalidad.

No se identificó una relación estadísticamente significativa entre la presencia de variantes anatómicas del círculo de Willis y el diagnóstico de aneurismas intracraneales u otras alteraciones vasculares estructurales.

En nuestro país no existe un estudio previo en el cual se identifique una asociación entre la presencia de variantes del círculo de Willis y la presencia de alguna alteración vascular estructural, por lo que se necesita en un futuro, estudios que incluyan un mayor número de pacientes, para corroborar los datos obtenidos en este estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Quijano Blanco Y, García Orjuela D. Anatomical variations of arterial cerebral circle in an amphitheater of a university in Bogotá, Colombia. *Revista Ciencias de la Salud*. 2020 Sep 1;18(3):1–12.
2. Ochoa-Monroy E. Circulo Arterial Cerebral ¿El Polígono de Willis? Historia de la Neurología Vascular. *Ictus*. 2022;3(2).
3. Osborn AG, Hedlund GL, Salzman KL. Osborn's brain: imaging, pathology, and anatomy. 2nd ed. Elsevier, editor. Philadelphia, Pa; 2018.
4. Orakdogan M, Emon ST, Somay H, Engin T, Is M, Hakan T. Vascular variations associated with intracranial aneurysms. *Turk Neurosurg*. 2017;27(6):853–62.
5. Acosta-Izquierdo L, Adolfo-Parra Fuentes F, Mora-Salazar JA, Tramontini Jens C. Anatomía de la arteria carótida interna en angioTC y angioresonancia. *RevMedicaSanitas*. 2016;19(1):50–5.
6. López-Sala P, Alberdi N, Mendigaña M, Bacaicoa MC, Cabada T. Anatomical variants of anterior communicating artery complex. A study by Computerized Tomographic Angiography. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2020 Oct 1;80:182–7.
7. Juan-Sierra I, Juan-Sierra D, Vera O, Mora JA, Tramontini C. Anatomía básica de la circulación cerebral posterior. *Revista Médica Sanitas*. 2018 Dec 30;(4).
8. Bertulli L, Robert T. Embryological development of the human cranio-facial arterial system: a pictorial review. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2021 Jun 1;43(6):961–73.
9. Menshawi K, Mohr JP, Gutierrez J. A functional perspective on the embryology and anatomy of the cerebral blood supply. *J Stroke*. 2015 May 1;17(2):144–58.
10. Dimmick SJ, Faulder KC. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. *Radiographics*. 2009 Jul;29(4):1027–43.
11. Şahin H, Pekçevik Y. Anatomical variations of the circle of Willis: evaluation with CT angiography. *Anatomy*. 2018 Apr 1;12(1):20–6.

12. 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*. 2019 Jun 16;2019:1–7.
13. Iqbal S. A comprehensive study of the anatomical variations of the circle of Willis in adult human brains. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2013 Nov 10;7(11):2423–7.
14. Tubbs RS, Verma K, Riech S, Mortazavi MM, Shoja MM, Loukas M, et al. Persistent fetal intracranial arteries: A comprehensive review of anatomical and clinical significance: A review. *J Neurosurg*. 2011 Apr;114(4):1127–34.
15. Forlino D, Oveoido J, Guidobono J, Civetta J. Arteria trigeminal persistente. *Revista Argentina de Anatomía Online*. 2014;5(2):71–4.
16. Saltzman GF. Patent primitive trigeminal artery studied by cerebral angiography. *Acta radiol*. 1959 May 1;51(5):329–36.
17. Flores-Silva F, Chiquete-Anaya E, Cantú-Brito C, Córdova-López P. Agenesia de la Arteria Carótida Interna: Presentación de dos Casos y Revisión de la Literatura. *Revista Ecuatoriana de Neurología* 85 Rev Ecuat Neurol. 2019;28(1).
18. Zamora-Chavarría A, Herrera-Guerra C, Quesada Navarro F, Ballesteros Herrera D. Variantes anatómicas del segmento anterior del polígono de Willis: relación con aneurismas cerebrales. *Revista Medica Sinergia*. 2023 Jun 1;8(6):e1063–e1063.
19. Stojanović NN, Kostić A, Mitić R, Berilažić L, Radisavljević M. Association between circle of willis configuration and rupture of cerebral aneurysms. *Medicina (Lithuania)*. 2019 Jul 1;55(7).
20. Haghighimorad M, Bahrami-Motlagh H, Salehi E, Radmanesh A. Anatomical variations in posterior part of the circle of Willis and their associations with brain infarct in different vascular territories. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022 Dec 1;53(1).
21. He Z, Wan Y. Is fetal-type posterior cerebral artery a risk factor for intracranial aneurysm as analyzed by multislice CT angiography. *Exp Ther Med*. 2018 Jan 1;15(1):838–46.
22. Biondi A. Intracranial Aneurysms Associated with Other Lesions, Disorders or Anatomic Variations. *Neuroimaging Clin N Am*. 2006 Aug;16(3):467–82.

23. 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*. 2023 Mar 1;25(1):36–49.
24. Muñoz-Gamito G. Sociedad iberoamericana de información científica. 2013 [cited 2023 Aug 15]. Variantes anatómicas de la circulación cerebral: arteria trigeminal persistente. Available from: <https://siic.info/dato/expertoimpreso.php/122653>
25. Nakai Y, Yasuda S, Hyodo A, Yanaka K, Nose T. Infratentorial Arteriovenous Malformation Associated With Persistent Primitive Trigeminal Artery. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2000;40(11):572–4.
26. Ohtakara K, Kuga Y, Murao K, Kojima T, Taki W, Waga S. Posterior Fossa Arteriovenous Malformation Associated with Persistent Primitiv Trigeminal Artery. Case Report. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2000;40(3):169–72.
27. Gross BA, Du R. Diagnosis and Treatment of Vascular Malformations of the Brain. *Curr Treat Options Neurol*. 2014 Jan 10;16(1):279.
28. Besada C, Ulla M, Levy E, Garcia-Monaco R. Tomografía computada multislice: aplicaciones en SNC y cabeza y cuello. ¿Cómo , cuándo, por qué y para qué? *Revista Argentina de Radiología* [Internet]. 2009;3(2):152–60. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382538474003>
29. American College of Radiology. ACR–NASCI–SIR–SPR practice parameter for the performance and interpretation of body computed tomography angiography (CTA). [Internet]. 2017. Available from: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/body-cta.pdf?la=en>
30. Ledbetter LN, Burns J, Shih RY, Ajam AA, Brown MD, Chakraborty S, et al. ACR Appropriateness Criteria® Cerebrovascular Diseases-Aneurysm, Vascular Malformation, and Subarachnoid Hemorrhage. *Journal of the American College of Radiology*. 2021 Nov 1;18(11):S283–304.
31. Guo W, He XY, Li XF, Qian DX, Yan JQ, Bu DL, et al. Meta-analysis of diagnostic significance of sixty-four-row multi-section computed tomography angiography and three-dimensional digital subtraction angiography in patients with cerebral artery aneurysm. *J Neurol Sci*. 2014 Nov 15;346(1–2):197–203.

32. Tarulli E, Sneade M, Clarke A, Molyneux AJ, Fox AJ. Effects of circle of Willis anatomic variations on angiographic and clinical outcomes of coiled anterior communicating artery aneurysms. *American Journal of Neuroradiology*. 2014;35(8):1551–5.
33. Songsaeng D, Geibprasert S, Willinsky R, Tymianski M, Terbrugge KG, Krings T. Impact of anatomical variations of the circle of Willis on the incidence of aneurysms and their recurrence rate following endovascular treatment. *Clin Radiol*. 2010 Nov;65(11):895–901.
34. González X, Landó F. Angiotomografía cerebral: variantes anatómicas más frecuentes del polígono de Willis. *Ensayo iconográfico. Rev Imagenol* . 2014;2:93–7.
35. Rivas D, Huertas M, Rodríguez H. Vol. 6, *Revista Peruana de Neurología*. 2000 [cited 2023 Oct 25]. p. 46–50 Variantes anatómicas del polígono de Willis Estudio de 307 casos. Available from: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BvRevistas/neurologia/v06_n3/variantes.htm
36. Martínez F, Spagnuolo E, Calvo-Rubal A, Laza S, Sgarbi N, Soria-Vargas VR, et al. Variaciones del sector anterior del polígono de Willis. Correlación anatomo-angiográfica y su implicancia en la cirugía de aneurismas intracraneanos (Arterias: ácidos cerebral anterior, mediana del cuerpo calloso y cerebral media accesoria). *Neurocirugía*. 2004;15(6):578–88.
37. Martinez F, Spagnuolo E, Calvo A. Aneurismas del sector distal de la arteria cerebral anterior (arteria pericallosa). *Neurocirugía*. 2005;16(4):333–44.

9. ANEXOS

Formato de recolección de datos

Formulario de recolección de datos para obtener la prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis y su asociación con la presencia de alteraciones vasculares estructurales intracraneanas en pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo en HEP de diciembre 2021 a agosto 2023

Nombre: _____	Edad: _____ años cumplidos
No. De afiliación: _____	Sexo: _____
Indicación del estudio: _____	
Comorbilidades: _____	
Variante anatómica: _____	
Localización de la variante anatómica: _____	
Tipo de variante anatómica: _____	
Presencia de aneurisma: _____	
No. de aneurismas: _____	
Localización del aneurisma: _____	
Malformación arterio – venosa: _____	
Otras alteraciones estructurales vasculares: _____	



GOBIERNO DE
MÉXICO



Fecha: 25 de agosto de 2023

SOLICITUD DE EXCEPCION DE LA CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Para dar cumplimiento a las disposiciones legales nacionales en materia de investigación en salud, solicito al Comité de Ética en Investigación de C.M.N. Manuel Ávila Camacho que apruebe la excepción de la carta de consentimiento informado debido a que el protocolo de investigación "Prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis y su asociación con la presencia de alteraciones vasculares estructurales intracraneanas en pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo en HEP de diciembre 2021 a agosto 2023", es una propuesta de investigación sin riesgo que implica la recolección de los siguientes datos ya contenidos en los expedientes clínicos:

- a) Nombre
- b) Edad
- c) Antecedentes médicos
- d) Reporte de estudio de angiotomografía de cráneo

MANIFIESTO DE CONFIDENCIALIDAD Y PROTECCION DE DATOS

En apego a las disposiciones legales de protección de datos personales, me comprometo a recopilar solo la información que sea necesaria para la investigación y esté contenida en el expediente clínico y/o base de datos disponible, así como codificarla para imposibilitar la identificación del paciente, resguardarla, mantener la confidencialidad de esta y no hacer mal uso o compartirla con personas ajenas a este protocolo.

La información recabada será utilizada exclusivamente para la realización del protocolo "Prevalencia de las variantes anatómicas del círculo de Willis y su asociación con la presencia de alteraciones vasculares estructurales intracraneanas en pacientes con estudio de angiotomografía de cráneo en HEP de diciembre 2021 a agosto 2023" cuyo propósito es realizar la tesis de especialidad.

Estando en conocimiento de que en caso de no dar cumplimiento se procederá acorde a las sanciones que procedan de conformidad con lo dispuesto en las disposiciones legales en materia de investigación en salud vigentes y aplicables.

Atentamente

Nombre: Nancy Rosalía Bertado Ramírez
Categoría contractual:
Investigador(a) Responsable



Ricardo
Flores
Magón
Año de
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Aprobación del tema por el comité		MES 1						
Recopilación de la información			MES 1-2					
Procesamiento de la información					MES 2			
Análisis de datos						MES 3		
Elaboración final							MES 3-4	
Presentación del trabajo final de tesis								MES 4