

Delimitación del Área de Riesgo de la Arteria Vertebral durante el Abordaje Suboccipital Paramediano.

Facundo Villamil, Guido Caffaratti, Mauro Ruella, Pablo Paolinelli, Ismael Calandri, Maximiliano Darakdjian, Ruben Mormandi y Andrés Cervio.

Servicio de Neurocirugía de FLENI. CABA

RESUMEN

Objetivo: El abordaje suboccipital paramediano (ASOPM) carece de reparos anatómicos constantes, representando esto un desafío a la hora de proyectar el recorrido del segmento horizontal de la arteria vertebral, cuyo daño puede acarrear resultados devastadores. Hasta el momento, no existen datos precisos para la identificación de dicha arteria en la planificación de este abordaje. El objetivo de este trabajo es presentar el primer sistema de reparos anatómicos y topográficos para la ubicación de la misma durante el ASOPM.

Materiales y métodos: Se dividió el estudio en 2 etapas. Una primera etapa retrospectiva donde se analizaron Angiotomografías (ATC) de 50 pacientes mayores de 18 años realizadas en una misma institución y 9 cabezas formolizadas disecadas en la III cátedra de anatomía, UBA. Se consideró el segmento de riesgo de la Arteria Vertebral a la porción horizontal del segmento V3 que fue delimitada por 2 líneas verticales (Línea A y Línea B). Se trazó una línea entre el Inion y la punta de la mastoidea (línea X), que dividimos en tres tercios. Se buscó una correlación entre el segmento horizontal de V3 y el tercio medio de dicha línea.

Se midió la distancia desde el inion a los bordes superior e inferior de V3, para determinar su ubicación en el plano craneocaudal. Mediante estas últimas mediciones se definió como punto de corte, el percentilo 5% para el borde superior (punto de corte superior o PCS) y el percentil 95% para el borde inferior (punto de corte inferior o PCI) con el afán de capturar el 90% de los casos, y se definieron el Área de Riesgo de la Arteria vertebral (ARsV3-AV) y el Punto de Riesgo de la arteria vertebral (PRsV3-AV).

En una segunda etapa de carácter prospectivo se validaron las mediciones previamente obtenidas mediante el uso de neuronavegación en 10 pacientes (20 lados) operados por el ASOPM.

Resultados: Se analizaron las mediciones de las ATC y los preparados cadavéricos.

La arteria, se ubicó en el tercio medio de la Línea X en el 96.6% de los casos.

La distancia del inion en el sentido céfalo-caudal al PCS (percentil 5%) fue de 20 mm y al PCI (percentil 95%) fue de 40 mm. En este rango se encontraron en el tercio medio de la línea inion-mastoideas un 90% de los sV3-AV.

Mediante estas mediciones se delimitó el Área de Riesgo de la Arteria Vertebral (ARsV3-AV), ubicada en el rango de altura entre los PCS y PCI en el tercio medio de la línea X, y el Punto de Riesgo de la Arteria Vertebral (PRsV3-AV) en la intersección de la incisión con el punto medio en el plano céfalo caudal del ARsV3-AV (30 mm).

En las mediciones realizadas en los pacientes operados mediante el ASOPM con neuronavegación se obtuvo que la arteria, se ubicó en el tercio medio de la Línea X en el 96.6% de los casos. El 85% de los pacientes presentaron la totalidad del sV3-AV en el ARsV3-AV y en el 85% hubo concordancia de dicho segmento con el PRsV3-AV. El procedimiento de marcación duró un promedio de 129 segundos.

Conclusión: Se propone un sistema de simple implementación dentro del quirófano para la delimitación del área de riesgo del segmento V3 de la arteria vertebral durante el ASOPM. Creemos que los reparos descriptos aportan una herramienta útil, rápida y confiable que podría disminuir el riesgo de lesión de dicha arteria la hora de realizar el abordaje suboccipital paramediano.

Palabras clave: Abordaje suboccipital paramediano, arteria vertebral, lesión iatrogénica, reparos anatómicos

INTRODUCCIÓN

El abordaje suboccipital paramediano (ASOPM) es generalmente utilizado para el tratamiento de lesiones que afectan un hemisferio cerebeloso, en las cuales no es necesario exponer la línea media o la región del ángulo pontocerebeloso. Las lesiones para las cuales se indica este abordaje pueden ser de origen tumoral (metástasis, hemangioblastomas, etc), fenómenos hemorrágicos, isquémicos o malformaciones vasculares (MAVs, cavernomas)¹⁻³ (Fig 1 C-D). Distintas incisiones pueden ser utilizadas para exponer el hueso occipital y realizar la craneotomía, ubicándose estas por convención en el punto medio entre la línea inion-mastoideas, variando su ubicación dentro del tercio medio de dicha línea dependiendo de la ubicación exacta de la patología a tratar. El tamaño

de la incisión y la craneotomía están determinados por la patología, requiriendo en algunos casos una incisión pequeña y una craneotomía centrada en el hueso occipital o, en casos de lesiones voluminosas, una incisión mayor con una craneotomía generosa que se extienda al foramen magno²⁻³. En tales casos, al no poder realizarse una disección por planos de los músculos de la nuca, ya que el abordaje exige un trayecto transmuscular, y no contar con reparos óseos constantes (Fig 1 A-B), la disección en dirección a la unión craneocervical (UCC) puede comprometer el segmento V3 de la arteria vertebral (sV3-AV). Este escenario contrasta con el de los otros abordajes a la región suboccipital que contienen reparos óseos constantes, como la apófisis mastoideas y el segmento vertical de la línea nual inferior en el abordaje retrosigmoideo⁴, o aquellos que conllevan incisiones de mayor tamaño como

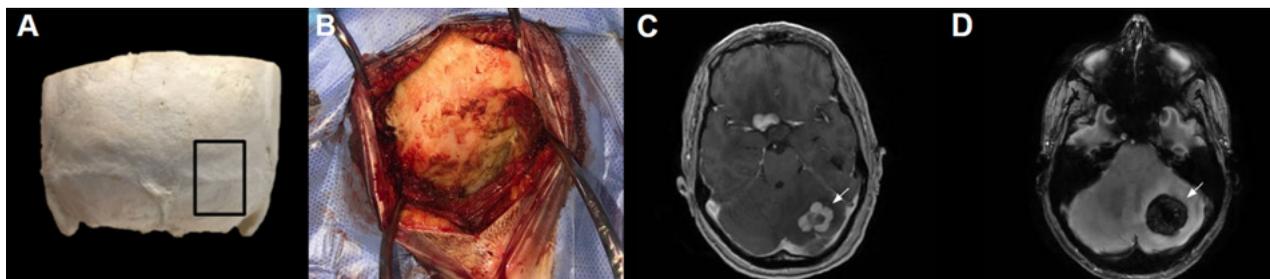


Figura 1. A. Se señala en un cráneo la región anatómica donde se centra el ASOPM, evidenciando la falta de reparos óseos. B. Imagen quirúrgica de un ASOPM donde se puede ver la falta de referencias anatómicas constantes. C. RMN con contraste EV donde se puede ver una LOE tumoral en el sector medio del hemisferio cerebeloso izquierdo. D. RMN que evidencia una lesión vascular (cavernoma) ubicado en el tercio medio del hemisferio cerebeloso izquierdo.

el abordaje extremo lateral transcondilar (ELITE) o el abordaje far lateral, donde una mayor exposición de la región permite la identificación de distintos reparos utilizados para proteger el sV3-AV (como el arco posterior de C1, la apófisis transversa de C1, la línea atlanto mastoidea, el tejido adiposo del triángulo suboccipital, la arteria de Salmon y el plexo venoso suboccipital de Zolani).⁵⁻¹³

Aunque rara, la lesión iatrogénica del sV3-AV es potencialmente fatal con una incidencia del 0.2% asociada a la cirugía craneocervical¹⁴⁻¹⁵. En casos donde se genera lesión de este segmento por electrocauterización monopolar, su reparación puede no ser exitosa incluso en manos de neurocirujanos vasculares experimentados¹⁴⁻¹⁵. La cirugía de columna cervical instrumentada constituye la mayoría de los casos reportados de esta complicación, aunque también existen reportes en abordajes craneales a la fosa posterior como el far lateral y el retrosigmoideo¹⁴⁻¹⁷. Han sido descriptos reparos para una aproximación anatómica al sV3-AV en estos abordajes⁴⁻¹³, sin embargo no contamos a la fecha con ningún estudio que proponga reparos directos o indirectos para la localización de dicho segmento en el abordaje suboccipital paramediano. Es por esto que consideramos que un sistema de referencias simples es necesario para identificar el sV3-AV de manera consistente durante el ASOPM para ayudar a evitar su lesión.

El objetivo de este trabajo es presentar, mediante mediciones anatómicas en preparados cadavéricos y angio tomografías, un sistema de reparos anatómicos y topográficos de simple implementación en quirófano, para la ubicación del sV3-AV en el ASOPM, así como también validar dichas medidas con mediciones realizadas mediante neuronavegación en el paciente en posición quirúrgica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se dividió en 2 etapas:

- Una primera etapa de carácter retrospectiva de recabación de datos donde se analizaron las distancias del segmento de riesgo de la arteria vertebral con respecto a diversos parámetros. Para esta primera etapa se

realizó una selección de 50 angiografías por tomografía computarizada (ATC) (28 mujeres y 22 varones) de pacientes mayores de 18 años. Estas ATC fueron tomadas desde 2019 a 2020 en un centro médico de la ciudad de Buenos Aires, Argentina. Paralelamente se realizó disección anatómica de la unión craneocervical en 9 cadáveres formolizados al 10% (4 masculinos y 5 femeninos) en la III cátedra de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires. Una vez llegado al plano profundo del triángulo suboccipital se realizaron las respectivas mediciones.

En ambos grupos se excluyeron pacientes con patología de la unión craneocervical, ya sea congénitas (asimilación del atlas, hipoplasia del atlas, invaginación basilar, Sme Klippel-Feil, platibasia, etc) o adquiridas (artritis reumatoidea con deformidad, enfermedad de paget ósea, metástasis óseas C0-C1, tumores de la UCC como meningiomas o cordomas).

Se definió el segmento de riesgo de la Arteria Vertebral a la porción horizontal del sV3-AV que fue delimitada por 2 líneas verticales definidas previamente por Arnautović KI et al²²: Línea A: En la entrada de la arteria al surco del arco posterior del atlas. Línea B: En la unión del borde medial de la faceta del atlas y la arteria, justo antes de su entrada al compartimiento intradural (Fig.2).

Se trazó una línea entre el Inion y la punta de la mastoides (línea X), que dividimos en tres tercios. Se buscó una correlación entre el sV3-AV y el tercio medio de dicha línea. Se consideró que la arteria estaba dentro del tercio medio de dicha línea si estaba presente en un porcentaje mayor o igual al 70%.

Luego se midió la distancia en el plano cefalocaudal desde el inion a los bordes del sV3-AV, para determinar su ubicación en este plano (Línea Y (borde superior), Y (borde inferior). (Fig. 2).

Mediante estas últimas mediciones se definió como punto de corte, el percentilo 5% para el borde superior (punto de corte superior o PCS) y el percentil 95% para el borde inferior (punto de corte inferior o PCI) con el afán de capturar el 90% de los casos.

- Una segunda etapa de carácter prospectivo con el ob-

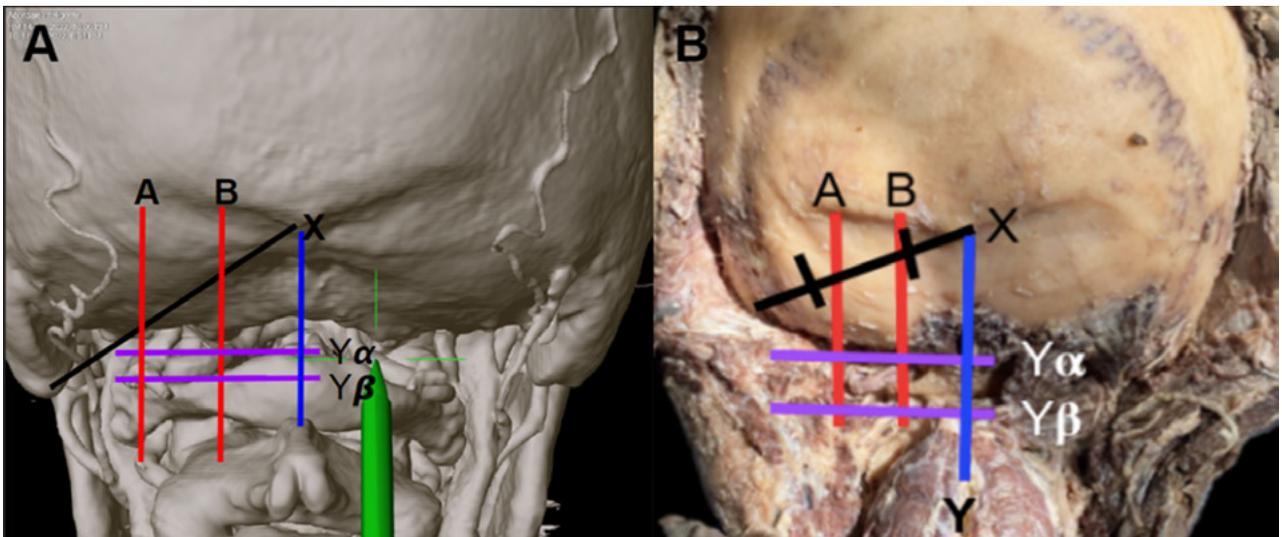


Figura 2. Ilustración de los reparos utilizados para realizar las mediciones en una ATC (A) y en un preparado cadavérico (B).

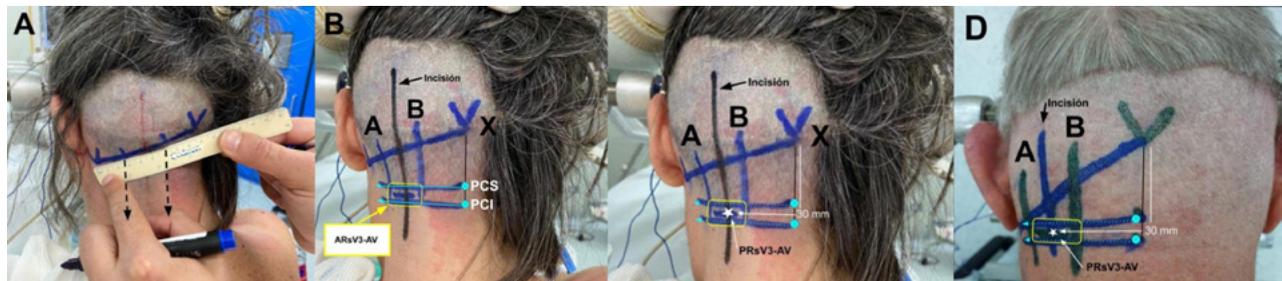


Figura 1. A. Se señala en un cráneo la región anatómica donde se centra el ASOPM, evidenciando la falta de reparos óseos. B. Imagen quirúrgica de un ASOPM donde se puede ver la falta de referencias anatómicas constantes. C. RMN con contraste EV donde se puede ver una LOE tumoral en el sector medio del hemisferio cerebeloso izquierdo. D. RMN que evidencia una lesión vascular (cavernoma) ubicado en el tercio medio del hemisferio cerebeloso izquierdo.

jetivo de validar los valores obtenidos en las mediciones previamente mencionadas.

Para esta segunda etapa se realizó neuronavegación (software para elemento de mapeo: Brainlab Elements, Munich, Germany) con Angio TC en 10 pacientes operados mediante el ASOPM (20 lados). Se utilizaron los mismos criterios de inclusión y exclusión que en la primera etapa (pacientes mayores de 18 años sin patología congénita o adquirida de la UCC).

El protocolo de investigación fue realizado bajo los principios establecidos por el Comité de Ética de nuestra institución. Para ello, cada paciente que participó del mismo brindó consentimiento informado previo a ser incluido dentro del protocolo.

Descripción de la técnica de marcación del sV3-AV

Posición

Tras fijar la cabeza en un cabezal de 3 pines, el paciente es colocado con la cabeza en posición neutra. Para la realización del ASOPM se han descrito 3 posiciones principales: posición sentado, semisentado o concorde (decúbito prono). Cada una de ellas tiene sus respectivas ventajas y desventajas; pero apartando alguna contraindicación ab-

soluta, aquello que gobierna la elección de la posición es la preferencia del neurocirujano. Es importante aclarar que las medidas propuestas solo son válidas si la cabeza se encuentra en posición neutra ya que de encontrarse rotada, se modificaría la ubicación de la arteria vertebral con respecto a los reparos que serán descritos.

Marcación de reparos

Para simplificar la interpretación separaremos la etapa de marcación de reparos en tres simples pasos.

Primer paso

Se trazó con un marcador la línea X (inion-mastoides) la cual mediante la ayuda de una regla se dividió en tres tercios, delimitándolos con un punto (Fig. 3A). Por cada uno de los puntos se trazó una línea en el plano vertical, proyectándolas hacia la UCC (líneas A y B) (Fig. 3B).

Segundo paso

Se midieron desde el inion en sentido inferior los PCS (20 mm) y PCI (40 mm) calculados a partir del análisis retrospectivo previamente descrito. A partir de esos puntos, se trazaron dos líneas en el plano horizontal con

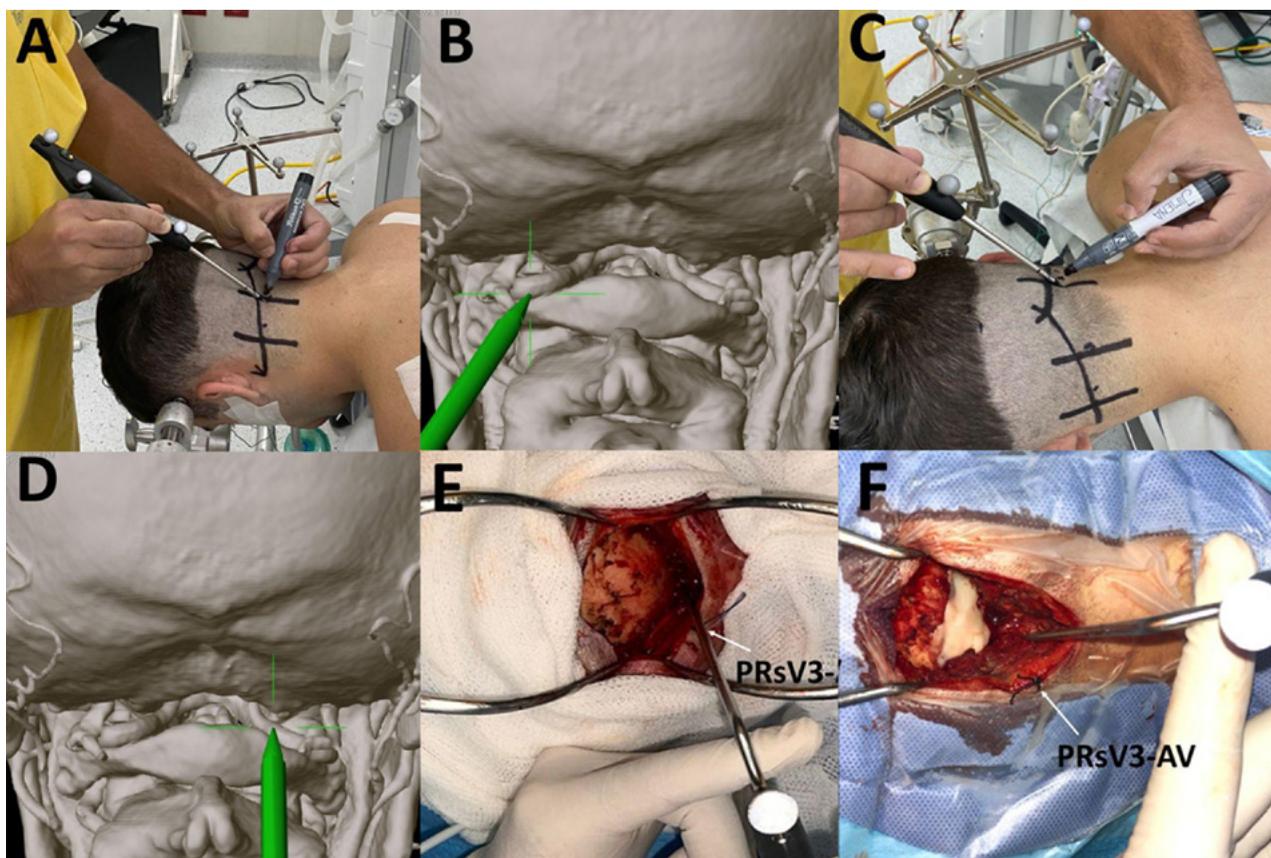


Figura 4. A-D. Marcación del sV3-AV en el tercio medio de la línea inion mastoides en un paciente en posición quirúrgica, y su respectiva correlación con el sistema de neuronavegación. E-F. Imágenes intraquirúrgicas que señalan el PRsV3-AV con un punto de Vicryl 2.0 en el plano cutáneo, usado como referencia para ubicar el sV3-AV en la disección hacia planos profundos. Con el pointer del neuronavegador, se corroboró la concordancia del PRsV3-AV con el sV3-AV en el plano de la UCC.

dirección lateral hacia el tercio medio de la línea inion-mastoides. De esta manera quedó delimitada un área rectangular que se denominó área de riesgo de la arteria vertebral (ARsV3-AV) con los siguientes límites (Fig. 3B): Hacia superior e inferior, la proyección en sentido lateral del PCS y PCI respectivamente, y hacia lateral y medial las líneas A y B.

Finalmente, se realizó el registro de neuronavegación con estudio de Angio TC y se buscó en el ARsV3-AV la presencia o no de la arteria vertebral.

Tercer paso

Una vez realizada esta medición, se planificó la incisión, constituida por una línea vertical entre las líneas A y B. A continuación se hizo una marca sobre la intersección de dicha incisión con lo que se denominó punto de riesgo de la arteria vertebral (PRsV3-AV). Este se definió como la proyección en sentido lateral del punto medio entre los PCS y PCI (30 mm) (Fig. 3 C-D). Luego de realizar la incisión cutánea, el PRsV3-AV fue marcado con un punto de Vicryl 2.0 para utilizar como referencia en la disección hacia planos profundos. Al llegar al plano óseo de la UCC, se corroboró con neuronavegación la concordancia de la referencia superficial en el PRsV3-AV, con la ubica-

ción de la arteria en el plano profundo (Fig. 4 E-F).

RESULTADOS

Mediciones en ATC y preparados cadavéricos

Se analizaron las mediciones descritas en las reconstrucciones 3D de 50 pacientes con ATC y en 9 disecciones cadavéricas.

El análisis concluyó, que un porcentaje mayor o igual al 70% del sV3-AV, se ubicó en el tercio medio de la Línea X en el 96.6% (n=58) de los casos.

La distancia del inion en el sentido céfalo-caudal al PCS (percentil 5%) fue de 20 mm y la PCI (percentil 95%) fue de 40 mm. En este rango se encontraron en el tercio medio de la línea inion-mastoides un 90% de los sV3-AV. (Tabla 1 y Fig 5)

Validación en pacientes en posición quirúrgica mediante uso de neuronavegación con ATC.

Se analizaron las mediciones mediante neuronavegación de 10 pacientes (20 lados) en posición quirúrgica con cabeza en posición neutra. El procedimiento de marcación de reparos demoró una media de 129 segundos (2,1 minutos) (DS:53,7 s).

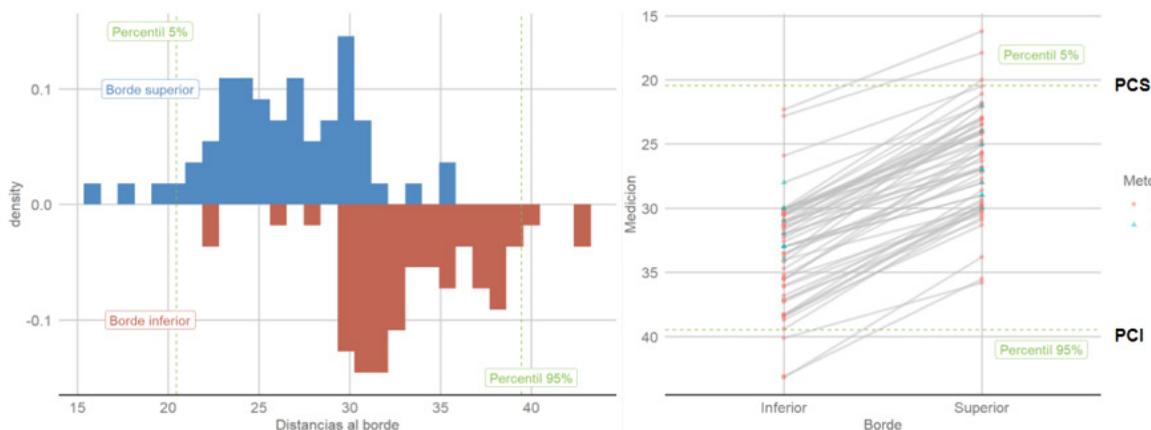


Figura 5. Gráficos señalando la distribución de los PCS y PCI en la población estudiada por Angio TC y disecciones cadavéricas.

TABLA 1: ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DEL sV3-AV EN EL TERCIO MEDIO DE LA LÍNEA X Y DENTRO DE LOS PCS Y PCI EN LA POBLACIÓN ESTUDIADA CON ATC Y DISECCIÓN CADAVERICA.

Característica	Total, N = 59	ANGIO TC, N = 50	CADÁVER, N = 9
Presencia sV3-AV en 1/3 medio	58 (96,6%)	48 (96%)	9 (100%)
Ubicación dentro de PCS	56 (95%)	47 (94%)	9 (100%)
Ubicación dentro de PCI	56 (95%)	47 (94%)	9 (100%)
Ubicación dentro de Ambos	53 (90%)	44 (88%)	9 (100%)

El análisis concluyó, que un porcentaje mayor o igual al 70% del sV3-AV, se ubicó en el tercio medio de la Línea X en el 100% de los casos.

En el ARsV3-AV se encontraron el 85% (n=17) de los sV3-AV (Tabla 2 y Fig. 6).

En un 85% (n=17) de los casos se corroboró la presencia en el PRs3-AV del sV3-AV, proyectado en profundidad. (Fig 4 A-F). El 100% de los casos presentaron correlación entre la marcación superficial del ARsV3-AV, señalado con un punto de Vicryl 2.0, y la marcación en los planos profundos del sV3-AV. (Fig 4 E-F).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se plantean distintos reparos superficiales que podrían ser utilizados con un buen índice de confianza para tener una ubicación aproximada del sV3-AV durante el ASOPM. La protección y/o identificación del sV3-AV cobra especial importancia cuando existe la necesidad de ampliar aún más el ASOPM inferiormente con dirección a la UCC como ocurre en casos de tumores voluminosos del hemisferio cerebeloso.

Las lesiones iatrogénicas de la arteria vertebral son raras y ocurren principalmente durante cirugías de la columna cervical instrumentada y con menos frecuencia durante los abordajes suboccipitales a la base del cráneo (14-15).

En la mayor revisión de lesiones iatrogénicas de la AV,

Maughan et al¹⁵ encontró una incidencia de tales lesiones en el 0,2% de los procedimientos quirúrgicos cervicales o craneocervicales. Los procedimientos más comunes reportados fueron instrumentación C1-C2 (n = 8), discectomía cervical anterior (n = 4), corporectomía (n = 2), abordaje far lateral (n = 2), y colocación de tornillo de odontoides en 1 paciente. En casi todos los casos, el mecanismo de lesión ocurrió mediante el uso de drill manual, secundario a electrocauterización monopolar o instrumentación espinal. La reparación por sutura primaria sólo fue posible en 5 casos, mientras que la permeabilidad fue confirmada postoperatoriamente en solo 3 de 5 casos de reparación primaria.

La protección del sV3-AV es importante ya que su lesión puede causar complicaciones devastadoras. La dominancia arterial es un factor crítico en pacientes con AV asimétricas ya que su ligadura o incluso oclusión temporal podría aumentar el riesgo de infarto del paciente. Las manifestaciones clínicas de la lesión de la arteria vertebral pueden variar ampliamente desde lesiones asintomáticas hasta aquellas fatales¹⁵.

La incidencia reportada de isquemia sintomática o muerte después de una lesión de la AV iatrogénica varía entre los distintos reportes: 0 % de los pacientes (0/4) (18), 5,6 % (3/54 pacientes) (19), 30% (3/10 pacientes) (20) y 33% (2/6 pacientes)²¹. Basándonos en estos datos heterogéneos, es difícil predecir cuándo un paciente con una

lesión VA desarrollará síntomas, pero sabemos que una lesión sintomática puede acarrear consecuencias catastróficas e incluso la muerte.

Se han propuesto varios reparos y técnicas para identificar y proteger el sV3-AV durante abordajes a la UCC como el retrosigmoideo, el far lateral o el ELITE⁴⁻¹², pero estos puntos de referencia tienen una relevancia limitada durante el ASOPM.

Algunos ejemplos de estos reparos son: la apófisis transversa de C1 para identificar el sV3-AV durante los abordajes anterolaterales al sV3-AV^{7,10}; El arco posterior de C1 como punto de referencia para exponer el sV3-AV durante el abordaje ELITE, descrito por Wanibuchi et al¹²; La línea atlantomastoidea, descrita por Meybodi et al⁵, que discurre entre la punta de la mastoidea y el tubérculo posterior de C1, utilizada para identificar y proteger el sV3-AV. Recientemente el mismo grupo describió también la utilidad de la porción vertical de la línea nucal inferior para identificación del sV3-AV en el abordaje retrosigmoideo⁴; Por último contamos con el método interfascial descrito por Yousef et al¹³ para movilizar y proteger el sV3-AV durante el abordaje far lateral, basado nuevamente en la identificación de la parte posterior arco de C1¹³. Sin embargo, ninguno de los puntos de referencia mencionados anteriormente están expuestos durante el ASOPM, lo que los hace poco prácticos.

El ASOPM es un abordaje que se centra en una región que carece de reparos óseos constantes y no expone ninguno de los puntos de referencia recientemente nombrados (Fig 1 A-B). Partiendo de esta limitación es que se buscaron reparos indirectos de simple implementación en quirófano, que permitieran generar una referencia útil para tener una idea aproximada de la ubicación del sV3-AV durante este abordaje. Mediante la marcación del ARsV3-AV y del PRsV3-AV con un punto en la piel, el cirujano puede tener una ayuda visuoespacial a la hora de avanzar en la disección de los planos profundos hacia la UCC. Si bien no representa un reparo exacto, en nuestra experiencia, resultó de gran ayuda para tener una orientación sobre la ubicación del segmento de riesgo, teniendo en cuenta que los puntos de corte superior e inferior (PCS y PCI) se encuentran 10 mm por arriba y 10 mm por debajo del PRsV3-AV respectivamente. El tiempo que demoró dicha marcación fue de 2,1 minutos en promedio lo que vuelve este método aplicable a la práctica diaria, ya que no extiende el tiempo quirúrgico con el paciente dormido y en posición quirúrgica.

Evitación de complicaciones referentes al sV3-AV durante el ASOPM

Se recomienda en pacientes que serán operados por este abordaje estudiar las características del sV3-AV con una

TABLA 2: TABLA 1: ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DEL SV3-AV EN EL TERCIO MEDIO DE LA LÍNEA X Y DENTRO DE LOS PCS Y PCI EN LA POBLACIÓN ESTUDIADA CON NEURONAVEGADOR. SE DESTACAN TAMBIÉN LA PRESENCIA DEL SV3-AV DENTRO DEL ARSV3-AV, LA CORRELACIÓN DEL SV3-AV CON EL PRSV3-AV EN EL PLANO SUPERFICIAL, Y SU CORRELACIÓN EN LOS PLANOS PROFUNDOS.

Característica	Neuronavegador, N = 20 (%)
Presencia sV3-AV en 1/3 medio	20 (100%)
Ubicación dentro de PCS	19 (95%)
Ubicación dentro de PCI	18 (90%)
Ubicación dentro de ambos	17 (85%)
Presencia del sV3-AV en el ARsV3-AV	17 (85%)
Presencia del sV3-AV en el PRsV3-AV	17 (85%)
Correlación marcación superficial y profunda	20 (100%)

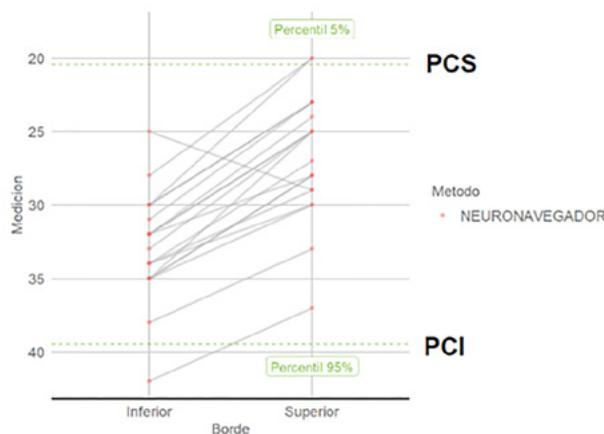


Figura 6. Gráfico señalando la distribución dentro de los PCS y PCI en la población estudiada con neuronavegador con pacientes en posición quirúrgica.

RMN con contraste o una ATC prequirúrgica.

La palpación manual del arco posterior de C1 permite la identificación de la UCC, donde el uso de electrocauterización monopolar debe evitarse dentro de los 1 a 2 cm de esta unión.

El uso de Doppler en la cercanía de la UCC también puede ser de gran ayuda en casos de tener que ampliar el abordaje al foramen magno.

El uso de neuronavegador en estos procedimientos ayuda considerablemente a la ubicación de dicha arteria. En casos donde no es posible la implementación de un sistema de neuronavegación, el reparo marcado en la superficie con un punto de vicryl sobre el PRsV3-AV representa

una referencia aproximada confiable para ubicar dicha arteria en la profundidad de la UCC.

CONCLUSIÓN

La lesión iatrogénica del sV3-AV, aunque rara, puede derivar en consecuencias devastadoras. La falta de reparos óseos constantes como la apófisis mastoides, la apófisis transversa y espinosa de C1, o la línea atlantomastoidea

durante el ASOPM, puede aumentar el riesgo de lesión. Se propone un sistema de simple implementación dentro del quirófano para la delimitación del área de riesgo del segmento V3 de la arteria vertebral durante el ASOPM. Creemos que los reparos descriptos aportan una herramienta útil, económica, rápida y confiable que podría disminuir el riesgo de lesión de dicha arteria la hora de realizar el abordaje suboccipital paramediano.

BIBLIOGRAFÍA

- Bambakidis, N. C. (2012). Suboccipital and Retrosigmoid Approaches. In A. L. Rhoton (Ed.), *Surgery of the Craniovertebral Junction* (2nd ed., pp. 411–428). Thieme. <https://doi.org/10.1055/b-0034-84464>
- Mirone, G., Spennato, P., & Cinalli, G. (2015). Paramedian Approaches to the Posterior Fossa (1st ed., pp 189–208).
- Salcman, M., Heros, R.C., Laws, E.R., Sonntag, V.K.H. (2004). Suboccipital Craniectomy: Midline and Paramedian Approach. In: *Kempe's Operative Neurosurgery*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9007-5_3
- Tayebi Meybodi A, Zhao X, Borba Moreira L, et al. The Inferior Nuchal Line as a Simple Landmark for Identifying the Vertebral Artery During the Retrosigmoid Approach. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2020;18(3):302-308. doi:10.1093/ons/ozp152
- Meybodi AT, Rincon-Torroella J, El-Sayed IH, Lawton MT, Benet A. Early localization of the third segment of the vertebral artery: the atlanto-mastoid line. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2016;12(4):350-359.
- Babu RP, Sekhar LN, Wright DC. Extreme lateral transcondylar approach: technical improvements and lessons learned. *J Neurosurg*. 1994;81(1):49-59.
- Bruneau M, Cornelius JF, George B. Antero-lateral approach to the V3 segment of the vertebral artery. *Neurosurgery*. 2006;58(1 Suppl):ONS29-ONS35; discussion ONS29-ONS35.
- George B, Laurian C. Surgical approach to the whole length of the vertebral artery with special reference to the third portion. *Acta Neurochir (Wien)*. 1980;51 (3-4):259-272.
- Gupta T. Quantitative anatomy of vertebral artery groove on the posterior arch of atlas in relation to spinal surgical procedures. *Surg Radiol Anat*. 2008;30(3):239- 242.
- Redtenbacher M, Choueki A, Firbas W. Surgical anatomy of the upper vertebral artery. *Acta Neurochir (Wien)*. 1988;92(1-4):37-38.
- Sheen TS, Yen KL, Ko JY, Hsu MM. Usefulness of the C1 transverse process as a reference guide in the dissection of the upper lateral neck. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2000;122(2):284-289.
- Wanibuchi M, Fukushima T, Zenga F, Friedman AH. Simple identification of the third segment of the extracranial vertebral artery by extreme lateral inferior transcondylar-transtubercular exposure (ELITE). *Acta Neurochir (Wien)*. 2009;151(11):1499-1503.
- Youssef AS, Uribe JS, Ramos E, Janjua R, Thomas LB, van Loveren H. Interfascial technique for vertebral artery exposure in the suboccipital triangle: the road map. *Neurosurgery*. 2010;67(2 Suppl Operative):355-361.
- Osorio JA, Benet A, Hess CP, McDermott MW, Abla AA. Primary vertebral artery reanastomosis during retrosigmoid skull base approach following iatrogenic near-transection with monopolar electrocautery. *Neurosurgery*. 2014 Dec;10 Suppl 4:631-9. doi: 10.1227/NEU.0000000000000526. PMID: 25181436.
- Maughan PH, Ducruet AF, Elhadi AM, et al. Multimodality management of vertebral artery injury sustained during cervical or craniocervical surgery. *Neurosurgery*. 2013;73(2 Suppl Operative):ons271-ons282. doi:10.1227/01.neu.0000431468.74591.5f
- Nam KH, Sung JK, Park J, Cho DC. End-to-End Anastomosis of an Unanticipated Vertebral Artery Injury during C2 Pedicle Screwing. *J Korean Neurosurg Soc*. 2010;48(4):363-366. doi:10.3340/jkns.2010.48.4.363
- Herrera DA, Vargas SA, Dublin AB. Endovascular treatment of traumatic injuries of the vertebral artery. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29(8):1585-1589. doi:10.3174/ajnr.A1123
- Golfinos JG, Dickman CA, Zabramski JM, Sonntag VK, Spetzler RF. Repair of vertebral artery injury during anterior cervical decompression. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19(22):2552-2556.
- Madawi AA, Casey AT, Solanki GA, Tuite G, Veres R, Crockard HA. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular screw fixation technique. *J Neurosurg*. 1997;86(6):961-968
- Smith MD, Emery SE, Dudley A, Murray KJ, Leventhal M. Vertebral artery injury during anterior decompression of the cervical spine. A retrospective review of ten patients. *J Bone Joint Surg Br*. 1993;75(3):410-415.
- Burke JP, Gerszten PC, Welch WC. Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery. *Spine J*. 2005;5(5):508-514.
- Arnautović KI, al-Mefty O, Pait TG, Krisht AF, Husain MM. The suboccipital cavernous sinus. *J Neurosurg*. 1997;86(2):252-262. doi:10.3171/jns.1997.86.2.0252