










Angioarquitetura da artéria meníngea média em cabeças ósseas humanas: um estudo morfométrico

Angioarchitecture of the middle meningeal artery in human skulls: a morphometric study



Ismael Felipe Gonçalves Galvão¹  Fernando Augusto Pacífico¹ 
Bruna Laryssa Santos Borges Machado¹  Isabella Cristina Oliveira Pacheco¹ 
Luciana Larissa Rodrigues dos Santos Queiroz¹  Renata Cristinny de Farias Campina² 
Olávio Campos Júnior¹ 

¹ Faculdade de Medicina de Olinda. Olinda, Pernambuco, Brasil.

² Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.

Resumo

Introdução: A artéria meníngea média (AMM) possui grande relevância clínica e cirúrgica, e o conhecimento da sua angioarquitetura é importante em vários procedimentos, no entanto, é evidente a escassez de estudos sobre seus aspectos morfométricos. **Objetivos:** O presente estudo objetivou analisar a morfometria dos sulcos da AMM por meio de uma abordagem digital. **Método:** Foram selecionadas 35 cabeças ósseas por permitirem a visualização completa do sulco da AMM, das quais foram medidos os comprimentos do tronco principal, dos ramos parietal e frontal, o ângulo inter-ramos e o diâmetro do forame espinhoso bilateralmente com o auxílio do *software* ImageJ®. **Resultados:** Os dados morfométricos foram facilmente obtidos e não foram observadas diferenças na morfometria bilateral do tronco principal e do ramo parietal, no entanto, o comprimento do ramo frontal foi maior no antímero direito. Também não foram encontradas diferenças nas medidas do forame espinhoso e do ângulo inter-ramos. **Conclusão:** Métodos digitais de análise morfométrica da AMM são vantajosos em termos de precisão e rapidez na obtenção de dados. Por outro lado, a AMM apresenta poucas variações morfométricas bilateralmente, representando importantes achados que devem ser observados cuidadosamente no planejamento de procedimentos cirúrgicos

Como citar: Galvão IFG, Pacífico FA, Machado BLSB, Pacheco ICO, Queiroz LLRS, Campina RCF et al. Angioarquitetura da artéria meníngea média em cabeças ósseas humanas: um estudo morfométrico. An Fac Med Olinda 2024; 1(11):47
doi: <https://doi.org/10.56102/afmo.2024.311>

Autor correspondente:

Fernando Augusto Pacífico.
E-mail: fapacifico@outlook.com

Fonte de financiamento:

Não se aplica

Parecer CEP: nº

5.689.062

Recebido em: 06/07/2023

Aprovado em: 07/02/2024

e servir de base para futuras análises.

Palavras-chave: Anatomia; Artérias cerebrais; Relevância clínica.

Abstract

Introduction: The middle meningeal artery (MMA) is clinically and surgically relevant, and knowledge regarding its angioarchitecture is essential in various procedures. However, literature lacks studies exploring its morphometric aspects. **Objectives:** This study aimed to analyze the MMA sulci morphometry using a digital approach. **Method:** Thirty-five skulls with a complete visualization of the MMA sulcus were selected. From this, the length of the main trunk and parietal and frontal branches, the inter-branch angle, and the diameter of the foramen spinosum were measured bilaterally using the ImageJ® software. **Results:** Morphometric data showed no differences in the morphometry of the main trunk and parietal branch according to laterality. On the other hand, the length of the frontal branch was higher on the right side of the skulls. No differences were observed in the measurements of the foramen spinosum and the inter-branch angle. **Conclusion:** Digital methods for morphometric analysis of the MMA offer advantages in terms of precision and speed in obtaining data. Also, the MMA exhibits few bilateral morphometric variations that should be considered for planning surgical procedures and as a basis for future analyses.

Keywords: Anatomy, Cerebral arteries, Clinical relevance.

INTRODUÇÃO

A artéria meníngea média (AMM) é a principal artéria dural humana, e sua origem e trajeto podem variar não apenas quanto ao desenvolvimento embriológico do sistema estapedial, mas também em relação à artéria carótida interna, à artéria oftálmica, à artéria trigêmea e ao tronco inferolateral¹. Originada da artéria maxilar interna na grande maioria das vezes, a artéria meníngea média adentra na fossa média do crânio através do forame espinhoso, atravessa lateralmente a crista óssea e curva anteriormente acima da asa superior do esfenóide².

A sua complexa origem embriológica e a sua íntima relação com a abóbada craniana conferem à AMM importantes relevâncias clínicas e cirúrgicas³. Muitos autores estudaram os aspectos morfológicos da AMM e, em grande parte, citam o complexo desenvolvimento a partir do sistema estapedial, presente no desenvolvimento embrionário, como origem dessa grande quantidade de variações anatômicas^{1,4}.

Devido a suas características anatômicas únicas e a sua proximidade com o osso temporal, a AMM é vulnerável a traumas cranianos, levando a pseudoaneurismas e sangramentos, além de, possivelmente, estar envolvida com mecanismos que associam a cefaleias crônicas com vasodilatação arterial ou inflamação neurogênica⁵. O conhecimento da angioarquitetura da AMM é importante em procedimentos como a desvascularização de tumores da dura-máter,

hematomas epidurais e até mesmo no entendimento de condições clínicas como a migrânea^{4,6}. Nesse sentido, a análise morfométrica pode fornecer informações únicas sobre o tamanho, localização e características geométricas e serem utilizadas na elucidação de abordagens cirúrgicas e radiológicas^{7,8}. Apesar da existência de estudos que abordam os aspectos morfológicos e embriológicos da AMM, é evidente a escassez de informações a respeito da morfometria dessa estrutura tão importante^{4,6}.

Nessa perspectiva, o presente estudo visa fornecer novas percepções sobre a AMM ao investigar a sua angioarquitetura em crânios cadavéricos humanos por meio de uma abordagem inovadora e apresentar uma análise morfométrica em função da lateralidade bem como da relação destes aspectos com as implicações clínico-cirúrgicas.

MÉTODO

Trata-se de um estudo observacional e transversal. Para sua realização, foram avaliadas 100 cabeças ósseas humanas pertencentes ao acervo anatômico do Departamento de Anatomia de uma instituição de ensino superior. As 35 cabeças selecionadas foram preparadas com escalas milimétricas para padronização das medidas e posterior calibração do software. Em seguida, as imagens foram obtidas utilizando uma câmera digital Finepix S4800 (Fujifilm Corp., Toquio, Japão) e transferidas para um microcomputador para processamento com o auxílio do software ImageJ® versão 1.46r 2012. A partir deste, foram calculados os comprimentos do tronco principal, do ramo frontal e do ramo parietal, além do ângulo entre os ramos frontal e parietal (inter-ramos) e o diâmetro do forame espinhoso (Figura 1).

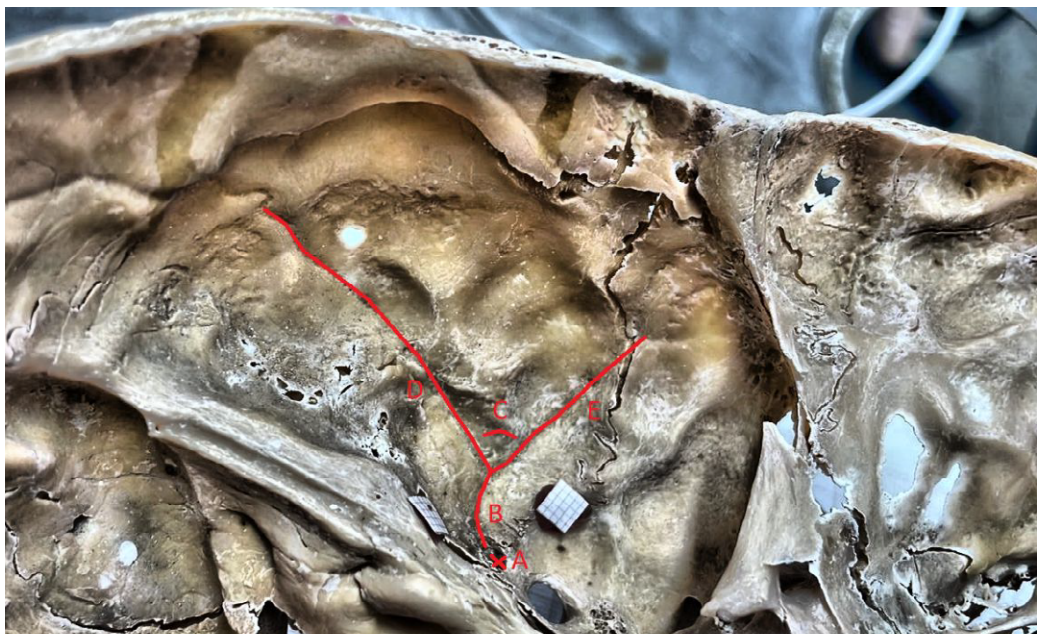


Figura 1. Visão interna da base do crânio mostrando as cinco mensurações realizadas bilateralmente: **(A)** diâmetro do forame espinhoso, **(B)** comprimento do tronco principal, **(C)** ângulo entre os ramos frontal e parietal, **(D)** comprimento do ramo parietal **(E)** comprimento do ramo frontal.

A análise estatística foi realizada por meio do software SPSS® (IBM Corp., Chicago, EUA), utilizando o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e a comparação com o teste Wilcoxon. Os dados não normais foram apresentados por meio das medidas de tendência central (média, mínimo e máximo) e de dispersão (desvio padrão), e o nível de significância para todos os testes foi considerado $p < 0,05$.

RESULTADOS

No presente estudo, foi utilizada uma abordagem digital pioneira para a avaliação dos sulcos da AMM de 100 cabeças ósseas. Destas, 35 permitiram a avaliação morfométrica nos antímeros direito (AD) e esquerdo (AE), e as medidas que foram facilmente obtidas estão apresentadas na Tabela 1. As demais foram consideradas como perda amostral por não permitirem a visualização dos sulcos das artérias bilateralmente ou estarem danificadas.

Tabela 1. Dados morfométricos da AMM em humanos medidos nos AD e AE.

Variáveis	AD	AE	p
Tronco principal (mm)	14,58 ± 9,52 (3,1–53,5)	16,01 ± 12,18 (4,9–59,3)	0,87
Ramo parietal (mm)	28,98 ± 17,89 (8,3–80,4)	30,38 ± 17,24 (11,8–67,7)	0,74
Ramo frontal (mm)	26,83 ± 16,67 (9,60–87,40)	29,89 ± 12,77 (10,5–68,7)	0,01**
Ângulo inter-ramos (°)	89,66 ± 16,83 (91,0 –122,0)	85,91 ± 24,64 (22,0–126,0)	0,70
Forame espinhoso(mm)	2,14 ± 0,40 (1,50–3,10)	2,15 ± 0,44 (1,10–3,0)	0,77

Os valores representam médias ± desvios padrão; mediana (mínimo – máximo). Teste Wilcoxon: $p \leq 0,05$ (*), $p \leq 0,01$ (**). AMM: Artéria meníngea média; AD: Antímero direito; AE: Antímero esquerdo.

Não foram encontradas diferenças no comprimento do tronco principal (AD: 14,58 ± 9,52 mm e AE: 16,01 ± 12,18 mm, $p = 0,870$) nem no comprimento do ramo parietal (AD: 28,98 ± 17,89 mm e AE: 30,38 ± 17,24 mm, $p = 0,743$). No entanto, foi observado que o ramo frontal esquerdo foi significativamente maior que o ramo frontal direito (29,89 ± 12,77 mm e 26,83 ± 16,67 mm, respectivamente, $p = 0,011$). Por fim, não foram identificadas diferenças no diâmetro do forame espinhoso (AD: 2,14 ± 0,40mm e AE: 2,15 ± 0,44 mm, $p = 0,771$) nem na medida do ângulo entre os ramos frontal e parietal (AD: 89,66 ± 16,83° e AE: 85,91 ± 24,64°, $p = 0,700$).

DISCUSSÃO

A utilização do *software* de processamento de imagens ImageJ® como ferramenta de es-

tudo morfométrico foi discutida por Aragón-Sánchez et al., cujo estudo evidenciou a eficiência do método e a fácil utilização para medida de estruturas, com modelo interavaliadores apresentando um intervalo de confiança de 95%, o que demonstra uma excelente confiabilidade⁹.

Ainda nessa perspectiva, Tobin e colaboradores¹⁰ desenvolveram um estudo sobre a implementação de um novo tipo de análise morfométrica automatizada com base no *software* ImageJ[®] para o estudo de nervos periféricos. Nele, observou-se que a diferença entre o método manual de mensuração e o novo método, baseado no software, não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Dentre as vantagens do novo método identificadas, os autores concluíram que sua nova abordagem possui maior conveniência, eficiência de tempo, precisão e menor erro ou viés do operador¹⁰. No presente estudo, a utilização dessa ferramenta promoveu uma eficiente e fidedigna mensuração das estruturas, condizente com os estudos^{9,10} supracitados.

O sulco da artéria meníngea média estava bilateralmente presente em todos os crânios estudados, compatível com descrições convencionais de livros de texto¹¹. Por meio de uma abordagem inovadora, as observações deste estudo revelam que a AMM não apresentou variações no comprimento do seu tronco principal, ramo parietal, nem no diâmetro do forame espinhoso ou ângulo inter-ramos quanto à antimeria.

Existem poucos estudos que abordam os aspectos morfométricos da AMM, bem como pesquisas que correlacionam a anatomia vascular aos fatores intrínsecos e antropométricos dos indivíduos¹². Por outro lado, a abordagem da fossa média e suas variações oferecem uma via cirúrgica adequada para lidar com lesões na junção das fossas cranianas anterior e posterior. Para tanto, a compreensão clara dos marcos anatômicos e suas variações são fundamentais para o manejo eficaz dessas lesões, evitando complicações incapacitantes¹³. Desta forma, essas informações são importantes para prever o envolvimento arterial em fraturas do lado do crânio que pode ser afetado.

Nessa perspectiva, a partir das análises morfométricas desse estudo, percebeu-se que o comprimento do tronco principal da AMM não variou em relação a sua lateralidade, corroborando as observações feitas por estudos anteriores^{4,6}. Por outro lado, nos estudos desenvolvidos por da Silva et al.⁶ e Honnegowda et al.⁴, foram notadas variações bilaterais no comprimento do ramo parietal, enquanto, no presente estudo, não foram observadas variações na morfometria da mesma estrutura. Isso pode ser justificado por diferenças amostrais, populacionais ou de métodos utilizados entre os estudos. Além disso, foi identificada uma diferença bilateral no comprimento do ramo frontal da AMM, apoiando os achados observados por da Silva et al.⁶. Embora outros fatores também possam estar envolvidos, a principal tese que explica as variações anatômicas dessa artéria é sua complexa origem embriológica¹⁴.

A AMM é a artéria intracraniana filogeneticamente mais recente, e sua evolução e desenvolvimento estão intimamente relacionados com o desenvolvimento dos lobos cerebrais¹⁵.

Ademais, seu surgimento tem estreita relação com o sistema estapedial, o qual está presente nas primeiras semanas do desenvolvimento fetal e se degenera por volta da décima semana^{1,16}. Dessa forma, esse vaso é suscetível a variações anatômicas e anastomoses, possuindo grande relevância no estudo de uma série de patologias^{1,17}.

Alguns pontos sobre as variações encontradas na irrigação craniana ficaram evidentes e podem elucidar a variação do ramo frontal identificada no presente estudo. De acordo Eisová e colaboradores¹⁸, os padrões macroscópicos dos vasos meníngeos não são influenciados bilateralmente pelo sexo nem o formato do crânio em populações adultas europeias modernas com proporções neurocranianas braquicefálica e mesocefálica. No entanto, a AMM aparentemente é mais desenvolvida nas regiões anteriores endocranianas¹⁸, o que sugere maiores atividades angiogênicas que podem levar a variações no comprimento do ramo frontal; entretanto, é necessária a realização de estudos direcionados ao esclarecimento dessas características.

Ainda nesse sentido, um estudo pioneiro sugere que a AMM é mais desenvolvida no antímero direito, porém, não fornece avaliação quantitativa que respalde essas conclusões¹⁹. Eisová e colaboradores¹⁸ concluem que assimetrias no trajeto desses vasos são sutis e possivelmente estão associadas a assimetrias cerebrais que causam diferenciada distribuição da pressão intracraniana. O estudo, todavia, relata a inexistência de pesquisas experimentais que apoiem ou contradigam essa hipótese¹⁹.

Quanto ao diâmetro do forame espinhoso, não foram observadas diferenças morfométricas de acordo com a sua lateralidade. O forame espinhoso é um marco anatômico importante para cirurgias da fossa craniana, uma vez que, por ele, cursam estruturas neurovasculares importantes e pode apresentar significativa diferença de acordo com a lateralidade^{14,20}. Ainda com relação ao forame espinhoso, Boloria e Silva e colaboradores¹² observaram que o diâmetro médio do forame foi de 1,8 a 2,8 mm, a depender da lateralidade e sexo do indivíduo, achados semelhantes aos do presente estudo, no qual foi observado uma média de 2,0 mm.

Neste estudo, foi avaliado o ângulo formado pelos ramos frontal e parietal da AMM, os quais não apresentaram diferenças morfométricas bilateralmente, corroborando as observações feitas nos estudos realizados anteriormente^{4,6,20}. Contudo, é evidente a escassez de estudos morfométricos a respeito da angulação formada pelos ramos da AMM a despeito da importância clínica dessa informação, uma vez que o fluxo sanguíneo é inversamente proporcional ao ângulo formado pelos vasos, aumentando a possibilidade de dilatação da parede arterial e, consequentemente, o risco de formação de aneurismas²¹.

Nessa perspectiva, Ye e colaboradores²¹ observaram uma relação positiva entre os ângulos dos vasos e a formação e ruptura de aneurismas. Essa variável pode, inclusive, ser um fator preditivo dessas condições. Outro exemplo foi evidenciado por Ji e colaboradores²², que mostrou que a redução no ângulo formado pela AMM e a artéria maxilar interna podem complicar

procedimentos endovasculares, dificultando a passagem do fio-guia e cateter, aumentando a complexidade do procedimento. Assim, o estudo dos ângulos formados pelos vasos cerebrais é relevante no estudo de patologias e durante procedimentos como a embolização^{21,22}.

Por fim, enfatizamos que a nossa investigação representa uma grande inovação e contribuição com o estudo morfométrico bilateral dos sulcos da AMM em 35 cabeças ósseas. Portanto, sugerimos que mais estudos sejam realizados com maior número de observações para ampliar o conhecimento sobre as características morfométricas da AMM, confirmando achados anteriores e os presentes e enriquecendo a compreensão do desenvolvimento das variações nos ramos da AMM no adulto normal.

CONCLUSÃO

Os valores obtidos nas mensurações demonstraram ser eficientes, e o processamento de imagens por meio de softwares se mostrou uma importante ferramenta para o estudo da osteologia craniana e estabelecimento de padrões morfométricos específicos da AMM. O tronco principal, o ramo parietal, o diâmetro do forame espinhoso e o ângulo inter-ramos da AMM não apresentam variação bilateralmente. No entanto, o ramo frontal exibiu variações no seu comprimento em relação à antimeria. Por fim, os neurocirurgiões devem estar atentos a essa variação durante procedimentos cirúrgicos em abordagem ampliada da fossa craniana média.

CONFLITO DE INTERESSES

Nada a declarar

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

IFGG: Conceitualização, curadoria de dados, análise de dados, pesquisa, metodologia, desenvolvimento, implementação e teste de software, validação de dados e experimentos, redação - manuscrito original, redação - revisão e edição. **FAP:** Conceitualização, curadoria de dados, análise de dados, pesquisa, metodologia, administração do projeto, supervisão, validação de dados e experimentos, design da apresentação de dados e redação - manuscrito original e redação - revisão e edição. **BLSBM:** Investigação. **ICOP:** Investigação. **LLRSQ:** Investigação. **RCFC:** supervisão, metodologia, disponibilização de ferramentas. **OCJ:** Conceitualização, curadoria de dados, pesquisa, metodologia, administração do projeto, implementação e teste de software, supervisão, validação de dados e experimentos, design da apresentação de dados e redação - revisão e edição.

REFERÊNCIAS

1. Bonasia S, Smajda S, Ciccio G, Robert T. Middle meningeal artery: Anatomy and variations. Vol. 41, Am J Neuroradiol.; 2020. p. 1777–85. doi: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6739>

2. Fantoni M, Eliezer M, Serrano F, et al. High frequency of ophthalmic origin of the middle meningeal artery in chronic subdural hematoma. *Neuroradiology*. 2020 May 1;62(5):639–44. doi: <https://doi.org/10.1007/s00234-020-02363-6>
3. Navarro-Orozco D, Sánchez-Manso JC. Neuroanatomy, Middle Cerebral Artery. 2023 Jul 24. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan–. PMID: 30252258.
4. Honnegowda TM, Dineshan V, Kumar A. Morphometry of organization of middle meningeal artery through the analysis of bony canal in human's skull: A clinico-anatomical and embryological insight. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2019 Apr-Jun;10(2):127-130. doi: https://doi.org/10.4103/jcvjs.JCVJS_45_19.
5. Sant'Anna MAF, Luciano LL, Chaves PHS, et al. Anatomy of the Middle Meningeal Artery. *Arq Bras Neurocir: Brazilian Neurosurgery*. 2021 Dec 3;40(04):e339–48. doi:<https://doi.org/10.1055/s-0041-1733863>
6. da Silva TH, Ellwanger JH, da Rosa Silva HT, et al. Morphometric Analysis of the Middle Meningeal Artery Organization in Humans—Embryological Considerations. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2013 Jan 22;74(02):108–12. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0033-1333615>
7. Gijzen FJH, Vis B, Barrett HE, et al. Morphometric and Mechanical Analyses of Calcifications and Fibrous Plaque Tissue in Carotid Arteries for Plaque Rupture Risk Assessment. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2021 Apr;68(4):1429–38. doi: <https://doi.org/10.1109/TBME.2020.3038038>
8. Yagoub SME, Taib AA, Mansouri MY, Elfakhri A, Abdalla MA. Anatomical Variations, Parameters, and Morphometric Evaluation of Renal Arteries by Using Computerized Tomography Angiography. *Int. J. Clin. Ski*. 2022 Oct 29;16(10):265. DOI:10.37532/1753-0431.2022.16(10).265
9. Aragón-Sánchez J, Quintana-Marrero Y, Aragón-Hernández C, Hernández-Herero MJ. ImageJ: A Free, Easy, and Reliable Method to Measure Leg Ulcers Using Digital Pictures. *Int J Low Extrem Wounds* 2017;16(4):269-273. doi: <https://doi.org/10.1177/1534734617744951>
10. Tobin CA, Wang Z, Zhang LL, et al. A new computerized morphometric analysis for peripheral nerve study. *J Reconstr Microsurg*. 2014;30(2):75-82. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354738>
11. Standring S, Ellis H, Healy JC, Johnson D. Gray's anatomy. 39th ed. London: Elsevier Churchill Livingstone; 2005. p. 442p.
12. Bitoria E Silva Y, Hirota VB, Augusto V, et al. Contribuição ao estudo morfológico dos sulcos da artéria meníngea média em crânios humanos cadavéricos. *RMS*. 2023;5(1):20–31.
13. Maina R, Ducati A, Lanzino G. The middle cranial fossa: Morphometric study and surgical considerations. *Skull Base*. 2007 Nov;17(6):395–404. doi: <https://doi.org/10.1055/s-2007-991117>
14. Galvão IFG, Pacífico FA. Angioarquitetura da artéria meníngea média. *Anais da Faculdade de*

- Medicina de Olinda. 2022 Dec 22;1(7):34–41. doi:<https://doi.org/10.56102/afmo.2022.178>
15. Pallavi., Priyanka R, Sinha BK. A Morphometric Assessment of the Anatomical Variations in Branching Pattern of Middle Cerebral Artery: An Observational Study. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research* [Internet]. 2022;12(6):138–42.
 16. Natali AL, Reddy V, Leo JT. Neuroanatomy, Middle Meningeal Arteries. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; October 24, 2022. PMID: 30137830
 17. Kumar S, Mishra NK. Middle meningeal artery arising from the basilar artery: report of a case and its probable embryological mechanism. *J Neurointerv Surg*. 2012;4(1):43-44. doi: <https://doi.org/10.1136/jnis.2010.004465>
 18. Eisová S, Pířová H, Velemínský P, Bruner E. Normal craniovascular variation in two modern European adult populations. *J Anat*. 2019;235(4):765-782. doi: <https://doi.org/10.1111/joa.13019>
 19. Saban R. Image of the human fossil brain: endocranial casts and meningeal vessels in young and adult subjects . In: Jean-Pierre Changeux, Jean Chavaille, editors. *Origins of the human brain*. Oxford: Clarendon Press.; 1995. p. 11–38. doi: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198523901.001.0001>
 20. Ellwanger J, Campos D. Abnormality of the Foramen Spinosum due to a Variation in the Trajectory of the Middle Meningeal Artery: A Case Report in Human. *J Neurol Surg Rep*. 2013 May 23;74(02):073–6. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0033-1347901>
 21. Ye J, Zheng P, Hassan M, et al. Relationship of the angle between the A1 and A2 segments of the anterior cerebral artery with formation and rupture of anterior communicating artery aneurysm. *J Neurol Sci*. 2017;375:170-174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.01.062>
 22. Ji T, Hou K, Li C, Yu J. Imaging features of internal maxillary artery and extracranial middle meningeal artery and their relationships on head CTA. *Neuroradiol J*. 2021 Dec 27;34(6):629–41. doi: <https://doi.org/10.1177/19714009211019380>