

# ANATOMIA E VARIAÇÕES ANATÔMICAS DA VASCULARIZAÇÃO CEREBRAL: CONTRIBUIÇÃO À EDUCAÇÃO MÉDICA CONTINUADA

## ANATOMY AND ANATOMICAL VARIATIONS OF CEREBRAL VASCULARIZATION: CONTRIBUTION TO CONTINUED MEDICAL EDUCATION

LAYLA VIEIRA DOS SANTOS<sup>1</sup>, LUDMILA CORBELLI PEREIRA<sup>1</sup>, ÁLVARO MOREIRA RIVELLI<sup>2</sup>, JOSÉ BATISTA DA SILVA JÚNIOR<sup>3</sup>, FILIPE MOREIRA DE ANDRADE<sup>4\*</sup>

1. Acadêmicas do curso de graduação em Medicina do Centro Universitário Governador Ozanam Coelho UNIFAGOC, Ubá, Minas Gerais; 2. Neurologia, aluno do Programa de Mestrado Profissional em Ciências Aplicadas em Saúde. Universidade de Vassouras - Vassouras, RJ; 3. Neurocirurgia, professor da disciplina de Neuroanatomia de Medicina do Centro Universitário Governador Ozanam Coelho - Ubá - MG; 4. Professor Titular - Mestrado Profissional em Ciências Aplicadas em Saúde. Universidade de Vassouras - Vassouras, RJ.

\*Rua Barão de Cataguases, 164, Ap. 1002, Santa Helena, Juiz de Fora, Minas Gerais Brasil. CEP: 36015-370. [laylavsantos@outlook.com](mailto:laylavsantos@outlook.com)

Recebido em 05/06/2021 Aceito para publicação em 23/07/2021

### RESUMO

O Polígono de Willis (PW), possui conformação quase pentagonal e consiste em uma rede de anastomose ampla entre as quatro artérias cerebrais. Suas variações podem interferir na perfusão sanguínea cerebral. Este estudo objetiva identificar as principais variações anatômicas do PW e da vascularização cerebral relatados na literatura, correlacionando-as com as principais manifestações clínicas e implicações cirúrgicas, contribuindo para a revisão do tema por estudantes e profissionais médicos. Trata-se de uma revisão bibliográfica realizada nas bases de dados PubMed e SciELO, cujo critério de busca consiste em artigos publicados nos últimos cinco anos, que abordam a anatomia da vascularização cerebral, incluindo o PW e suas variações. Também foram incluídos artigos abordando a correlação dessas com manifestações clínicas e implicações na área cirúrgica, sendo selecionados 17 artigos. Foram encontradas variações nas artérias: carótida interna, comunicante anterior, comunicante posterior, cerebral média, cerebral posterior, cerebral anterior e na configuração do PW. Aplasia, hipoplasia e configuração fetal foram as variações mais relatadas na bibliografia utilizada, sobretudo no segmento A1 da ACA, segmento anterior ou semicírculo posterior e persistência da configuração fetal do PW, respectivamente. Tais variações interferiram significativamente no prognóstico em exames invasivos, neurocirurgias e após acidentes vasculares. Contudo, sua relação com sintomas carece de mais estudos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polígono de Willis; vascularização cerebral; variação anatômica.

### ABSTRACT

The circle of Willis has an almost pentagonal conformation and constitutes a wide anastomotic network between the four cerebral arteries. Its variations can interfere with cerebral blood perfusion. The study aims to identify the main anatomical variations of PW and cerebral vascularization reported in the literature, correlating them with the main clinical manifestations and surgical implications, contributing

to the review of the theme by students and medical professionals. This is a bibliographic review carried out in the PubMed and SciELO databases, whose search criteria consist of articles published in the last five years, which addressed the anatomy of cerebral vascularization, including the PW and its variations, as well as their correlation with clinical manifestations and implications in the surgical area, using 17 articles. Articles addressing the correlation of these with clinical manifestations and implications in the surgical area were also included, with 17 articles selected. Variations were found in the arteries: internal carotid, anterior communicating, posterior communicating, middle cerebral, posterior cerebral, anterior cerebral and in the PW configuration. Aplasia, hypoplasia and fetal configuration were the most reported variations in the literature used, especially in the A1 segment of the ACA, anterior segment or posterior semicircle and persistence of the fetal configuration of the PW, respectively. Such variations significantly interfered with the prognosis in invasive exams, neurosurgeries and after strokes. However, its relationship with symptoms needs further studies.

**KEYWORDS:** Circle of Willis; cerebral vascularization; Anatomic Variation.

### 1. INTRODUÇÃO

O círculo arterial do cérebro (de Willis) é formado por vasos na face anterior do encéfalo. Consiste em uma anastomose entre as quatro artérias que irrigam o encéfalo: duas artérias vertebrais e duas artérias carótidas internas (ACI)<sup>1</sup>.

Anteriormente, é formado pelas artérias cerebrais anteriores (ACA), ramos das ACI, interligadas pela comunicante anterior (ACoM). Posteriormente, pelas duas artérias cerebrais posteriores (ACP) – ramos da artéria basilar unidas bilateralmente com a ACI pela artéria comunicante posterior (ACoM). Os três troncos originam-se do círculo arterial de Willis e irrigam cada hemisfério cerebral. Anteriormente, originam-se as duas ACA; anterolateralmente, as cerebrais médias (ACM), e de sua parte posterior, as ACP<sup>2</sup>.

Anatomicamente, o termo “normal” é definido por dados estatísticos. É a estrutura mais comumente encontrada na amostragem de indivíduos. Já a variação anatômica refere-se às alterações morfológicas de órgãos ou estruturas individuais que não prejudicam a função<sup>3</sup>. O modo de distribuição dos vasos do cérebro tem um importante papel sobre um número considerável de lesões patológicas. Sendo assim, é necessário considerar a maneira na qual os vasos estão distribuídos e suas possíveis variações<sup>2</sup>.

Apesar das variações anatômicas não impactarem necessariamente na irrigação cerebral, elas podem aumentar o risco de doenças neurológicas por dois mecanismos: elas podem influenciar a perfusão colateral, levando a complicações em cirurgias vasculares e neurológicas, infartos cerebrais, enxaqueca e até mesmo doenças psiquiátricas; e podem promover o desequilíbrio entre a geometria de algumas variações, o que pode predispor à tensão de cisalhamento e ruptura de paredes, associada com a formação e ruptura de aneurismas intracranianos e aterosclerose<sup>4</sup>.

O conhecimento dessas variantes anatômicas é importante para procedimentos cirúrgicos, sendo os objetivos preservar as artérias em localizações atípicas. Quando são lesadas, podem determinar sequelas invalidantes<sup>5</sup>.

Diante da importância clínica e cirúrgica das variantes anatômicas da vascularização cerebral e de, nos últimos cinco anos, não haver nenhuma revisão de literatura sobre o tema, o presente estudo faz-se de grande valia, contribuindo, principalmente, para a área da neurologia e neurocirurgia.

O objetivo do estudo consiste em identificar as principais variações anatômicas do PW e da vascularização cerebral relatados na literatura, correlacionando-as com as principais manifestações clínicas e implicações cirúrgicas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados PubMed e SciELO, utilizando-se as seguintes palavras chaves: Polígono de Willis, vascularização cerebral e variações anatômicas, assim como suas variantes nos idiomas inglês e espanhol.

Foi estabelecido como critério de busca, artigos publicados nos últimos cinco anos, que abordassem a anatomia da vascularização cerebral, incluindo o PW e suas variações, bem como a correlação das mesmas com manifestações clínicas e implicações na área cirúrgica. Foram encontrados artigos nas línguas inglesa, espanhola e portuguesa e excluídos artigos de revisão de literatura.

Foram encontrados 259 artigos, sendo 27 na base de dados SciELO e 232 no PubMed. A primeira triagem foi feita com base no ano de publicação e no tipo de estudo, sendo excluídos os de revisão de literatura e os publicados antes de 2015. Dessa forma, restaram 33 artigos, sendo 8 destes na SciELO e 25 no PubMed. A segunda triagem consistiu na leitura dos títulos e resumos, restando apenas 1 na SciELO e 23 no PubMed,

totalizando 24 obras.

Após isso, foi realizada a leitura na íntegra destes últimos estudos, excluindo-se aqueles que não abordaram o tema preconizado no critério de inclusão, sendo utilizadas 17 pesquisas para compor o processo de revisão.

## 3. DESENVOLVIMENTO

Foram encontradas variações nas artérias: carótida interna, comunicante anterior, comunicante posterior, cerebral média, cerebral posterior e cerebral anterior. Alterações na configuração do PW também foram relatadas.

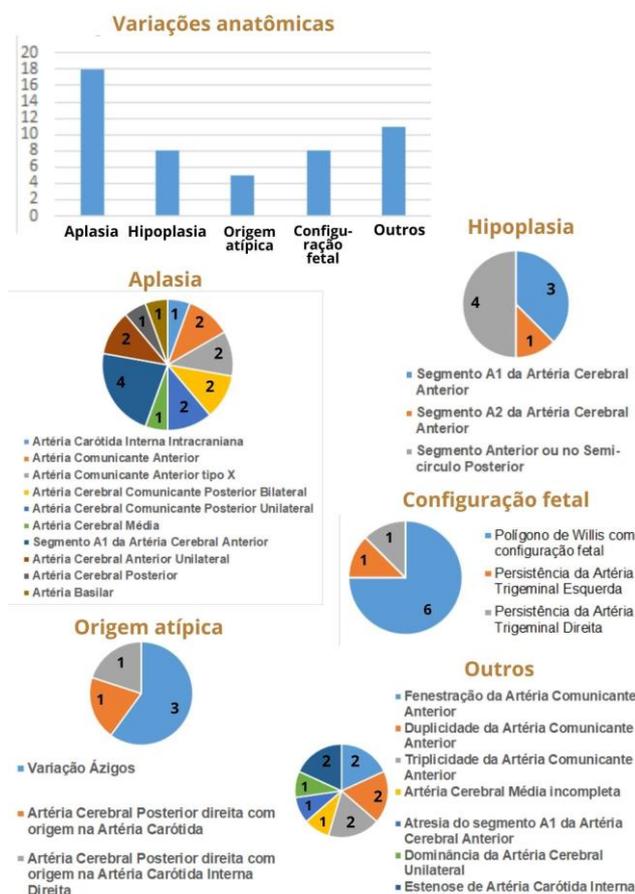
Houve dois artigos abordando achados anômalos que merecem destaque, como o estudo de JAYAKUMAR, P *et al.* (2015)<sup>26</sup>, que descreve um caso atípico de um adulto com colpocefalia e ausência completa do polígono de Willis, em que a AComA e a AComP eram inexistentes. Nessa situação, a ACA no lado direito e a ACM nos dois lados foram substituídas por múltiplos troncos arteriais que supriam o hemisfério cerebral. Além disso, a ACA esquerda estava ausente, a artéria coroidal primitiva foi vista como um largo tronco cruzando o hemisfério e a artéria basilar supra a fossa posterior e provavelmente parte do lobo occipital e o tálamo.

Da mesma forma, DOI, K. *et al.* (2018)<sup>23</sup> relataram três casos de anomalia hiperplásica da artéria coróide anterior (ACoA), sendo dois deles classificados como tipo 3 pela classificação de Takahashie e um deles considerado um novo tipo de AchA hiperplásico. Na anomalia hiperplásica da ACoA tipo 3, a artéria anômala diverge da ACI e segue o mesmo curso que ACoA normal, proximalmente, porém passa na região cortical occipital distalmente. Já no último caso, observou-se uma artéria que divergia da ACI e acompanhava a AComP normal, convergindo com ela. Tal anomalia não pôde ser enquadrada em nenhuma classificação de ACoA hiperplásica, tampouco como AComP de origem duplicada. Diante disso, concluíram que foi descoberto um novo tipo de variação dessa artéria.

A análise quantitativa e qualitativa das variações mais citadas dentre a bibliografia empregada para revisão e suas correlações clínico-cirúrgicas estão representadas nas Figuras 1 e 2.



**Figura 1.** Avaliação quantitativa das variações mais encontradas na revisão. **Fonte:** os Autores, 2020.



**Figura 2.** Avaliação quantitativa das variações. **Fonte:** os Autores, 2020.

## 4. DISCUSSÃO

### Alterações cerebrovasculares

As variações anatômicas do PW podem interferir no balanço hemodinâmico local, com potencial de elevar o risco de AVC<sup>4</sup>. A exposição à elevada tensão de cisalhamento a longo prazo, promove respostas celulares adaptativas, cujo desfecho é a formação de placas de aterosclerose e degeneração da parede arterial, resultando em instabilidade da mesma<sup>6</sup>.

Diante disso, variações que cursam com o aumento da resistência ao fluxo sanguíneo, possuem uma forte associação com formação e ruptura de aneurisma e acidente vascular cerebral, por diminuição do fluxo sanguíneo, durante eventos trombóticos oclusivos ou procedimentos endovasculares, como é o caso de artérias hipoplásica, assimetria e artérias atípicas<sup>4,7</sup>.

Da mesma forma, houve associação entre a localização do aneurisma e variações vasculares: a hipoplasia e aplasia arterial foram as mais associadas a aneurismas intracranianos; o sistema arterial cerebral anterior foi o que mais apresentou variações, sendo mais detectadas no lado direito. Ainda, a coexistência de aneurisma e variações vasculares na artéria comunicante anterior foi maior que os aneurismas de artéria cerebral média e de artéria comunicante posterior, sendo essa os mais associados à variação dentre as encontradas na circulação posterior<sup>8</sup>.

Apesar de ter sido encontrada maior prevalência de placas de ateromas instáveis em paciente com PW incompleto, não houve significância estatística ao relacioná-los. Dessa forma, concluiu-se não haver relação direta entre a presença do PW incompleto e a formação de placas de ateroma instáveis nas artérias carótidas internas, porém, o aumento da resistência ao fluxo sanguíneo, promovido pela variação, parece ser o fator diretamente associado a tal desfecho<sup>9</sup>.

Do mesmo modo, um PW anômalo parece não interferir na sintomatologia de doenças carótídeas<sup>10</sup>. Embora a presença de fluxo colateral pela artéria comunicante posterior no PW tenha sido associada a uma baixa prevalência de infartos na zona de fronteira em pacientes com oclusão unilateral da ACI, não houve aumento do mesmo nos pacientes assintomáticos com oclusão da ACI<sup>10,11</sup>.

Em contrapartida, a presença da origem fetal na circulação da ACP foi associada à má circulação colateral em pacientes com AVC isquêmico agudo causado por oclusão de importantes artérias<sup>12</sup>.

Tal fato é ilustrado no relato de caso de uma paciente que apresentou infarto agudo occipito-cortical, o qual cursou com hemianopia homônima esquerda de início súbito e cefaleia do lado direito. Foi encontrada extensa anormalidade do PW à ARM, consistindo em: ACP fetal direita parcial, ausência das ACM e ACA direitas e ACP direita originando-se da ACI. Além disso, confirmou-se o diagnóstico de síndrome antifosfolípide (SAF). A paciente apresentou episódio semelhante no ano anterior, no qual houve perda do campo visual esquerdo por uma semana, porém houve investigação. Com isso, inferiu-se que as duas patologias únicas (anomalias no PW e SAF) podem explicar a sua predisposição a infartos cerebrais do lado direito<sup>13</sup>.

### Alterações relacionadas a prognóstico em exames

Identificou-se que a ACM isolada (ausência AComA e AComP) aumentou em 10 vezes o risco de algum evento neurológico imediato após endarterectomia por eversão de carótida sem proteção de shunt. Sendo assim, foi recomendado a realização de shunt de rotina nesses pacientes, como profilaxia de eventos neurológicos imediatos<sup>14</sup>.

Portanto, algumas variações anatômicas do PW podem alterar significativamente a evolução de um indivíduo submetido a suporte extracorpóreo à vida, quando o acesso é via carótida.

No relato de caso de Sonobe *et al.* (2020)<sup>15</sup> uma criança que apresentava hipoplasia das ACP's bilaterais (tipo fetal) e aplasia do segmento proximal da ACA, evoluiu com infarto cerebral disseminado, após suporte extracorpóreo à vida, via ACI. As regiões acometidas foram o hemisfério direito e a área da ACA esquerda. Portanto, concluiu-se que é prudente identificar anomalias únicas no PW antes de tal procedimento, pois pode ser necessário lançar mão de outras opções, como uma abordagem trans esternotomia.

Todavia, um PW incompleto com potencial

isquêmico, não interferiu no prognóstico de pacientes submetidos ao clampeamento cruzado da artéria carótida comum durante a desramificação, realizada antes do reparo endovascular da aorta torácica, desde que mantida pressão arterial média acima de 100 mmHg e que seja realizado o monitoramento regional da saturação de oxigênio cerebral<sup>16</sup>.

### **Alterações relacionadas a apresentações de sintomas**

Foi mencionada a coexistência de sintomas visuais, decorrentes de infarto do lobo occipital direito, em um indivíduo com configuração fetal do PW. O paciente apresentava PW incompleto (ausência da AComP) e a ACP direita originava-se da ACI direita, ao em vez da artéria basilar direita. Ademais, foi identificada estenose de 70% na ACI direita, sendo essa, a possível origem aterotrombótica<sup>17</sup>.

Também houve o relato de um caso, cujo paciente apresentava vertigem ocasional que não variava com mudança postural e portava a variação ázigos da ACA com hipoplasia do segmento A1 e origem fetal da ACP esquerda com persistência bilateral das artérias trigeminais. Entretanto, os autores não encontraram uma explicação que correlacionasse a variação com o sintoma<sup>18</sup>.

Contudo, a irrigação do órgão sensorial e das vias neuronais responsáveis pelo equilíbrio são provenientes do sistema vertebro-basilar<sup>19</sup>. Ainda, no tipo mais comum de configuração fetal do PW, não há AComP e são as artérias trigeminais primitivas que fornecem o suprimento do sistema basilar distal. Além disso, a porção proximal da artéria basilar pode ser hipoplásica e a artéria vertebral provê apenas essa porção. Com isso, o cerebelo e o tronco cerebral são irrigados pela artéria trigeminal primitiva principalmente<sup>20</sup>.

### **Alterações sem relação específica**

Pôde-se observar que há uma frequência de determinadas variações do PW conforme a região geográfica e etnia<sup>21</sup>. Diante disso, torna-se possível conhecer o padrão dessas variações na população, o que guiará a abordagem de neurocirurgiões e de intervenções radiológicas.

Ademais, foi relatado um caso de síndrome PHACE's (síndrome caracterizada pela associação de malformações da fossa cerebral posterior, hemangiomas faciais extensos, anomalias anatômicas das artérias cerebrais, coarctação da aorta, além de outras anomalias cardíacas, e anomalias oculares), acompanhada de importantes variações anatômicas vasculares: ausência da porção intracraniana da ACI direita; ausência da AComP; surgimento da ACM diretamente da artéria basilar; surgimento da artéria oftálmica direita imediatamente proximal à ACM direita aberrante; ausência da porção proximal da ACA direita e hipoplasia da sua segunda porção, que surgia da AComA, a qual se formava exclusivamente da ACA esquerda<sup>22</sup>.

Anatomicamente, a artéria coroide emerge da ACI e segue em direção posterior, ao longo do nervo óptico,

até penetrar no corno inferior do ventrículo lateral, irrigando os plexos coroides, parte da cápsula interna, os núcleos da base e diencéfalo<sup>19</sup>.

Além disso, na fase fetal primitiva essa artéria possui múltiplos ramos e se anastomosa com as AComP e ACP, sendo que, no estágio final dessa fase, essas anastomoses se degeneram e os ramos que supriam as regiões corticais migram para a artéria cerebral posterior. Quando tais anastomoses não regridem e a perfusão dessas áreas corticais continua sendo pela ACoA, temos a hiperplasia da mesma, a qual é classificada por Takahashie em quatro subtipos<sup>23</sup>.

Todavia, um estudo encontrou um tipo de anomalia hiperplásica da artéria coroide ainda não relatada na literatura. Tal variação possui incidência de 1,8 a 2,3% e comumente está associada a aneurismas, devido ao estresse hemodinâmico e ao enfraquecimento da parede arterial, o que já é bem descrito na literatura<sup>23</sup>.

Em outra perspectiva, evidenciou-se uma relação inversa entre o diâmetro da artéria basilar e a presença de um PW do tipo fetal, na qual pacientes que apresentam esse tipo de polígono têm uma redução de 18% no diâmetro da artéria basilar em comparação com aqueles com tipos não-fetais, independentemente da demografia e dos fatores de risco cardiovascular<sup>24</sup>.

Vale ressaltar que a avaliação do diâmetro da artéria basilar é crucial para o diagnóstico de dolicoectasia da mesma, uma arteriopatía dilatada associada a um risco aumentado de acidente vascular cerebral e outras complicações neurológicas<sup>25</sup>.

Diante disso, populações com maior prevalência de PW do tipo fetal podem ter prevalência de ectasia de artéria basilar mais baixa e, assim, dolicoectasia<sup>24</sup>.

Embora estudos embriológicos tenham sugerido que o desenvolvimento vascular e o desenvolvimento de anormalidades cerebrais estejam diretamente relacionados, há a possibilidade deste não ser apenas motivado pelo crescimento do parênquima, mas também por outros fatores independentes<sup>26</sup>.

Tal fato é elencado em um relato de caso, no qual o paciente apresentava ausência do PW acompanhado de desgaste vascular e colpocefalia não associada a anormalidades da linha média do corpo caloso. Perante tais achados, observou-se uma discrepância entre as anormalidades do parênquima e os achados vasculares sob a perspectiva de desenvolvimento, uma vez que o parênquima cerebral parece estar totalmente desenvolvido na configuração para um adulto, em contrapartida, a vasculatura cerebral mostra um padrão interrompido da vida fetal precoce<sup>26</sup>.

## **5. CONCLUSÃO**

Há diversos tipos de variações anatômicas e anomalias no PW, sendo aplasia, hipoplasia e configuração fetal os tipos mais relatados na bibliografia utilizada, sobretudo no segmento A1 da ACA, segmento anterior ou semicírculo posterior e persistência da configuração fetal do PW, respectivamente. Além disso, a origem atípica mais relatada foi a artéria ázigos.

Assim, algumas anomalias extremas, mesmo que

raras, devem ser lembradas antes de intervenções invasivas, sobretudo na população pediátrica.

Algumas dessas variações possuem uma frequência estimada em populações específicas. No entanto, faltam estudos para categorizá-las quanto a etnia.

Do mesmo modo, as variações anatômicas vasculares do PW interferem significativamente no prognóstico em exames invasivos e neurocirurgias, bem como após acidentes vasculares.

Contudo, a relação dessas variações com sintomas carece de mais estudos, uma vez que, apesar de haver relatos na literatura nos últimos cinco anos, nenhum mostrou-se conclusivo até o momento.

Conclui-se que é de extrema importância que profissionais radiologistas e neurocirurgiões tenham ciência dessas variações antes de realizarem procedimentos invasivos, correlacionando-as às possíveis complicações, de forma a lançar mão de outras abordagens, a fim de evitar complicações que cursem com a morbimortalidade do paciente.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Moore, KL, Daley II, AF. Anatomia orientada para a clínica. 7<sup>a</sup>.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- [2] Henry gray, FRS. Editoria de Goss, C.M. Anatomia. 29<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.
- [3] Di dio, LJA. Tratado de Anatomia Sistemática Aplicada. São Paulo: Póluss, 1998. V.1.
- [4] Pascalau R, Padurean VA, Bartos D, *et al.* The Geometry of the Circle of Willis Anatomical Variants as a Potential Cerebrovascular Risk Factor. *Turk Neurosurg.* 2019; 29(2):151-158.
- [5] Martínez F, Spagnuolo E, Calvo-Rubal A, *et al.* Variaciones del sector anterior del polígono de Willis. Correlación anatómico-angiográfica y su implicancia en la cirugía de aneurismas intracranianos. (Arterias: ácidos cerebral anterior, mediana del cuerpo calloso y cerebral media. *Neurocirugia (Astur).* 2004 Dec; 15(6):578-88; discussion 588-9.
- [6] Nixon AM, Gunel M, Sumpio BE. The critical role of hemodynamics in the development of cerebral vascular disease. *J Neurosurg* 112: 1240-1253, 2010
- [7] Jiménez-Sosa Michelle Stephanie, Cantu-Gonzalez Juan Ramón, Morales-Avalos Rodolfo, de la Garza-Castro Oscar, Quiroga-Garza Alejandro, Pinales-Razo Ricardo *et al.* Anatomical Variants of Anterior Cerebral Arterial Circle: A Study by Multidetector Computerized 3D Tomographic Angiography. *Int. J. Morphol.* 2017 Sep; 35(3): 1121-1128.
- [8] Orakdogan M, Emon ST, Somay H, Engin T, *et al.* Vascular Variations Associated with Intracranial Aneurysms. *Turk Neurosurg.* 2017; 27(6):853-862.
- [9] Zhou C, Yuan C, Li R, Wang W, Li C, *et al.* CARE-II Study Collaborators. Association Between Incomplete Circle of Willis and Carotid Vulnerable Atherosclerotic Plaques. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2018 Nov; 38(11):2744-2749.
- [10] Göksu EÖ, Koç P, Kükükseymen E, Ünal A, *et al.* The association of the circle of Willis anomaly and risk of stroke in patients with carotid artery disease. *Arq Neuropsiquiatr.* 2017 Jul; 75(7):429-432.
- [11] Hendrikse J, Hartkamp MJ, Hillen B, *et al.* Capacidade colateral do círculo de Willis em pacientes com oclusão da artéria carótida interna unilateral: infartos na zona de fronteira e sintomas clínicos. *Derrame.* 2001; 32 (12): 2768-73.
- [12] Dharmasaroja PA, Uransilp N, Piyabhan P. Fetal origin of posterior cerebral artery related to poor collaterals in patients with acute ischemic stroke. *J Clin Neurosci.* 2019 Oct; 68:158-161.
- [13] Del Brutto OH, Mera RM, Costa AF, Del Brutto VJ. Basilar Artery Diameter Is Inversely Associated with Fetal Type Circle of Willis. *Eur Neurol.* 2017 Sep; 78(3-4):217-220.
- [14] Banga PV, Varga A, Csobay-Novák C, *et al.* Incomplete circle of Willis is associated with a higher incidence of neurologic events during carotid eversion endarterectomy without shunting. *J Vasc Surg.* 2018 Dec; 68(6):1764-1771.
- [15] Sonobe A, Kato H, Mathis BJ, Hiramatsu Y. Surgical correction of coarctation of the aorta featuring an incomplete circle of Willis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2020 May 1;30(5):794-795.
- [16] Takahashi Y, Murakami T, Sasaki Y, *et al.* Safety of perioperative cerebral oxygen saturation during debranching in patients with incomplete circle of Willis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2018 Jun 1; 26(6):965-971.
- [17] Elkawafi M, Rajagopalan S. Not to be Missed. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2016 Sep; 52(3):369.
- [18] Misra AP, Mishra R. Anomalous Circle of Willis with Vertigo. *Indian J Pediatr.* 2015 Aug; 82(8):770-1.
- [19] Machado, A, Haertel, LM. 3<sup>a</sup> ed. Neuroanatomia Funcional. Belo Horizonte: Editora Atheneu, 2014.
- [20] Caldemeyer KS, Carrico JB, Mathews VP. The radiology and embryology of anomalous arteries of the head and neck. *AJR Am J Roentgenol.* 1998; 170:197-203.
- [21] Yeniçeri İÖ, Çullu N, Deveer M, *et al.* Circle of Willis variations and artery diameter measurements in the Turkish population. *Folia Morphol (Warsz).* 2017; 76(3):420-425.
- [22] Winter PR, Itinteang T, Leadbitter P, *et al.* PHACE(S) Syndrome With Absent Intracranial Internal Carotid Artery and Anomalous Circle of Willis. *J Craniofac Surg.* 2015 Jun; 26(4):e315-7
- [23] Doi K, Mizuno T, Shigematsu Y, *et al.* A new type of hyperplastic anterior choroidal artery. *J Clin Neurosci.* 2018 May; 51:72-74
- [24] Del Brutto OH, Mera RM, Costa AF, *et al.* Basilar Artery Diameter Is Inversely Associated with Fetal Type Circle of Willis. *Eur Neurol.* 2017; 78(3-4):217-220.
- [25] Pico F, Labreuche J, Amarenco P. Pathophysiology, presentation, prognosis, and management of intracranial arterial dolichoectasia. *Lancet Neurol* 2015; 14:833-845.
- [26] Jayakumar PN, Verghese R, Paul D. Absent circle of Willis with vascular collaterals in an adult with colpocephaly: A developmental perspective. *Neuroradiol J.* 2015 Dec; 28(6):609-16.