



UNAM

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
INSTITUTO DE SEGURIDAD Y SERVICIOS SOCIALES DE LOS TRABAJADORES DEL ESTADO  
CENTRO MÉDICO NACIONAL  
"20 DE NOVIEMBRE"

Aneurismas cerebrales asociados a variantes anatómicas de la circulación cerebral anterior.

REGISTRO: 515.2023

TESIS DE POSGRADO  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
TERAPIA ENDOVASCULAR NEUROLÓGICA

PRESENTA  
DR. MAURICIO DANIEL SÁNCHEZ CALDERÓN

ASESOR: DR. JUAN CARLOS LUJÁN GUERRA

CIUDAD DE MÉXICO, 2024





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

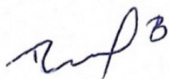
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

ANEURISMAS CEREBRALES ASOCIADOS A VARIANTES ANATÓMICAS DE LA CIRCULACIÓN  
CEREBRAL ANTERIOR.  
No. De Registro: 515.2023

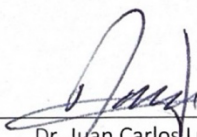
FIRMAS DE AUTORIZACIÓN



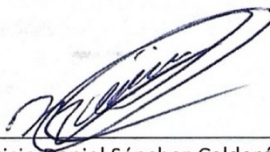
\_\_\_\_\_  
Dra. Denisse Añorve Bailón  
Subdirectora de Enseñanza e Investigación  
Centro Médico Nacional "20 de noviembre", ISSSTE

\_\_\_\_\_  
Dr. Christian Gabriel Toledo Lozano  
Enc. De la Coordinación de Investigación  
Centro Médico Nacional "20 de noviembre", ISSSTE

\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis Aceves Chimal  
Enc. De la Coordinación de Enseñanza  
Centro Médico Nacional "20 de noviembre", ISSSTE.



\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Luján Guerra  
Director de Tesis  
Profesor Titular de la Especialidad de Entrada Indirecta de Terapia Endovascular Neurológica  
Centro Médico Nacional "20 de noviembre", ISSSTE



\_\_\_\_\_  
Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón  
Tesista  
Residente de Especialidad de Entrada Indirecta de Terapia Endovascular Neurológica  
Centro Médico Nacional "20 de noviembre", ISSSTE

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por apoyarme en cada logro y paso que he dado, en especial a mis padres (Miguel Ángel Sánchez Hinojosa y María Teresa Calderón Valdez) que gracias a ellos, a su apoyo, consejos y acompañamiento durante los 14 años de trayectoria en la medicina me han colocado en dónde me encuentro.

Agradezco a Lilia por estar conmigo, por motivarme a esforzarme para sacar lo mejor de mi en todo momento.

A mis maestros, Dr. Juan Carlos Luján Guerra por aceptarme cómo alumno e instruirme, al Dr. Andrés Jaime Aguirre por apoyarme y mostrarme el camino para mejorar mi formación en esta institución; al Dr. José Ramón Aguilar Calderón que me mostró lo apasionante, gratificante y dichoso que es ser Terapista Endovascular.

Gracias a mis compañeros y colegas (Elena Córdoba, Diego Ochoa, Rodrigo Hernández, Erick Castañeda, Enrique Castellanos, Gustavo Venegas, Javier Lagos, Christian Méndez) que he conocido a lo largo de mis posgrados por apoyarme, acompañarme en cada paso, han sido parte importante de mi formación.

Y gracias al Dr. José Raúl Guerra Mora (Q.E.P.D.) por incentivar me, inspirarme, apoyarme y por siempre creer en mí.

Gracias a la vida y a Dios por darme la inteligencia, resiliencia, paciencia y tolerancia para llegar hasta este punto.

# ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>5</b>
<b>Abreviaturas.....</b>	<b>6</b>
<b>I. Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>II. Antecedentes.....</b>	<b>8</b>
<b>III. Planteamiento del problema.....</b>	<b>17</b>
<b>IV. Justificación.....</b>	<b>17</b>
<b>V. Objetivos generales.....</b>	<b>17</b>
<b>VI. Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>VII. Material y métodos.....</b>	<b>18</b>
<b>VIII. Procesamiento y análisis estadístico.....</b>	<b>21</b>
<b>IX. Aspectos éticos.....</b>	<b>22</b>
<b>X. Resultados.....</b>	<b>23</b>
<b>XI. Discusión.....</b>	<b>28</b>
<b>XII. Conclusiones.....</b>	<b>30</b>
<b>XIII. Referencias.....</b>	<b>30</b>

## **Aneurismas cerebrales asociados a variantes anatómicas de la circulación cerebral anterior.**

### **RESUMEN**

**INTRODUCCIÓN:** Las variantes de la carótida interna cobran importancia en la incidencia y prevalencia de aneurismas cerebrales. A pesar de la cantidad de disecciones cerebrales y revisiones existe poca información con respecto a la asociación de variantes de circulación cerebral anterior y la presencia de aneurismas.

**OBJETIVO:** Identificar y describir la asociación de las variantes anatómicas de la circulación cerebral anterior con la ruptura de aneurismas cerebrales.

**METODOLOGÍA:** Se incluyeron pacientes con aneurismas cerebrales de circulación anterior sometidos a panangiografía cerebral en el Centro Médico Nacional (CMN) “20 de Noviembre”, ISSSTE de marzo 2022 a abril 2023. Se revisaron estudios y se realizaron mediciones de aneurismas de arteria carótida interna y el ángulo anterior del sifón carotídeo. Se describieron los datos con medidas de resumen no paramétricas y se calculó el Odds Ratio (OR), con intervalos de confianza al 95%, para las variables de interés.

**RESULTADOS:** Con un total de 50 pacientes hubo mayor prevalencia del género femenino y mediana de 57 años (52 – 75). Las comorbilidades más frecuentes que se encontraron fueron la Hipertensión Arterial Sistémica (48%) e hipotiroidismo (20%). La presentación clínica más frecuente fue con ruptura (88%). Se encontró mediana de 1.9 en el “Aspect Ratio” y en el 66% de los casos fue  $> 1.6$  así como en el 62% de los casos el ángulo anterior del sifón carotídeo fue  $< 15.4^\circ$ . También se encontró que un ángulo anterior  $> 15.4^\circ$  presenta un OR de 4.349 (IC 95% 1.06 – 18.20) el cuál es significativo para presentar un “Aspect Ratio” mayor.

**CONCLUSIÓN:** El OR de 4.349 traduce una asociación significativa, muy importante, entre tener un ángulo anterior del sifón carotídeo mayor a  $15.4^\circ$  y un “Aspect Ratio” mayor a 1.6; lo que genera alteraciones intravasculares de estrés hemodinámico y mayor predisposición a ruptura.

## ABREVIATURAS

ACA: Arteria Cerebral Anterior

ACI: Arteria Carótida Interna

AcomA: Arteria Comunicante Anterior

AcomP: Arteria Comunicante Posterior

ACM: Arteria Cerebral Media

AR: Aspect Ratio

ArtCorAnt: Arteria Coroidea Anterior

DM2: Diabetes Mellitus Tipo 2

HAS: Hipertensión Arterial Sistémica

OR: Odds Ratio

SC: Sifón Carotídeo

|

## I. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la medicina moderna se han hecho descripciones, estudios y revisiones clínicas con respecto a la anatomía y anatomía funcional del sistema nervioso central; varios científicos lo han realizado con base a disecciones cadavéricas y durante los procedimientos realizados de cada autor. Con el paso del tiempo y las revisiones anatómicas han descrito variantes en la anatomía arterias cerebrales que convierten a cada sistema nervioso central en una pieza única (1).

La incidencia de los aneurismas cerebrales es variable alrededor del mundo y es aproximadamente de 6% en la población internacional; en los pacientes sin factores de riesgo la incidencia es aproximadamente del 2%. Una vez que los aneurismas se han roto, un tercio de los pacientes mueren y dos tercios sobreviven, de los cuales el 50% presentan total dependencia para los cuidados.

El estrés hemodinámico contribuye al desarrollo y crecimiento subsecuente de los aneurismas(2). La condición anatómica puede propiciar estrés hemodinámico vascular, las interacciones hemodinámicas del flujo sanguíneo y la pared del vaso han recibido especial atención en años recientes. El balance entre el estrés hemodinámico secundario al flujo sanguíneo en pulso de “martillo de agua” y el estrés por la viscosidad de la sangre y la fricción con la pared parecen estar relacionados produciendo condiciones que promueven la formación, desarrollo y producción de aneurismas cerebrales pero no se ha establecido su asociación por lo que propuso la presente investigación para identificarla que servirá para identificar trastornos anatómicos con capacidad para desarrollar aneurismas promoviendo la vigilancia estrecha y tratamiento oportuno.



## II. ANTECEDENTES

La anatomía vascular cerebral es básica para el profesional de las neurociencias; en neurocirugía principalmente es importante el conocimiento minucioso de los trayectos vasculares para ofrecer el mayor beneficio en patologías vasculares y neoplásicas neuroquirúrgicas.

Han existido muchos eruditos de la neurociencia que describen el patrón anatómico y sus diversas variantes de las distintas áreas vasculares desde extracraneales supraórticas hasta intracraneales. Las primeras descripciones de vasculatura cerebral existen desde 1664 por Thomas Willis con el reporte del polígono de Willis en la base del cráneo; otros libros de texto con registro de descripciones de sistema vascular van desde Quain (1844), Luschka (1867), Henle (1868) y Duret (1874) así como la descripción de arterias mesencefálicas por Alezais and d'Astros (1892) hasta el entendimiento que se tiene hoy en día de la circulación cerebral. Entre 1884 y 1888 Windle reportó variantes anatómicas realizadas en necropsias de 200 cadáveres. Durante los últimos 2 siglos se ha prestado particular importancia a la anatomía vascular cerebral y comenzaron la relación con diversos síndromes clínicos. Con el advenimiento de la arteriografía (angiografía cerebral) y el tratamiento activo de aneurismas cerebrales, importantes contribuciones a la literatura se realizaron por parte de neuro radiólogos, neurólogos y neurocirujanos así también la relación entre las diferentes variantes anatómicas y la presencia de aneurismas cerebrales (3–5).

En la década de los 70's Albert Rhoton y Yasargil con descripciones cadavéricas con reporte de variantes anatómicas y su frecuencia en la población estudiada(6–8). Las variantes anatómicas han sido estudiadas por expertos en sus materias desde patólogos, neurólogos, neurocirujanos neuro radiólogos con diferentes técnicas. La importancia de esto para el neurocirujano es el manejo adecuado de patologías diversas intracraneales con la preservación y el respeto de dichas arterias para evitar daño a las mismas y conservar el flujo cerebral sin alteraciones (7).

La circulación cerebral se origina principalmente por 4 arterias, la arteria carótida interna (2) y la arteria vertebral (2) estas arterias tienen clasificaciones particulares que ayudan a su mejor entendimiento de la anatomía (7).

### **Anatomía de Arteria Carótida Interna**

La arteria carótida interna (ACI) se clasifica en 4 segmentos (C1 a C4) (Rhoton, 1976) y en 7 segmentos (C1 a C7) (Bouthillier, 1996) desde su origen a nivel de la bifurcación carotídea a la altura de la unión de C4 y C5 y después de eso; sin embargo, se han descrito bifurcaciones más altas (Lie, 1968 con bifurcación a nivel del Atlas y más bajas (Vitek and Reaves, 1973 con bifurcación a nivel torácico); la última clasificación se orienta a una descripción angiográfica, sin embargo, ambas clasificaciones son ampliamente utilizadas actualmente y se describen de la siguiente manera: Rhoton; C1 segmento cervical que es desde la bifurcación hasta la entrada al canal carotídeo, C2 porción petrosa es el trayecto dentro del canal carotídeo hasta la entrada al seno cavernoso, C3 o porción cavernosa que describe el trayecto dentro del seno cavernoso hasta rebasar la clinoides anterior y C4 o supraclinoidea que es la porción terminal de la ACI y se encuentra en el espacio subaracnoideo; dentro de esta última Rhoton subclasifica la porción supraclinoidea con ramas terminales las cuales son las siguientes: arteria oftálmica, arteria comunicante posterior y arteria coroidea anterior para terminar en la bifurcación hacia arteria cerebral anterior y arteria cerebral media. Dichas arterias se describirán más adelante. Por parte de Bouthillier las clasifica en 7 segmentos: C1 o porción cervical, C2 o porción petrosa, C3 o porción lacerum, C4 o porción cavernosa, C5 o porción clinoidea, C6 o porción oftálmica y C7 o porción comunicante; recordemos que esta clasificación es más utilizada para descripción angiográfica sin embargo ambas clasificaciones son correctas.

La porción supraclinoidea (C4) tomando en cuenta la clasificación de Rhoton se subdivide en porción oftálmica, comunicante y coroidea y sus dos ramas terminales que son cerebral anterior con sus 5 porciones y ramas terminales; y cerebral media con sus 4 porciones con sus ramas perforantes y 12 ramas terminales (7,9).

La arteria oftálmica viaja en conjunto con el nervio óptico (Nervio Craneal II) y da origen a la arteria central de la retina, la isquemia en este territorio puede resultar en ceguera monocular transitoria (amaurosis fugax). Un aneurisma de arteria comunicante posterior (AComP) puede causar compresión externa del nervio oculomotor (III) causando parálisis de la mirada. En este caso, hay involucro de la pupila y también dolor por afección de la vía parasimpática hacia el músculo constrictor de la pupila que discurre por la superficie externa del nervio oculomotor (parálisis “quirúrgica”). La arteria coroidea anterior irriga el cuerpo geniculado lateral, globo pálido, y el brazo posterior de la cápsula interna. Infarto en este territorio se presenta cómo hemiplejía contralateral, hemianestesia y hemianopsia homónima (aunque es raro debido a irrigación dual de ramas provenientes de la arteria cerebral media (10).

El segmento proximal y horizontal de la arteria cerebral media (ACM) M1 da origen a las arterias lenticuloestriadas que suplen el brazo posterior de la cápsula interna y una porción de la cabeza y cuerpo del globo pálido y del núcleo caudado. Isquemia en este sitio resulta en hemiplejía contralateral y déficit hemisensitivo (predominantemente cara y brazo), hemianopsia homónima, parálisis de la mirada, afasia global o heminegligencia. M1 posteriormente se bifurca (o trifurca) en M2 hacia división superior e inferior. La isquemia preferentemente afecta la división superior que irriga la corteza frontal y parietal causando un déficit motor y sensitivo afectando el brazo y cara contralateral, una afasia no fluente en caso de involucrar el hemisferio dominante. La isquemia afectando la rama inferior que suple la corteza temporal y parietal posterior puede causar hemianopsia homónima contralateral más una afasia fluente o disprosodia en caso de ser hemisferio No-Dominante. Los segmentos de M2 se subdividen hacia M3 y finalmente hasta M4 irrigando áreas focales de la corteza cerebral (10).

El segmento proximal de la arteria cerebral anterior (ACA) A1 da origen a la arteria recurrente de Heubner (irrigando a la cabeza del núcleo caudado) y posteriormente se une a A1 contralateral a través de la arteria comunicante anterior (AComA) la cuál conecta la circulación anterior entre ambos hemisferios en la mayoría de los individuos. Las ACAs continúan hacia el segmento A2 hasta el origen de la arteria calloso marginal,

para continuar su trayecto hacia A3 (arteria pericallosa) discurrendo superior al cuerpo calloso. La ACA irriga el aspecto medial de los lóbulos frontal y parietal, la isquemia en este territorio incluye déficit motor y sensitivo contralateral de predominio en miembros inferiores, incontinencia urinaria, abulia y apraxia de la marcha. La AComA es el sitio más común de aneurismas en el polígono de Willis y su ruptura puede producir hemorragia subaracnoidea y un hematoma en forma de “flama”. Un tercio de los pacientes tienen hipoplasia de A1 y pueden no tolerar la oclusión carotídea debido a falta de circulación colateral (10).

El polígono de Willis es un circuito que conecta la circulación anterior y posterior, así como el hemisferio derecho e izquierdo. El circuito está formado por la AComA, A1s pareadas, C7 (ACI) pareadas, AComPs pareadas, P1s pareadas y el tope de la arteria basilar. Aunque puede proveer un significativo flujo colateral durante un ictus, es circunferencialmente permeable en el 50% de los individuos, y un polígono intacto puede no prevenir secuelas neurológicas de una oclusión aguda proximal o distal. Cabe destacar, que aproximadamente el 60% de los aneurismas intracraneales ocurren en sitios dentro del polígono de Willis. Existen raras variantes de circulación colateral que incluyen la arteria trigeminal persistente, que es una comunicación arterial fetal entre la arteria basilar y C4 (cavernoso) de la ACI (10).

Los aneurismas intracraneales afectan aproximadamente 6 a 10% de la población mundial. Afortunadamente, sólo el .05% de los pacientes presentan ruptura y hemorragia subaracnoidea de estos un tercio mueren y dos tercios sobreviven con 50% de los sobrevivientes con total dependencia para cuidados. El estrés hemodinámico contribuye al desarrollo y crecimiento subsecuente de los aneurismas. Aproximadamente el 25 al 50% de todos los pacientes tienen datos de alarma que señalan el establecimiento de la hemorragia subaracnoidea. Describen cefalea en “trueno” o cómo el peor dolor de sus vidas (2,11).

Muchos factores se han relacionado a la formación, Desarrollo y ruptura de aneurismas intracraneales. Dentro de éstos las interacciones hemodinámicas de el flujo sanguíneo y la pared del vaso han recibido especial atención en años recientes. El balance entre el

estrés hemodinámico secundario al flujo sanguíneo en pulso de “martillo de agua” y el estrés por la viscosidad de la sangre y la fricción con la pared parecen estar relacionados con el origen y el desarrollo de los aneurismas. La contribución hemodinámica puede ser ejemplificada por la localización preferida de los aneurismas en bifurcaciones arteriales y curvaturas (12,13). Por ende, el sifón carotideo es de particular importancia porque es un segmento vascular tortuoso con dobleces agudos por los cuáles llega el flujo sanguíneo a la circulación cerebral anterior (14).

Se ha reportado gran variabilidad entre los territorios vasculares de la carótida interna, arteria cerebral posterior, arteria comunicante posterior, arteria coroidea anterior e incluso arteria cerebral media. Hay anastomosis importante entre ramas de arteria coroidea anterior y arteria cerebral posterior por ramas proximales y distales de dichas arterias por lo cual se dificulta predecir el efecto clínico de la oclusión de la arteria coroidea anterior (15).

En el estudio de angiografía se observa su trayecto en proyecciones AP y lateral y sus ramas terminales principalmente en el segmento plexal se observa en fase arterial tardía. Se han descrito muchas anomalías tanto en origen y desarrollo de esta arteria desde Carpenter et al. 1954 cuando reportó orígenes aberrantes desde la arteria comunicante posterior y arteria cerebral media hasta orígenes proximales a la AComPos hasta aplasia de dicha arteria también reportado por *Carpenter et. al.* en 1954 (16,17).

Las revisiones más recientes y extensas (Takahashi et. al, 1990) considerando trabajos previos se clasificaron en dos las anomalías de desarrollo de la ArtCorAnt: hipo\_e hiperplásicas. Las hipoplásicas que son las menos frecuentes, el segmento distal (plexal) es hipoplásico y por consecuencia no es visible en el estudio de angiografía. En el segundo grupo (hiperplásicas) la arteria está bien desarrollada y toma parcial o totalmente el territorio vascular de la arteria cerebral posterior. Hay ramas perforantes de la ACI que se originan en segmento coroideo en la pared posterior distales al origen de la ArtCorAnt e irrigan al genu de la cápsula interna, brazo posterior y parte adyacente del globo pálido; estas ramas son rara vez visibles en la angiografía. Por estas mismas

variantes y anomalías en los territorios vasculares correspondientes no se ha determinado un síndrome clínico habitual; se han reportado diferentes tipos de déficits neurológicos como hemianestesia, hemiplejía, hemianopsia hasta pacientes asintomáticos. Se ha realizado incluso como manejo para la enfermedad de Parkinson (18).

Las variantes anatómicas descritas son hipoplasia, hipoplasia severa y aplasia de A1 en un 10% y 1% respectivamente; estas variantes se asocian a presencia de aneurismas en AComA (Perlmutter and Rhoton 1976; Huber 1979; Yasargil 1984). Dos a tres AComA se presentaron en hasta 40% de los casos revisados por Perlmutter y Rhoton en 1976. Una variante rara primera vez reportada en 1950 por Robinson se describe como ramas terminales de la ACI cercanas a la arteria oftálmica y que discurren hacia la unión A1-A2 con ausencia o reemplazando a A1; diversos autores han reportado esta anomalía la segunda mitad del siglo XX e incluso se ha reportado mayor incidencia de aneurismas en AComA. En segmento postcomunicante se han reportado varias anomalías anatómicas, desde duplicación de arteria pericallosa, arteria calloso marginal única con irrigación bilateral o la presencia de una rama terciaria bien desarrollada denominada “arteria pericallosa triplex” o “arteria mediana corporis callosi”; la arteria pericallosa puede ser única (azygos) y anastomosis entre arterias pericallosas tomando en cuenta estas variantes se toma en cuenta la mayor incidencia de aneurismas de circulación anterior asociados a estas diversas variantes. Una variante rara reportada por Tsuji et.al. (1995) es la persistencia de la arteria olfatoria primitiva y esta discurre hacia frontobasal y posterior presenta un giro de casi 180 grados dirigiéndose al cuerpo calloso. Con respecto a la arteria de Heubner (recurrente) excepcionalmente está ausente de manera unilateral y en ocasiones se confunde con A1 en caso de que esta última sea hipoplásica (6,7).

Es importante mencionar los patrones anatómicos descritos de la división troncal de la ACM, M1, se reportaron 3 maneras diferentes: 1) bifurcación en tronco superior e inferior; 2) trifurcación con tronco superior, medio e inferior y 3) en división en 4 o más troncos con una prevalencia de 78%, 12% y 10% respectivamente. Otro detalle importante sobre

la ACM a nivel de ramas terminales es que se dividen en arterias “tallo” previo a sus segmentos más distales; cada una de estas arterias tallo suplen uno o dos territorios cerebrales adyacentes y más comúnmente ocurre en segmentos centrales y temporoccipitales; las arterias “tallo” con más de 4 subdivisiones habitualmente se encuentran debajo de la cisura silviana; Rhoton describe en su revisión patrones de arterias “tallo” con respecto a lóbulos cerebrales: lóbulo frontal es irrigada con 1 hasta 4 arterias tallo; el lóbulo parietal y la porción occipital adyacente son irrigadas por 1 a 3 arterias “tallo”. El lóbulo temporal y la porción occipital adyacente se irrigan por 1 o hasta 5 arterias tallo; siendo este último quien presenta mayor involucro de arterias raíces de ACM a comparación de otros lóbulos (6).

Diferentes variantes anatómicas se han descrito a lo largo de todos sus segmentos; desde la aplasia de ACM, la fenestración de M1, una ACM accesoria que fue conocida como arteria recurrente de Heubner sin embargo posteriormente se retiró dicho nombre (6,7,19).

La angiografía cerebral se trata de un estudio invasivo que puede ser tanto diagnóstico como terapéutico y sirve de gran complemento diagnóstico para distintas patologías neuroquirúrgicas de origen vascular y neoplásico. El estudio de angiografía fue presentado por Egas Moniz en el Congreso de la Sociedad Neurológica de Francia en el año de 1927 y era llamado cómo “L’encephalographie arterielle” e inicialmente era utilizado para estudio de vasos cerebrales; con el paso del tiempo la técnica fue refinándose desde la técnica de introducción por Seldinger en 1953, la sustracción digital por Ziedses desplantes en 1963 hasta la modernización de catéteres diagnósticos, terapéuticos y toxicidad de medio de contraste utilizado. En la actualidad con el advenimiento de nuevas técnicas diagnósticas más económicas, menos invasivas y que presentan buena sensibilidad y especificidad para el manejo de diversas patologías ha perdido parcial auge la realización de la angiografía; sin embargo; cuando esos estudios no son concluyentes puede ser de gran utilidad para el diagnóstico e incluso el tratamiento la angiografía cerebral (20). Por ejemplo, existe el índice de Aspect o “Aspect Ratio” (AR) que se define cómo la altura del aneurisma, dividida por el cuello del

aneurisma y se considera cómo un parámetro geométrico útil para estratificación del riesgo de ruptura. Hallazgos en múltiples estudios han sugerido que los aneurismas rotos más comúnmente presentarán un promedio de AR de 2.4, pero los aneurismas NO rotos en promedio tendrán un  $AR < 1.6$ . Sin embargo, aún no existe un consenso ratificado con respecto al valor “umbral” de este índice que sea útil para la aplicación clínica estandarizada (27).

En México se han reportado variantes anatómicas por medio de estudios no invasivos; un estudio realizado en 412 pacientes que fueron sometidos a angiografía magnética con imágenes 3D TOF documentó 30 pacientes (7.2%) con hipoplasia de la arteria cerebral anterior (ACA) derecha y 10 pacientes con hipoplasia en la ACA izquierda (2.4%). Hipoplasia de la porción inicial de la ACP ó P1 en 34 casos (8.2%) y su asociación con hipoplasia de la ACA en 29 casos (7.2%). Arteria trigeminal primitiva persistente (ATP) en dos casos (0.4%) y arteria ácidos en sólo un paciente (0.2%). En 2015 reportaron variantes anatómicas en 650 pacientes describiéndose como sigue un 40% con al menos una variante en polígono de Willis, de estos un 12% fue en circulación anterior, un 69% fue en circulación posterior y un 11% en ambos sistemas arteriales y reporto dichas anomalías con el riesgo de eventos vasculares cerebrales (21,22).

Estudios realizados por Lin et.al., Bogunovic et.al. y Takeuchi y Karino mostraron que los vasos caracterizados por curvas más pronunciadas se asociaron a mayores oscilaciones de flujo y estrés al endotelio intercambiando el flujo laminar por flujo turbulento; estos cambios en el flujo sanguíneo disparando los primeros cambios endoteliales para la génesis de aneurismas o de formación de estenosis (12,23,24).

Picinelli et.al. analizó los dobleces del sifón carotideo con aneurismas y demostró que la ruptura de aneurismas ocurrió estadísticamente más frecuentemente en sifones de menor diámetro y más cortos, y a lo largo de la pared exterior de la curva (25). En un estudio reciente, Lauric et.al. comparan información demográfica e imágenes de sustracción digital 3D, mostró que las mujeres tienen sifones carotideos con curvaturas



más amplias a comparación de los hombres y que los pacientes con sifones con aneurismas asociados tienen más curvaturas en promedio (Figura 3 y 4.).

Se encontró que los valores del ángulo anterior sobre la media ( $15.40^\circ$ ) estaban directa e independientemente asociados con un 36% de mayor incidencia de ruptura de aneurismas y con un 48% de mayor probabilidad de presentar aneurismas de localización post-sifón y con aneurismas de mayor tamaño, en cuál cada  $1^\circ$  de incremento en dicho ángulo produjo un incremento de 1.001 mm en el tamaño del aneurisma. Un ángulo obtuso anterior con menor desaceleración del flujo laminar y menor generación de flujo turbulento en la cercanía del sifón carotídeo fueron estadísticamente asociados con aneurismas más grandes así como un mayor riesgo de ruptura y una mayor incidencia de aneurismas distales al sifón carotídeo. En cambio, ángulos agudos anteriores se asocian con mayor desaceleración de flujo laminar y mayor generación de flujo turbulento en el sifón y mostraron estar más asociados con aneurismas más pequeños, menor riesgo de ruptura y una mayor incidencia de aneurismas dentro del sifón carotídeo (14,26).

El análisis por subgrupos (localización) revelaron que los aneurismas localizados en la AcomA en pacientes con un ángulo anterior  $>15.40^\circ$  tuvieron un 84% de riesgo de ruptura ( $p=0.049$ ) lo que sugirió que los efectos hemodinámicos resultantes de la anatomía del sifón carotídeo persisten distales al mismo. Se halló una relación estadística independiente entre el tamaño de los aneurismas y la edad del paciente, en la cual, cada año que pasa (edad) produce un incremento promedio de 1.002 mm en el tamaño de los aneurismas. Se encontró también una relación directa entre un mayor ángulo anterior con la presencia de aneurismas intracraneales distales al sifón carotídeo, aneurismas más grandes y un mayor riesgo de ruptura. Estos hallazgos pueden ser asociados a las interacciones hemodinámicas entre el flujo sanguíneo y la curvatura del sifón mismo (14).

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Es importante el conocimiento de la anatomía vascular cerebral y si hay asociación entre estas variantes anatómicas a la presencia de aneurismas cerebrales. Las variantes de la carótida interna, sus segmentaciones, la angulación del sifón carotídeo, así como, su trayecto e incluso su disposición intracraneal, puede cobrar importancia en la incidencia y prevalencia de aneurismas los cuáles se han asociado significativamente en la literatura, sin embargo, en el servicio de Terapia Endovascular Neurológica no se ha identificado dicha asociación.

¿Cuál es la asociación de aneurismas cerebrales a variantes anatómicas de la circulación cerebral anterior?

### **IV. JUSTIFICACIÓN**

A pesar de la gran cantidad de disecciones cerebrales, revisiones imagenológicas (angioCT, angioresonancia cerebral) donde se han descrito la anatomía vascular cerebral; existe muy poca información con respecto a la asociación de circulación cerebral anterior y la presencia de aneurismas cerebrales.

La información obtenida puede cobrar vital importancia para la asociación de aneurismas cerebrales y las diferentes variantes anatómicas descritas; y con esto identificar áreas de oportunidad para mejorar la planeación de la técnica quirúrgica y/o endovascular en pacientes sometidos a tratamientos de aneurismas cerebrales que involucren la circulación cerebral anterior.

### **V. OBJETIVO GENERAL**

1. Identificar y describir la asociación de las variantes anatómicas de la circulación cerebral anterior con la ruptura de aneurismas cerebrales.

## **VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Describir las diferentes variantes anatómicas de las arterias de la circulación cerebral anterior.
2. Identificar (medir) el ángulo anterior del sifón carotídeo.
3. Identificar localización anatómica de aneurismas de circulación anterior.
4. Identificar dimensiones de cuello de aneurismas de circulación anterior.

### **Hipótesis**

1. Alternativa:
  - a. El ángulo del sifón carotídeo mayor de  $15.4^\circ$  condiciona una probabilidad para presentar un cuello ancho de los aneurismas.
  - b. El ángulo del sifón carotídeo mayor de  $15.4^\circ$  condiciona una probabilidad para presentar un "Aspect Ratio" mayor de 1.6.

## **VII. MATERIALES Y METODOS**

### **Diseño del estudio**

Retrolectivo, transversal, casos y controles anidados en una cohorte.

### **Población de estudio**

Pacientes con diagnóstico de aneurisma cerebral de circulación anterior que fueron sometidos a panangiografía cerebral y que fueron atendidos por Terapia Endovascular Neurológica y Neurocirugía del Centro Médico Nacional "20 de Noviembre", ISSSTE en el periodo de marzo 2022 a abril de 2023.

### **Universo de trabajo**

Paciente con enfermedad neurológica que fueron atendidos en el Centro Médico Nacional "20 de Noviembre", ISSSTE en el periodo de marzo 2022 a abril de 2023.

### **Tiempo de ejecución**

Cuatro meses (julio a noviembre 2023)

### **1. Criterios de inclusión**

Pacientes masculinos y femeninos mayores de 18 años con aneurismas cerebrales de circulación cerebral anterior.

Pacientes en quienes se les realizó estudio de angiografía cerebral y/o carotídea.

### **2. Criterios de exclusión**

Pacientes con antecedentes quirúrgicos previos y/o con enfermedad oncológica cerebral.

Pacientes con antecedentes de enfermedades de tejido conectivo diagnosticadas previo al diagnóstico de aneurismas cerebrales.

### **3. Criterios de eliminación**

Pacientes que no cuenten con su información completa en el expediente clínico (SIAH) y que no cuenten con estudio completo de angiografía cerebral diagnóstica y/o terapéutica.

### **Grupos de estudio**

1. La muestra se clasificó como casos y controles tomando en cuenta lo siguiente:
  - a. Controles, todos los pacientes que presentan aneurismas de cuello angosto (<4mm) y casos los pacientes que presentan aneurismas de cuello ancho (>4mm).
  - b. Controles, todos los pacientes que presenten ángulo anterior del sifón carotídeo (<15.4 grados) y casos los pacientes que presentan ángulo anterior del sifón carotídeo (>15.4 grados).

### **Tipo de muestreo**

#### **1. Muestreo no probabilístico**

Por conveniencia de acuerdo con los criterios de selección.

## Descripción operacional de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
<b>Edad</b>	Tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta la realización del estudio	Cuantitativa discreta	Años
<b>Sexo</b>	Característica morfológica que distingue a un hombre de una mujer que se estipula en el expediente clínico	Cualitativa dicotómica	Hombre, Mujer
<b>Número de aneurismas cerebrales</b>	Dilatación sacular o fusiforme de una arteria cerebral	Cuantitativa discreta	Unidades
<b>Localización de aneurisma cerebral</b>	Segmentos anatómicos de la arteria carótida interna intracraneal en donde se localizan los aneurismas cerebrales	Cualitativa nominal	C4, C5, C6, C7
<b>Dimensión de aneurisma cerebral</b>	Tamaño de domo y cuello de dilatación sacular o fusiforme de las arterias cerebrales	Cuantitativa continua	Milímetros
<b>Aspect Ratio</b>	La altura perpendicular máxima del aneurisma dividida entre el cuello del aneurisma	Cuantitativa continua	Ratio
<b>Tipo de Cuello de Aneurisma</b>	Tamaño de cuello de dilatación sacular o fusiforme de arterias cerebrales	Cualitativa dicotómica	Ancho o Angosto
<b>Tipo de Aneurisma Cerebral</b>	Tipo de ensanchamiento anormal de la pared arteria cerebral	Cualitativa dicotómica	Sacular, fusiforme
<b>Comorbilidades</b>	Dos o más trastornos que ocurren en la misma persona	Cualitativa nominal	Hipertensión Arterial sistémica, Diabetes Mellitus Tipo

			2, Miastenia Gravis, etc.
<b>Presentación clínica de aneurisma cerebral</b>	Forma en que se manifiesta una enfermedad al momento de la primera revisión clínica	Cualitativa dicotómica	Roto, No roto
<b>Ángulo de Sifón carotídeo</b>	Porción de la arteria carótida interna humana, corriendo a través del seno cavernoso	Cualitativa dicotómica	Grados ( $> 0$ o $< 15.4^\circ$ )
<b>Tipo de círculo de Willis</b>	Área de unión de varias arterias en la parte inferior del cerebro	Cualitativa dicotómica	Milímetros ( $> 0$ o $< 4$ mm)

### **Técnicas y procedimientos por emplear.**

Se obtuvo el registro de pacientes del servicio de Terapia Endovascular Neurológica y se seleccionaron las imágenes de los pacientes sometidos a angiografía cerebral y carotídea; y se evaluaron las estructuras anatómicas con y sin aneurismas por un terapeuta endovascular experto y se registraron las siguientes variables: Edad, sexo, ángulo de sifón carotídeo, localización, dimensiones y presentación de aneurismas cerebrales.

Las mediciones de ángulo de sifón carotídeo, dimensiones (mm) y localización de aneurismas se realizaron en el programa *Horos*.

### **VIII. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, para normalidad, y se describieron los datos, de acuerdo a su distribución, con frecuencias absolutas y relativas para variables cualitativas y medidas de tendencia central y dispersión para las cuantitativas, utilizando descriptivos paramétricos sólo en caso de corroborar una distribución gaussiana.

Se calculó el Odds Ratio, con el intervalo de confianza al 95%, para el análisis de asociación entre el “Aspect Ratio” y el diámetro del cuello, con el ángulo de sifón carotídeo mayor de 15.4°.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SPSS versión 29.0.

## **IX. ASPECTOS ÉTICOS**

En la realización del presente proyecto de investigación se consideraron y se tomaron en cuenta los diferentes principios éticos para la investigación en humanos, los cuáles están disponibles en la Declaración Internacional de Helsinki (En su versión revisada por la 64ª Asamblea Médica Mundial de Fortaleza, Brasil de 2013 y por la Asamblea General de la Salud en Materia de Investigación para la Salud, en su título segundo, capítulo I, artículo 17, el presente estudio queda clasificado como: 1.- Investigación sin riesgo ya que los métodos y técnicas son retrospectivos y no se realizará ninguna intervención o modificación intencionada en las variables fisiológicas, psicológicas y sociales de los individuos que participen en el estudio (revisión de expedientes clínicos).

Esta investigación no involucrará poblaciones vulnerables como niños, mujeres embarazadas o grupos subordinados. No se registrará datos personales que permitan identificar a los participantes.

Se considera una investigación con riesgo grado I (Riesgo mínimo) en una escala de I a IV.

### **Consentimiento informado.**

No aplica

### **Conflicto de intereses.**

No existen conflictos de intereses entre los investigadores y la realización del presente proyecto.

## CONSIDERACIONES DE BIOSEGURIDAD.

Los lineamientos están establecidos en la NOM 012-SSA3-2012 dónde se indica que el estudio es sin riesgo puesto que sólo se evaluará información confidencial.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Responsable	Periodo de tiempo
Evaluación por comités	Dr. Juan Carlos Luján Guerra y Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón	Julio 2023
Desarrollo del Estudio	Dr. Juan Carlos Luján Guerra y Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón	Agosto y Septiembre 2023
Análisis de Información y Tesis	Dr. Juan Carlos Luján Guerra y Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón	Septiembre 2023
Resultados esperados y productos entregables	Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón	Septiembre 2023
Determinar la asociación de aneurismas cerebrales de circulación anterior y las variantes anatómicas.	Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón	Septiembre 2023
Tesis de Subespecialidad	Dr. Mauricio Daniel Sánchez Calderón	Septiembre 2023

## X. RESULTADOS

### Demográficos

Se obtuvieron un total de 50 pacientes con los criterios de inclusión (Tabla 1.), 40 (80%) género femenino y 10 (20%) género masculino (Figura 4). Los pacientes presentaron una mediana de 57 años con mínimo y máximo de 52 y 64 años respectivamente (Figura 5).



Tabla 1. Características demográficas de la población.	
<b>n= 50</b>	
<b>Género</b>	
<i>Masculino</i>	10 (20%)
<i>Femenino</i>	40 (80%)
<b>Edad [mediana (mín-max)]</b>	57 años (52 – 64)
<b>Comorbilidades</b>	
<i>Hipertensión Arterial Sistémica</i>	25 (48%)
<i>Diabetes Mellitus Tipo 2</i>	3 (7%)
<i>Hipotiroidismo</i>	10 (20%)
<i>Cardiológicos</i>	3 (7%)
<i>Otros</i>	9 (18%)

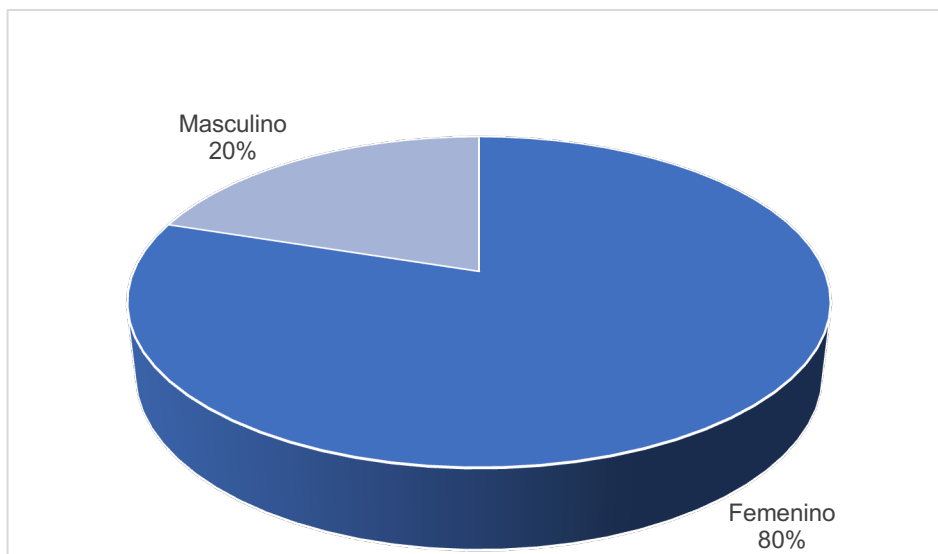


Figura 4. Prevalencia por género de pacientes con Aneurismas.

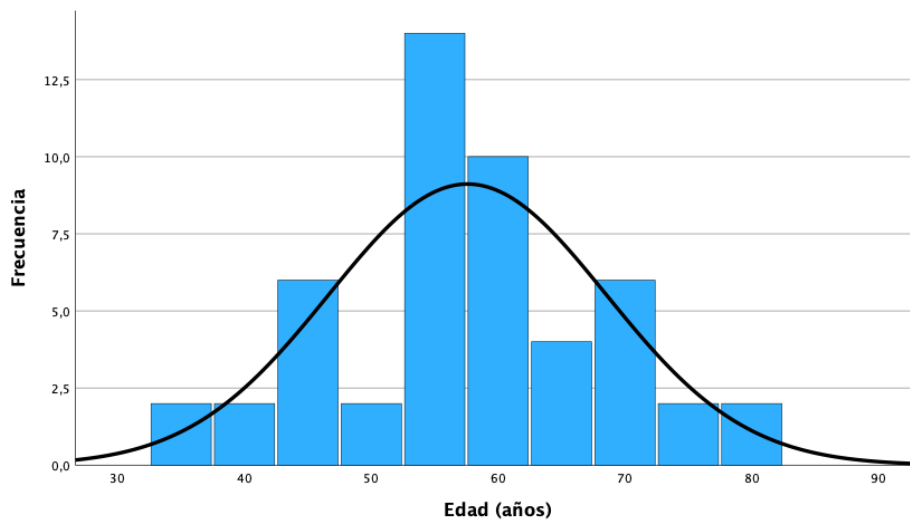


Figura 5. Histograma edad pacientes con aneurismas.

Las comorbilidades más prevalentes que se presentaron fueron Hipertensión Arterial Sistémica (HAS) en un 48%, seguida de hipotiroidismo en un 20%, Diabetes Mellitus Tipo 2 (DM2) 7%, cardiológicos 7% y otros en 18% con una prevalencia menor a 5% en la población representados por Trastorno Depresivo Mayor, Miastenia Gravis y Dislipidemia. (Figura 6)

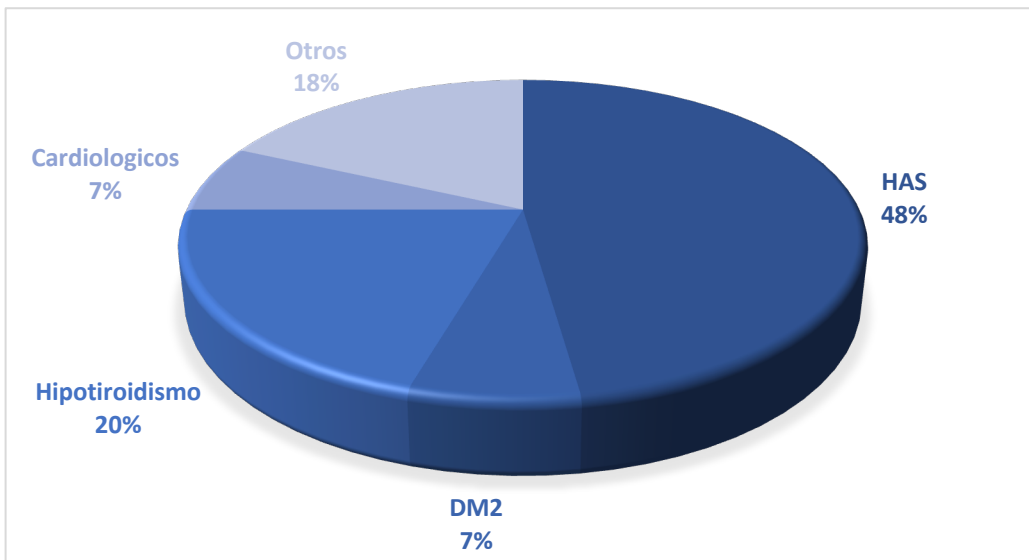


Figura 6. Prevalencia de comorbilidades en los pacientes con aneurismas (HAS: Hipertensión Arterial Sistémica; DM2: Diabetes Mellitus Tipo 2).

### Características de los aneurismas

La presentación clínica más frecuente fue de aneurisma roto presentándose en 44 casos con una prevalencia del 88%, solo 6 casos (12%) fueron incidentales. En relación con la localización en los segmentos carotídeos, C7 fue el que se presentó con más prevalencia (40.9%) como aneurisma roto; sin embargo, el 100% de los aneurismas en C5 debutaron de esta manera. Con relación a hallazgo incidental, C7 fue el más frecuente encontrándose en 5 casos (Tabla 2).

Tabla 2. Presentación clínica con relación al segmento carotideo de los aneurismas. (n=50)

<b>Segmento carotideo</b>	<b>Roto (n=44) n (%)</b>	<b>No roto (n=6) n (%)</b>	<b>Total (n=50) n (%)</b>
C5	9 (20.5)	0 (0)	9 (18)
C6	17 (38.6)	1 (16.7)	18 (36)
C7	18 (40.9)	5 (83.3)	23 (46)

Posterior al análisis por imagen con el programa *Horos* se encontraron los hallazgos reportados en la Tabla 3.

Tabla 3. Características generales de los aneurismas de la población. (n=50)

	<b>Frecuencia</b>	<b>Prevalencia (%)</b>
<b>Lateralidad</b>		
Derecha	30	60
Izquierda	20	40
<b>Cuello</b>		
Ancho	26	52
Angosto	24	48
<b>Aspect Ratio</b>		
>1.6	33	66
<1.6	17	34
<b>Ángulo del Sifón</b>		
>15.4	19	38
<15.4	31	62

Se encontró que la lateralidad más prevalente de aneurismas fue derecha presentándose en el 60% de los casos. En las características morfológicas, la mediana de cuello

aneurismático presentado fue de 4.3 mm (3.55 mm – 5.1 mm) y se evidenció que 26 (52%) de los casos presentaron cuello ancho (>4 mm), contra 24 (48%) con cuello angosto (<4 mm).

En el análisis del “Aspect Ratio” (AR), se encontró una mediana de 1.9 (1.38 – 2.84), donde 33 (66%) casos presentaron un AR mayor de 1.6.

En relación con el ángulo del Sifón, la mediana presentada fue de un ángulo de 11 (5.9-22.4) grados; se encuentra la mayor prevalencia (62%) con un ángulo menor de 15.4 grados.

### Sifón carotideo y morfología del aneurisma

Posterior al análisis de riesgo (Figura 7), se encontró que tener un ángulo mayor a 15. 4° presenta un Odds Ratio (OR) de 4.349 (IC 95% 1.06 – 18.20); sin embargo, al realizar el análisis con el incremento del diámetro del cuello, no se encontró un OR significativo el presentar un ángulo mayor de 15. 4° (OR 1.042 (IC 95% 0.33 3.26)).

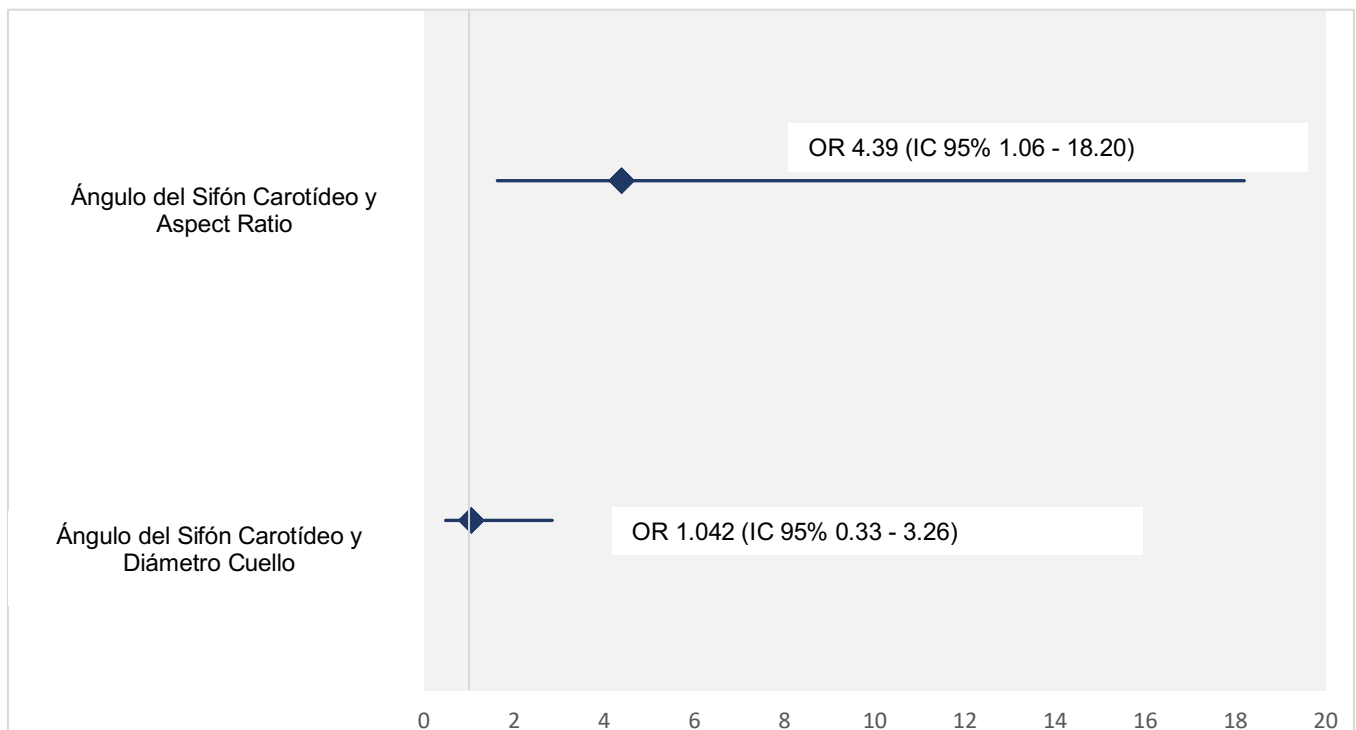


Figura 7. Odds Ratio de ángulo sifón carotídeo, “Aspect Ratio” y diámetro del cuello del aneurisma.

## XI. DISCUSIÓN

Los aneurismas cerebrales son causa importante de morbimortalidad a nivel mundial, existen diversos factores de riesgo que hacen más frecuente la presencia y ruptura de dichas lesiones las cuáles son, en primer lugar el género femenino con una relación 1.3:1 (M:H), también se ha observado una prevalencia e incidencia mayor en población por mayor de 60 años de edad, en este estudio se calculó la mediana en nuestra población, la cual es de 57 años, además un gran porcentaje de los pacientes son menores de 60 años lo cual no concuerda con lo reportado mundialmente (28).

La hipertensión arterial sistémica, también es un factor de riesgo modificable, éste es altamente prevalente en nuestra población, otro padecimiento que se encontró en nuestra muestra como segundo lugar, es el hipotiroidismo, que a comparación de otros estudios y poblaciones resultó ser más frecuente, sin demostrar relación directa con la presencia de aneurismas intracraneales.

La lateralidad y la localización de aneurismas en los segmentos arteriales intracraneales estudiados, se comportan de la misma manera que en lo previamente reportado en la epidemiología mundial, las características con respecto a la lateralidad de las lesiones no han sido detalladas a profundidad en estudios previos. Las manifestaciones clínicas encontradas pueden variar desde ser asintomáticas, o presentarse con cefalea (hasta un 36%), y con hemorragia subaracnoidea (deterioro neurológico focal y/o no focal, alteración del estado de despierto y en algunos casos incluso con muerte súbita) (28).

La población sujeta a este estudio muestra distribuciones demográficas similares a las reportadas en la literatura mundial.

El entendimiento de las características macroscópicas de los aneurismas así como la morfología de las arterias de la circulación cerebral anterior es primordial para identificar riesgos de ruptura e incluso para toma de decisiones en cuanto al tratamiento de estos pacientes. Las más importantes a tomar en cuenta son la localización (segmento arterial), tamaño (cuello y domo con medición en mm), tipo de dilatación

(sacular o fusiforme) y sobre todo el comportamiento del flujo laminar intra-arterial, estrés hemodinámico, tipo de sifón carotídeo y características intrínsecas de la distribución anatómica de las arterias cerebrales (ángulos del sifón carotídeo, ángulo anterior). (14, 25, 26). La mayoría de los aneurismas descritos en nuestros pacientes cuentan con un cuello mayor de 4mm (cuello ancho) (52%) que los convierten en candidatos ideales para manejo endovascular con técnicas asistidas (28).

Con los avances en técnicas endovasculares se ha logrado un mejor diagnóstico y caracterización de aneurismas, para los cuales se han descrito diferentes índices con valor pronóstico, éstos no cuentan con estandarización. También, se han calculado diferentes medidas para determinar el riesgo de ruptura de los mismos entre los cuales se encuentra el “Aspect Ratio” y el ángulo anterior del sifón carotídeo (14, 26, 27), entre otros; nuestra población demostró un alto porcentaje de aneurismas rotos (88%) y en la mayoría de estos pacientes presentaron un “Aspect Ratio” (AR) >1.6; lo cual, apoya a lo reportado en la literatura mundial (27).

Conforme pasa el tiempo y se describen más técnicas y dispositivos para el tratamiento quirúrgico y endovascular de los aneurismas cerebrales, que requiere hacer mayor énfasis en una adecuada caracterización de dichas lesiones, siendo primordial establecer la localización y medidas de altura y cuello del aneurisma; en los pacientes presentados en este estudio un 52% presentaron un cuello >4mm (ancho) sin relación a riesgo de ruptura, colocándolos como candidatos a técnicas endovasculares de embolización-asistida ya conocidas.

El incremento del riesgo de ruptura en pacientes con un ángulo >15.4° (AR >1.6) se puede explicar por las alteraciones intravasculares de estrés hemodinámico a las que son sometidas las arterias por la turbulencia e interrupción del flujo laminar, llevando a la ruptura de los aneurismas; ya que en los pacientes que presentan un ángulo <15.4° se tiene flujo sanguíneo laminar, lo cual, genera menor estrés hacia el endotelio vascular (12, 14, 23, 24, 26). Por esta razón, se considera que es imprescindible la realización de angiografía cerebral y carotídea en todos los pacientes con diagnóstico de aneurisma cerebral independientemente de sus manifestaciones clínicas, y con esto poder determinar el ángulo anterior del sifón carotídeo, así como el cálculo del “Aspect Ratio” y su relación con el ángulo; todo esto, cómo herramienta de apoyo para la adecuada

estratificación de riesgo de ruptura que permita ofrecer opciones de tratamiento endovasculares y limitar la morbimortalidad de esta patología.

La limitación de este estudio es principalmente el tamaño de muestra, por lo que se sugiere realizar estudios con una mayor muestra y también incluir pacientes con lesiones más distales (Arteria Comunicante Anterior y Arteria Cerebral Media) para otorgar un tratamiento oportuno mediante técnicas endovasculares a pacientes con aneurismas incidentales y de este modo disminuir su morbimortalidad.

## **XII. CONCLUSIONES**

En este estudio se encontró que la población estudiada se comporta demográficamente de la misma manera que lo reportado en la literatura mundial. La angiografía cerebral es un estudio necesario para conocer detalles y variantes anatómicas, como abordaje diagnóstico y terapéutico en los pacientes con aneurismas cerebrales; las mediciones del “Aspect Ratio”, y las variantes del ángulo anterior del sifón carotídeo son sencillas de realizar y al relacionarlas traducen un mayor riesgo de ruptura estadísticamente significativa; lo cual impacta de manera importante en la toma de decisiones clínicas y en el pronóstico de los pacientes.

## **XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Ochoa-Monroy, Ernesto. Circulo Arterial Cerebral ¿El Polígono de Willis? el 3 de junio de 2022 [citado el 11 de mayo de 2023]; Disponible en: <https://zenodo.org/record/6611481>
2. Ellengoben RG, Abdulrauf SI, Sekhar LN. Principles of Neurological Surgery. Third Edition. Elsevier; 2012. 209–228 p.
3. Riggs HE. Variation in Form of Circle of Willis: The Relation of the Variations to Collateral Circulation: Anatomic Analysis. Arch Neurol. el 1 de enero de 1963;8(1):8.
4. Stehbens WE. Histopathology of Cerebral Aneurysms.

5. Wilson G, Riggs HE, Rupp C. The Pathologic Anatomy of Ruptured Cerebral Aneurysms. *J Neurosurg.* marzo de 1954;11(2):128–34.
6. Yasargil, M. G. (2013). *Microneurosurgery, Volume I (1st ed.)*. Thieme. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/917505/microneurosurgery-volume-i-microsurgical-anatomy-of-the-basal-cisterns-and-vessels-of-the-brain-diagnostic-studies-general-operative-techniques-and-pathological-considerations-of-the-intracranial-aneurysms-pdf> (Original work published 2013).
7. Rhoton AL. The Supratentorial Arteries. *Neurosurgery.* el 1 de octubre de 2002;51(suppl\_4):S1-53-S1-120.
8. Rhoton AL Jr. Aneurysms. *Neurosurgery.* 2002 Oct;51(4 Suppl):S121-58. PMID: 12234448.
9. Bouthi A, Keller JT. Segments of the Internal Carotid Artery: A New Classification.
10. Shah RS, Jeyaretna DS. Cerebral vascular anatomy and physiology. *Surg Oxf.* noviembre de 2018;36(11):606–12.
11. Caranci F, Briganti F, Cirillo L, Leonardi M, Muto M. Epidemiology and genetics of intracranial aneurysms. *Eur J Radiol.* octubre de 2013;82(10):1598–605.
12. Takeuchi S, Karino T. Flow patterns and distributions of fluid velocity and wall shear stress in the human internal carotid and middle cerebral arteries. *World Neurosurg.* marzo de 2010;73(3):174–85.
13. Naruse T, Tanishita K. Large Curvature Effect on Pulsatile Entrance Flow in a Curved Tube: Model Experiment Simulating Blood Flow in an Aortic Arch. *J Biomech Eng.* el 1 de mayo de 1996;118(2):180–6.
14. Waihrich E, Clavel P, Mendes GAC, Iosif C, Moraes Kessler I, Mounayer C. Influence of Carotid Siphon Anatomy on Brain Aneurysm Presentation. *Am J Neuroradiol.* septiembre de 2017;38(9):1771–5.
15. Friedman JA, Pichelmann MA, Piepgras DG, Atkinson JLD, Maher CO, Meyer FB, et al. Ischemic complications of surgery for anterior choroidal artery aneurysms. *J Neurosurg.* abril de 2001;94(4):565–72.



16. Moyer DJ, Flamm ES. Anomalous arrangement of the origins of the anterior choroidal and posterior communicating arteries: Case report. *J Neurosurg.* junio de 1992;76(6):1017–8.
17. Carpenter MB. THE ANTERIOR CHOROIDAL ARTERY: Its Origins, Course, Distribution, and Variations. *AMA Arch Neurol Psychiatry.* el 1 de junio de 1954;71(6):714.
18. Mercier Ph, Brassier G, Cronier P, Fournier D, Reignier B, Velut S, et al. Microsurgical Anatomy of the Perforating Arteries of the Anterior Part of the Circle of Willis. *Riv Neuroradiol.* diciembre de 1993;6(3\_suppl):31–3.
19. Monroy-Sosa A, Pérez-Cruz JC, Reyes-Soto G, Delgado-Hernández C, Macías-Duvignau MA, Delgado-Reyes L. Importancia de la anatomía microquirúrgica del complejo A1-arteria comunicante anterior. *Cir Cir.* 2013;(4).
20. Artico M, Spoletini M, Fumagalli L, Biagioni F, Ryskalin L, Fornai F, et al. Egas Moniz: 90 Years (1927–2017) from Cerebral Angiography. *Front Neuroanat.* el 19 de septiembre de 2017;11:81.
21. Boleaga-Durán DB, Ameller-Terrazas DS, Criales-Cortés DJL. Variantes anatómicas del círculo arterial de la base craneal.
22. Hernández-Luna J Casares-Cruz K Rendón-Macías RE Licea-Medina D Castillo-Lima JA. Evaluación con angiorresonancia magnética nuclear de las variantes anatómicas del círculo arterial cerebral. 2015;14(3):256.261.
23. Lin LM, Colby GP, Jiang B, Uwandu C, Huang J, Tamargo RJ, et al. Classification of cavernous internal carotid artery tortuosity: a predictor of procedural complexity in Pipeline embolization. *J NeuroInterventional Surg.* septiembre de 2015;7(9):628–33.
24. Bogunović H, Pozo JM, Cárdenes R, Villa-Uriol MC, Blanc R, Piotin M, et al. Automated landmarking and geometric characterization of the carotid siphon. *Med Image Anal.* mayo de 2012;16(4):889–903.
25. Piccinelli M, Bacigaluppi S, Boccardi E, Ene-Iordache B, Remuzzi A, Veneziani A, et al. Geometry of the Internal Carotid Artery and Recurrent Patterns in Location, Orientation, and Rupture Status of Lateral Aneurysms: An Image-Based Computational Study. *Neurosurgery.* mayo de 2011;68(5):1270–85.

26. Silva Neto ÂR, Câmara RLB, Valença MM. Carotid siphon geometry and variants of the circle of Willis in the origin of carotid aneurysms. *Arq Neuropsiquiatr.* diciembre de 2012;70(12):917–21.
27. Texakalidis, P., Sweid, A., Mouchtouris, N., Peterson, E. C., Sioka, C., Rangel-Castilla, L., Reavey-Cantwell, J., & Jabbour, P. (2019). Aneurysm Formation, Growth, and rupture: The Biology and Physics of Cerebral Aneurysms. *World Neurosurgery*, 130, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.07.093>
28. Harrigan, M. R., & Deveikis, J. P. (2013). Handbook of Cerebrovascular Disease and Neurointerventional Technique. En *Humana Press eBooks*. <https://doi.org/10.1007/978-1-61779-946-4>