

NEYSA APARECIDA TINOCO REGATTIERI

**AVALIAÇÃO MORFOLÓGICO E ANGIOGRÁFICA POR
TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA E RESSONÂNCIA
MAGNÉTICA
DO CÍRCULO ARTERIAL DO CÉREBRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Ciências Morfofuncionais

Orientador: Prof. Dr. Edson Aparecido Liberti

Versão corrigida. A versão original eletrônica encontra-se disponível tanto na Biblioteca do ICB quanto na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD).

São Paulo
2012

RESUMO

REGATTIERI, N. A. T. **Avaliação morfológica e angiográfica por tomografia computadorizada e por ressonância magnética do círculo arterial do cérebro.** 2012. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências Morfofuncionais) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo; São Paulo, 2012.

O círculo arterial do cérebro (CAC) é objeto de estudo desde os princípios da anatomia moderna e ao longo dos séculos documentado e classificado de várias maneiras. Recentemente, o desenvolvimento dos métodos diagnósticos por imagem e de ultraestrutura abriram um novo leque nas possibilidades de investigação. Neste trabalho, o CAC foi avaliado por meio de exames por angiotomografia computadorizada, por angiorressonância magnética, fotografias de peças anatômicas, histologia, microscopia eletrônica por varredura e por transmissão. Verificou-se, na amostra que o CAC possui, tendência à simetria. Os achados foram similares quando da comparação entre os métodos de diagnóstico por imagem, porém não demonstraram todos os achados dos espécimes anatômicos. A metodologia utilizada permitiu verificar que as camadas das paredes das diferentes artérias podem explicar parcialmente as diferenças nos achados entre os métodos de imagem e as peças anatômicas. Os dados aqui apresentados revestem-se de grande importância clínica e cirúrgica uma vez que o CAC é um elemento-chave na circulação cerebral.

Palavras-chave: Círculo arterial do cérebro. Anatomia. Histologia. Artéria. Angiografia por tomografia computadorizada. Angiografiaporressonânciamagnética.

ABSTRACT

REGATTIERI, N. A. T. **Morphologic and angiographic computer tomography and magnetic resonance imaging of arterial circle of the brain (Willis Polygon).** 2012. 100 p. Ph. D. Thesis (Anatomy Morphofunction) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The arterial circle of the brain (Willis Polygon - WP) has been studied since the beginning of modern anatomy and documented and classified over the centuries in various ways. Recently the development of diagnostic imaging methods and ultra structure opened a new range of possibilities in the investigation. In this work the WP was assessed by computer tomography angiography examinations by magnetic resonance angiography, photographs of anatomical specimens, histology, scanning and transmission electron microscopy. It was found that the sample has a tendency to the WP symmetry. The findings were similar when comparing the methods of diagnostic imaging, but did not show all findings of anatomical specimens. The methodology has shown that the different layers of the walls of arteries may partly explain the differences in findings between imaging and anatomical parts. The data presented here are of great clinical and surgical importance, once the WP is a key element in the cerebral circulation.

Keywords: Willis polygon. Anatomy. Histology. Artery. Computer tomography angiography. Magnetic resonance angiography.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Junqueira (2004), os vasos arteriais que compõem o sistema circulatório são divididos em vasos da microcirculação, aqueles visíveis apenas ao microscópio como as arteríolas e capilares e, em vasos da macrocirculação, aqueles acima de 0,1 mm de diâmetro, como as pequenas artérias, as artérias musculares e as elásticas.

Todos os vasos sanguíneos acima de um diâmetro determinado são compostos por três camadas ou túnicas. A primeira é denominada túnica íntima e apresenta uma lâmina elástica interna constituída principalmente por elastina. Permite a difusão de substâncias nutritoras para as células localizadas mais profundamente na parede dos vasos através de fenestras. A túnica média, o segundo constituinte, é formada por camadas de células musculares lisas dispostas em espiral; entre essas camadas há quantidades variáveis de fibras e lamelas elásticas, fibras reticulares (colágeno tipo III), proteoglicanos e glicoproteínas. A última camada, a túnica adventícia, é formada por colágeno tipo I e fibras elásticas.

As artérias médias (musculares) apresentam a camada média essencialmente formada por células musculares lisas que podem conter até 40 camadas destas. Lamelas elásticas, de número variável, junto com fibras reticulares e proteoglicanas são sintetizadas pelas células musculares lisas e são encontradas entremeadas a estas. A camada íntima desses vasos possui uma camada subendotelial um pouco mais espessa que as arteríolas (artérias com diâmetro menor que 0,5 mm). A camada adventícia é formada por tecido conjuntivo frouxo onde são encontrados vasos capilares linfáticos, a inervação da adventícia e os *vasa vasorum* (vasos dos vasos). Estes ficam localizados na adventícia e na porção externa da média de vasos que possuem tamanho grande e intermediário. A função dos *vasa vasorum* é prover essas camadas de nutrientes. As artérias musculares podem controlar o fluxo sanguíneo para os órgãos que irrigam, contraindo ou relaxando as células musculares lisas de sua túnica média.

Cada artéria possui seu padrão próprio de envelhecimento apresentando mudanças progressivas e graduais desde o nascimento até a morte. Há dificuldade em se estabelecer quando terminam os processos normais de desenvolvimento e quando começam os de envelhecimento. O espessamento focal da íntima, a proliferação de células musculares lisas e de elementos celulares e extracelulares

do tecido conjuntivo, o depósito de colesterol nas células musculares lisas e em macrófagos caracterizam lesões de cunho aterosclerótico. Essas alterações podem acometer até a porção interna da túnica média podendo obstruir a luz do vaso na dependência direta do tamanho do grau de espessamento desenvolvido.

Ortiz–Velásquez et al. (2009), aplicando microscopia de força atômica no estudo da superfície endotelial de bifurcações arteriais cerebrais humanas, afirmaram que diferentes segmentos vasculares apresentam endotélios com morfologia e funções especializadas de acordo com sua localização. As células endoteliais, em contato com o fluxo sanguíneo, são submetidas à tensão de cisalhamento (*shear stress*), proveniente da orientação do fluxo e da tensão circunferencial secundária à distensão da parede pela pressão arterial.

Toda célula endotelial, não importando sua localização, possui a capacidade de responder a alterações hemodinâmicas às quais é submetida, principalmente às mudanças na tensão de cisalhamento, que atuam em sua superfície dando origem a respostas que transformam a morfologia e a função celular por meio de expressões gênicas.

Mudanças crônicas nas características do fluxo estimulam o remodelamento da parede arterial por meio de processos que são dependentes do endotélio, pois este é o responsável pela interação entre os estímulos do fluxo sanguíneo e a parede vascular.

Lesões vasculares aneurismáticas e ateroscleróticas intracranianas são observadas principalmente em locais de geometria complexa da árvore arterial como as bifurcações e curvas arteriais. Nesses locais, ocorrem as maiores variações relacionadas ao fluxo sanguíneo como as espaço - temporais da tensão de cisalhamento. Locais onde existe tensão de cisalhamento oscilatório possuem maior correlação com localização de placas de ateroma tanto do ponto de vista estatístico como biológico. As dilatações aneurismáticas correlacionam-se com locais onde há tensões elevadas. Essas regiões apresentam morfologias endoteliais características quando comparadas com regiões de fluxo laminar. As condições locais do fluxo sanguíneo levam a variações nas células endoteliais quanto a sua orientação, forma e estrutura; dessa maneira, é possível assumir a hipótese de que a morfologia do endotélio seja um marcador das condições que dão origem às lesões vasculares.

Para Nixon; Gunel; Sumpio (2010), patologias vasculares intracranianas tais como aneurismas saculares e aterosclerose localizam-se, de maneira predizível, em

áreas de geometria complexa como bifurcações e curvaturas. Esses sítios são caracterizados por condições hemodinâmicas únicas que possivelmente influenciam o risco para o desenvolvimento de agravos. Variações na geometria podem mudar a distribuição e a magnitude da tensão de cisalhamento na parede, aumentando o risco para doenças vasculares.

Segundo Poudel et al. (2010), as grandes variações de calibre foram observadas, principalmente, na artéria comunicante posterior (ACoP).

Existem descritas três configurações básicas da ACoP: fetal, transicional e adulto. O tipo fetal é aquele cujo diâmetro do seg. P1 é menor que o diâmetro da ACoP ipsilateral; dessa maneira, o suprimento sanguíneo para os lobos occipitais é basicamente oriundo da ACI. Na configuração transicional, o diâmetro da ACoP é igual ao do seg. P1. Já no tipo adulto, o seg. P1 tem um diâmetro maior que o da ACoP, assim, o suprimento arterial do lobo occipital é proveniente do sistema vertebrobasilar. Essas variações anatômicas podem ter significado clínico, pois tornam possível material embólico, proveniente do sistema carotídeo, afetar território comumente irrigado pelo sistema vertebrobasilar. Logo, é importante conhecer variações da circulação cerebral, uma vez que não são tão raras e podem acarretar doenças importantes como isquemias seguidas de uma alta taxa de mortalidade e de invalidez. O conhecimento dessas variações anatômicas é essencial para a educação, treinamento, diagnóstico e tratamento. Após a oclusão da ACI, a principal via de circulação colateral é o CAC, porém o tamanho e a perviedade das artérias que o constituem, são bastante variáveis.

Relativamente aos estudos sobre a anatomia do CAC realizados com o auxílio de radiografias, a primeira arteriografia cerebral foi realizada por Egas Moniz através da punção direta da artéria carótida comum. Desde então, os métodos de investigação diagnóstica das doenças relacionadas à vascularização intracraniana evoluíram com maior sensibilidade e especificidade diagnósticas, bem como reduziram os riscos quanto à morbidade e mortalidade relacionadas ao método (WETZEL, 2009).

A partir dos anos 1970, houve uma verdadeira revolução nos diagnósticos por imagem mediante a introdução de novos métodos como a tomografia computadorizada por Godfrey N. Hounsfield e da ressonância magnética, por Paul Lauterbur. Com a evolução dos equipamentos destinados para esse fim, as imagens obtidas por meio de cortes axiais puderam ser reconstruídas de maneira

multiplanar facilitando uma melhora visual das estruturas anatômicas e, conseqüentemente, melhor entendimento das doenças correlatas (VENEMA; HULSMANS; DEN HEETEN, 2001). Esses novos métodos foram fundamentais para a definição de estratégias diagnósticas e terapêuticas em todas as especialidades médicas, principalmente no âmbito da neurologia e da neurocirurgia (REGATTIERI et al., 2011).

A angiografia por subtração digital, ainda hoje, é considerada padrão de referência na investigação diagnóstica de patologias vasculares como aneurismas, alguns tumores muito vascularizados, malformações arteriovenosas, doenças isquêmicas e outras.

O conhecimento da anatomia vascular e suas variações anatômicas é fundamental para o entendimento das reconstruções multiplanares utilizadas na angiotomografia computadorizada (angioTC) e na angiorressonância magnética (angioRM). Estes métodos diagnósticos permitem avaliar a presença de calcificação parietal, a posição do colo aneurismático e suas relações anatômicas circundantes (ANDERSON et al., 1999; MANNIESING et al., 2008).

7 CONCLUSÃO

- A frequência das variações do CAC por vasos, na angioTC e na angioRM, obtendo:
 - Segmento A1: simétrico em 88% dos indivíduos; assimétrico em 11,7% e ausente em 0,5%;
 - ACoP: simétrica em 50,7% dos indivíduos, assimétrica em 0,5% e ausente em 48,8%;
 - P1: simétrico em 72,2% dos indivíduos; assimétrico em 22,4% e ausente em 5,4%;
- A avaliação macroscópica baseada em espécimes anatômicos demonstrou que o CAC obedece um padrão de simetria na maioria das vezes;
- algumas artérias não foram vistas nos métodos de diagnóstico por imagem, principalmente a ACoP, quando comparados aos achados com aqueles obtidos pela análise das fotografias das peças anatômicas. Esse fato pode ser explicado por uma limitação do método radiológico devido às resoluções de baixo contraste e espacial, quando do estudo de artérias com luz muito reduzida, pois a ausência dos vasos é rara;
- os achados prévios sob MEV apontam para uma melhor avaliação da estrutura das camadas da ACoP, uma vez que foram detectados alguns vasos com a luz parcialmente obliterada devido a uma possível alteração estrutural;
- foi detectada uma maior quantidade de colágeno tipo 3 na camada média da ACA e de colágeno tipo 1 na ACoP. Esse fato torna a ACA mais elástica em comparação com a ACoP;
- nos vasos classificados como tipo 1, nem sempre foi detectada a estrutura em camadas concêntricas regulares. Os vasos classificados como tipo 2 e 3 possuem as 3 camadas completas;
- houve uma tendência da camada média da ACA possuir maior espessura em relação àquela da ACoP, o que pode levar a uma redução da sua luz. Por outro lado, o fluxo não é necessariamente menor em virtude da maior distensibilidade da artéria;

- Não foi possível estabelecer um critério universal para a expressão “hipoplasia da artéria”, uma vez que a literatura é controversa e as publicações existentes nem sempre definem se o fundamento é a luz do vaso ou seu diâmetro total. Por isso, consideramos que a presente pesquisa possa ser uma fonte para futuras investigações nesse sentido.

REFERÊNCIAS*

AGUIAR, P.H.P. et al. Agenesia e hipoplasia do polígono de Willis. **Arq.Bras.Neurocirurg.**, v. 13, n. 4, p. 154-158, 1994.

ANDERSON, G. B. et al. Computed tomographic angiography versus digital subtraction angiography for the diagnosis and early treatment of ruptured intracranial aneurysms. **Neurosurgery**,v. 45,p.1315-1320, 1999.

AXIONVISION Rel. version. 4.8.2. Mannheim: ZEISS. Software.

BERSTEIN, M.; KING, K.; ZHOU, X. **Handbook of MRI Pulse Sequences**.San Diego, Califórnia: Elsevier, 2004

BITAR, R. et al. MR Pulse Sequences: What every radiologist wants to know but is afraid to ask.**RadioGraphics**, v. 26, p.513–537, 2006.

BOSKAMP, T. et al.New vessel analysis tool for morphometric quantification and visualization of vessels in CT and MR imaging data sets.**RadioGraphics**, v.24, p. 287–297, 2004.

BRANT, W. **Diagnostic imaging methods**: fundamentals of diagnostic radiology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999.

BRINK, J. et al. Helical CT: Principles and technical considerations. **RadioGraphics.**, v.14, p. 887–893, 1994.

BROWN, M.; SEMELKA, R. MR imaging abbreviations, definitions, and descriptions: a review. **Radiology**, v. 213, p. 647-662, 1999.

BROWN, M.; SEMELKA, R. **MRI**: basic principles and applications. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

BUSHBERG, J.; EDWIN, M.; LEIDHOLDT, J.R.**Theessential physics of medical imaging**. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.

BUSHONG, S.C. **Magnetic resonance imaging**: physical and biological principles. 3rd ed. St. Louis: Mosby, 1988.

*De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002

COSTA, P. R.; NERSISSIAN, D. Y. Princípios de CT. In: RAMOS, C. D.; SOARES JR, J. (Org.). **PET e PET/CT em oncologia**. São Paulo: Atheneu, 2011. p. 19-34.

DALRYMPLE, N.etal.Informatics in Radiology (infoRAD) Introduction to the Language of Three-dimensional Imaging with Multidetector CT. **RadioGraphics**,v. 25, p.1409–1428, 2005.

DIMMICK, S.J.; FAULDER, K.C. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. **RadioGraphics**, v. 29, p.1027-1043, 2009.

GÖRZER, H.; HEIMBERGER, K.; SCHINDLER, E. Spiral CT angiography with digital subtraction of extra- and intracranial vessels.**J. Comput. Assist. Tomogr.**, v. 18, p. 839–841, 1994.

GRAY, H. **Anatomia**. 29. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

HAACKE, E.M.; BROWN, R.W.; THOMPSON, M.R.; VENKATESAN, R. **Magnetic resonance imaging:physical principles and sequence design**.New York: J. Wiley& Sons, 1999.

HAAGA, J.R.; LANZIERI, C.F.; SARTORIS, D.J.; ZERHOUNI, E. A. **Tomografia computadorizada e ressonância magnética do corpo humano**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.

HARNSBERGER, H. R. et al. **Diagnostic and surgical imaging anatomy: brain – head & neck – spine**. Utah: Amirsys, 2007.

HENDEE, W. R.; RITENOUR, E. R. **Medical imaging physics**. Canadá: Wiley-Liss, 2002.

HILES, P. et al. A survey of patient dose and image quality for computed tomography scanners in Wales. **Journal of Radiological Protection**, v.21, n. 4, p. 345, 2001.

HOFFER, M. **Tomografia computadorizada: manual prático**. Rio de Janeiro: Revinter, 2005.

HOUNSFIELD, G. Computerized transverse axial scanning (tomography).I. Description of the system. **Br. J. Radiol.**, v. 46, p.1016-1022, 1973.

HOSPITAL DA BENEFICENCIA PORTUGUESA DE SÃO PAULO.**Estudos realizados em indivíduos no período de 27/08/2009 a 04/02/2011 por angiotomografia e no período de 16/06/2010 a 20/04/2011 por angiorressonância**.São Paulo, 2009-2011.

HSIEH, J.**Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances**, Washington: SPIE Publication, 2003.

INIEWSKI, K. **Medical imaging: principles, detectors and electronics**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

JOU, L.D.; LEE, D.H; MAWAD, M.E. Cross-flow at the anterior communicating artery and its implication in cerebral aneurysm formation. **J.Biomech.**, v.43, n. 11, p. 2189-2195. 2010.

JUNQUEIRA, L.C.U.; COSSERMELLI, W.; BRENTANI, R. Differential staining of collagens type I, II and III by Sirius Red and polarization microscopy. **Arch.Histol. JPN**, v. 41, p. 267, 1978.

JUNQUEIRA, L.C.U.; CARNEIRO, J. **Histologia básica**. 10.ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2004.

KALENDER, W. Spiral CT angiography.In: GOLDMAN, L. W.**Medical CT and ultrasound: current technology and applications**. New London: Folkes, 1995.

KALENDER, W. **Computer tomography: fundamentals, system technology image quality, applications**. Erlangen, Germany: Publicis Corporate Publishing, 2005.

KRABBE-HARTKAMP, M. J. et al. Circle of Willis: morphologic variation on three-dimensional time-of-flight MR angiograms **Radiology**, v. 207, p. 103–111, 1998.

LASJAUNIAS, P.; BERENSTEIN, A. **Surgicalneuroangiography**. Berlim: Springer Verlag,1990. v. 3

LEEDS, N. E.; KIEFFER, S. A. Evolution of diagnostic Neuroradiology from 1904 to 1999.**Radiology**, v.217, p. 309–318, 2000.

LELL, M. et al.New Techniques in CT angiography.**RadioGraphics**, n. 26, p. S45–S62, 2006.

LI, Q. et al.A multidetector CT angiography study variations in the circle of Willis in a Chinese population. **Journal of Clinical Neuroscience**, v.18, p. 379-383, 2010.

LINEY, G. **MRI from A toZ**. New York: Cambridge University Press, 2005

LINEY, G. **MRI in clinical practice** London: Springer-Verlag, 2006

LOMBARDI, M. B. C. **MRI of the Heart and Vessels**.Pisa: Springer-Verlag; 2005

MANDIOLA, E. et al.Artérias comunicantes do círculo arterial do cérebro: características biométricas e relação com o índice cefálico. **Int.J.Morphol.**, v. 28, n. 3, p.957-961, 2010.

MANNIESING, R. et al. Cerebral arteries: fully automated segmentation from CT angiography – a feasibility study. **Radiology**, n.247, p. 841–846, 2008.

MILENKOVIC, Z.; VUCETIC, R.; PUZIC, M. Asymmetry and anomalies of the circle of Willis in a fetal brain- microsurgical study and functional remarks. **SurgNeurol.**, v. 24, p.563-570, 1985.

MITCHELL, D. G.; COHEN, M. **MRI Principles**. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, 2004.

MOORE, K.; DALLEY, A.F. **Anatomia orientada para a clínica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

NEWTON, T. H; POTTS, D.G. **Radiology of the skull and brain: angiography**. Saint Louis: CV Mosby Company, 1974. 2v.

NIXON, A.M.; GUNEL, M.; SUMPIO, B.E. The critical role of hemodynamics in the development of cerebral vascular disease. **J. Neurosurg.**, v. 112, n. 6, p. 1240-1253, 2010.

OLDENDORF, M.; WEBER, P. Postprocessing techniques in CT angiography. **Electromedica**; v. 66, p. 21-26, 1997.

ORTIZ-VELÁSQUEZ, R. I. et al. Microscopia de força atômica no estudo da superfície endotelial de bifurcações arteriais cerebrais humanas. **Arq. Bras. Neurcir.**, v. 28, n. 1, p. 1- 8, 2009.

OSBORN, A. G. **Diagnostic neuroradiology**. St. Louis: Mosby, 1994.

POUDEL, P.P.; BHATTARAI, C. Anomalous formation of the circulus arteriosus and its clinico-anatomical significance. **Nepal. Med. Coll J.**, v. 12, n. 2, p. 72-75, 2010.

REGATTIERI, N. A. T. et al. Anatomia arterial intracraniana: avaliação por angiotomografia. **Revista da Imagem**, v. 32, n. 3/4, p. 31-37, 2011.

REYNOLDS, E.S. The use of lead citrate at high ph as an electron opaque stain in electron microscopy. **The Journal of Cell Biology**, v. 17, n. 1, p. 208-212, 1963.

ROBB, R.A. **Biomedical imaging, visualization and analysis**. New York: Wiley-Liss, 2000.

RUBIN, G.D.; ROFSKY, N.M. **CT& MR angiography: comprehensive vascular assessment**. Philadelphia: Williams and Wilkins, 2009.

SAEKI, N.; RHOTON JR, A.L: Microsurgical anatomy of the upper basilar artery the posterior circle of Willis. **J.Neurosurgery**, v.46, p. 563–578, 1977.

SATO, Y. et al. Local maximum intensity projection (LMIP): a new rendering method for vascular visualization. **J. Comput. Assist. Tomogr.**, v. 22, p.912–917, 1998.

SCHNEIDER, G. et al **Magnetic resonance angiography: techniques, indications and practical applications**. Milan: Springer-Verlag, 2005.

SEERAM, E. **Computed tomography**: physical principles, clinical applications and quality control. 3rd ed. Little Rock: Saunders, 2008.

SOARES J. C. et. al. Estudo anatômico e morfométrico dos vasos que constituem o Polígono de Willis. **Rev. Bras.Cienc.Morfol.**, v.11, n. 2, .p. 115-124, 1994.

SPRAWLS, P.**Physical principles of medical imaging**. 2nd ed. Rockville: Md. Aspen, 1995.

STARK, D.; BRADLEY, W. **Magnetic resonance imaging**.3rd ed. London:Elsevier Health Sciences, 1999.

TESTUT, L.; JACOB, O. **Anatomia topográfica**. 8. ed.Barcelona: Salvat, 1979. v. 1

TOMANDL, B. F. et al. Bone-subtraction CT angiography for the evaluation of intracranial aneurysms.**AJNR Am. J. Neuroradiol.**, v. 27, p. 55–59, 2006

UFLACKER, R. Técnicas de cateterização.In: **Radiologia Intervencionista**. São Paulo: Sarvier, 1987. cap. 1, p. 9-13.

ÛSTÛN, Ç. Dr. Thomas Willis Famous Eponym: the circle of Willis.**Turk.J. Med. Sci.**, v.34, p. 271-274, 2004.

VENEMA, H.; HULSMANS, F.; DEN HEETEN, G. CT Angiography of the Circle of Willis and Intracranial Internal Carotid Arteries: Maximum Intensity Projection with Matched Mask Bone Elimination - Feasibility Study. **Radiology**, n. 218, p. 893–898, 2001.

VILLABLANCA, J.P. et al. MDCT Angiography for detection and quantification of small intracranial arteries: comparison with conventional catheter angiography.**AJR**, n.188, p. 593-602, 2007.

WATSON, M. L. Staining of tissue sections for electron microscopy with heavy metals, **J.Biophysic. andBiochem. Cytol.**, v. 4, p. 475 e p. 727, 1958.

WEGENER, O. H. Techniques of computed tomography. In:_____.**Whole body computed tomography**. Massachusetts: Blackwell Scientific Publications, 1993. cap.1, p. 3-9.

WEIGERT, C. Uber eine Methode zur Farbung elastischer Fasern. **ZentblAllgPathol.**, v.9, p. 189–292, 1898.

WESTBROOK, C.; KAUT, C. **MRI in practice**. 2nd ed. Oxford, England: Blackwell Science, 1998.

WESTBROOK, C. **MRI at a glance**. Oxford, England: Blackwell Science, 2002.

WETZEL, S.G. Cerebral arteries and veins. In: RUBIN G. D.; ROFSKY N. M. (Ed.). **CT and MR angiography: comprehensive vascular assessment**.Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2009. p. 381–405.

WOODWARD, P. **MRI for technologists**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

YASARGIL, M.G. **Microneurosurgery**: microsurgical anatomy of the basal cisterns and vessels of the brain, diagnostic studies, general operative techniques and pathological considerations of the intracranial aneurysms. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1984.

ZURADA, A. et. al Detailed 3D-morphometry of the anterior communicating artery: potential clinical and neurosurgical implications. **Surg. Radiol. Anat.**, v. 33, p.531 - 538, 2011.