

论 著

基于CTA再处理对椎动脉颅内段的影像解剖学研究*

胡元亮¹ 丁慧敏¹ 李 松^{2,3}
范顺志¹ 程 哲^{1,3,*} 束汉生^{1,*}

1.蚌埠医学院第二附属医院神经外科

(安徽 蚌埠 233030)

2.蚌埠医学院第二附属医院影像医学科

(安徽 蚌埠 233030)

3.数字医学与智慧健康安徽普通高校重点

实验室(蚌埠医学院) (安徽 蚌埠 233030)

【摘要】目的 探讨基于颅颈部CTA(CT Angiography)再处理对椎动脉(Vertebral Artery, VA)颅内段的影像解剖学研究。方法 回顾性分析蚌埠医学院第二附属医院2020年5月至2021年8月符合纳入标准的行头颈部CTA检查成人的250人,运用颅脑三维血管重建技术对椎动脉及颅骨的重建显示,测量两侧椎动脉颅内段直径、长度及偏移度(Bending Length, BL)。结果 基于Philips或3Dslicer软件对头颈部CTA进行三维重建出椎动脉的形态走形并可进行解剖测量;测得左侧椎动脉直径、长度及偏移度分别为:(3.33 ± 0.68) mm、(3.89 ± 0.63)cm、(5.64 ± 3.42) mm;右侧椎动脉直径、长度及偏移度分别为:(3.07 ± 0.69) mm、(3.92 ± 0.59)cm、(4.99 ± 3.44) mm,左右侧椎动脉偏移度及直径比较,差异具有统计学意义($P<0.05$),左侧椎动脉直径及偏移度的均值较右侧的大;男性右侧椎动脉的直径、偏移度和长度:(3.14 ± 0.67)mm、(4.98 ± 3.37)mm、(3.99 ± 0.52)cm;女性右侧椎动脉的直径、偏移度和长度:(2.98 ± 0.71)mm、(4.97 ± 3.56)mm、(3.83 ± 0.65)cm,右侧椎动脉的长度在性别方面相比较差异具有统计学意义($P<0.05$),而左侧椎动脉的直径、长度、偏移度在性别方面比较差异均不具有统计学意义($P>0.05$);左右侧椎动脉的直径、长度及偏移度在年龄比较差异均不具有统计学意义($P>0.05$)。结论 基于头颈部CTA再处理可重建出椎动脉并可用于解剖测量;椎动脉的直径及偏移度左右侧差异显著,而椎动脉在性别及年龄方面比较无明显差异,为椎动脉的影像解剖学研究奠定了基础。

【关键词】头颈部的CTA;影像后处理;椎动脉颅内段;影像学解剖数据

【中图分类号】R321.1

【文献标识码】A

【基金项目】蚌埠医学院厅级重点实验室一般项目(AHCM2022W001);

2021年度安徽高校自然科学研究重点
基金项目(KJ2021A0786)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.03.015

Imaging Anatomy of Intracranial Segment of Vertebral Artery Based on CTA Reprocessing*

HU Yuan-liang¹, DING Hui-min¹, LI Song^{2,3}, FAN Shun-zhi¹, CHENG Zhe^{1,3,*}, SHU Han-sheng^{1,*}.

1.Department of Neurosurgery, the Second Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

2.Department of Imaging Medicine, the Second Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

3.Key Laboratory of Digital Medicine and Smart Health of Anhui University, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the imaging anatomy of intracranial Vertebral Artery (VA) in vertebral vertebral region based on CTA (CT Angiography) reprocessing. **Methods** A total of 250 subjects who met the inclusion criteria and underwent head and neck CTA examination in the Second Affiliated Hospital of Bengbu Medical College from May 2020 to August 2021 were retrospectively analyzed. The vertebral artery and skull reconstruction showed by cranial three-dimensional vascular reconstruction technique, and the diameter, Length and BL of intracranial segments of the vertebral arteries on both sides were measured. **Results** Using Philips or 3Dslicer software, 3D reconstruction of CTA in the head and neck was performed to obtain the shape of vertebral artery and anatomical measurements could be made. The diameter, length and deviation of the left vertebral artery were (3.33 ± 0.68) mm, (3.89 ± 0.63) cm and (5.64 ± 3.42) mm, respectively. The diameter, length and deviation of the right vertebral artery were (3.07 ± 0.69) mm, (3.92 ± 0.59) cm and (4.99 ± 3.44) mm, respectively. Compared with the left and right vertebral artery diameter and deviation, the difference was statistically significant ($P<0.05$). The mean values of the left vertebral artery diameter and deviation were larger than that of the right vertebral artery. The diameter, deviation and length of right vertebral artery in male were (3.14 ± 0.67) mm, (4.98 ± 3.37)mm, (3.99 ± 0.52)cm; Diameter, deviation, length of right vertebral artery in women: (2.98 ± 0.71)mm, (4.97 ± 3.56)mm, (3.83 ± 0.65)cm, the length of the right vertebral artery had statistical significance in gender ($P<0.05$), while the diameter, length and deviation of the left vertebral artery had no statistical significance in gender ($P>0.05$). There were no significant differences in the diameter, length and deviation of the left and right vertebral arteries at different ages ($P>0.05$). **Conclusion** The vertebral artery can be reconstructed and used for anatomic measurement based on CTA reprocessing in the head and neck. There were significant differences in vertebral artery diameter and deviation between the left and right sides, while there were no significant differences in vertebral artery in terms of gender and age, which laid a foundation for the imaging anatomy study of vertebral artery.

Keywords: CTA in the Head and Neck; Post Image Processing; Intracranial Segment of Vertebral Artery; Imaging Anatomic Data

椎动脉绝大部分起源于锁骨下动脉,少数部分起自主动脉弓,两侧椎动脉在入颅后汇合成基底动脉,是供应颅内后循环重要血管之一,对人体功能有其重要的意义^[1]。由于起源不同,导致VA发生变异较常见,且变异种类多样化,以椎动脉发育不良(vertebral artery hypoplasia, VAH)最为常见^[2]。在很长一段时间内,椎动脉发育不良只作为一种极为普通、无害的变异被认知,随着人们对椎动脉的起源或发育异常越来越关注,发现其所带来的危害并非无害,因此深入研究椎动脉的正常解剖以及解剖变异对掌握和理解基于椎动脉病变及变异所引起的疾病非常重要^[3-4]。临床上缺乏关于正常椎动脉的影像解剖学相关研究,以往对该血管的解剖形态学研究主要体现在大体解剖、显微解剖观察等方面,不能很好的为临床提供个体化信息^[5-6]。近年来,随着影像学技术的快速发展,将平面影像进行三维重建已是医学影像学发展趋势,其中头颈部CT血管造影(CTA, CT angiography)技术的成熟应用,将获得的图像通过合理的影像后处理,做到快速、立体、清晰、准确的显示并观察VA的先天变异及血管解剖关系有着重要价值^[7-8]。

目前有关椎动脉颅内段的影像解剖研究甚少,因此本研究通过回顾性分析250例成人头颈部CTA资料,通过头颈部CTA三维重建对椎动脉的形态解剖研究,有望完善并丰富有关椎动脉的影像解剖学数据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 蚌埠医学院第二附属医院2020年5月至2021年8月符合纳入标准的行头颈部CTA检查250例,其中男141例,女109例,平均年龄(62.31 ± 11.59)岁。

纳入标准:年龄 >18 岁;检查时无致残性神经功能缺损;均在我院行CT血管造影检查且数据保存完整。排除标准:椎动脉狭窄、闭塞、动脉瘤或严重斑块等或合并其他重大患者;排除椎动脉手术患者。

【第一作者】胡元亮,男,医师,主要研究方向:头颈部血管,颅脑外伤等。E-mail: 961023624@qq.com

【通讯作者】束汉生,男,主任医师,主要研究方向:颅脑外伤、颅脑肿瘤及脑血管病方向。E-mail: shuhansheng1968@163.com

程 哲,男,主治医师,主要研究方向:三叉神经痛、舌咽神经痛、面肌痉挛及原发性高血压病的微血管减压术。E-mail: Chengzhe@bbmc.edu.cn

1.2 研究方法

1.2.1 仪器方法 使用我院Philips Brilliance 64排128层螺旋CT进行头颈CTA扫描, 扫描数据: 层厚0.45mm, 管电压130 kV, 管电流235mA, 重建间隔0.45mm, 速度0.70 r/s, 采用动态监测自适应迭代剂量减低算法。扫描范围从主动脉弓至顶结节。经高压注射器经肘正中静脉以4.5mL/s的流率注射造影剂(320mgI/mL) 50mL及生理盐水50mL, 经过处理后得到一组纯动脉期的横断位图像, 并对感兴趣的区域的扫描范围尽量采用放大扫描技术, 将获得的图像DICOM序列导入工作站自带的测量的软件(Philips及3Dslicer), 由两名神经外科及放射科主治以上医师共同对头颈部CTA进行重建、融合及测量, 每组数据测量三次。

1.2.2 图像分析及数据处理 首先获得重建后头颈部CTA的图像, 利用医学三维重建融合软件(Philips及3Dslicer), 对椎动脉的直径、长度、偏移度等数据进行测量, 每项数值测量三次并取平均值, 具体测量方法如图(A、B)所示。

1.3 统计学分析 数据采用SPSS 25.0软件进行统计学处理。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 组间比较t检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 椎动脉的影像解剖参数 左侧椎动脉直径、长度和偏移度分别为: (3.33 ± 0.68) mm、 (3.89 ± 0.63) cm、 (5.64 ± 3.42) mm; 右侧椎动脉直径、长度和偏移度分别为: (3.07 ± 0.69) mm、 (3.92 ± 0.59) cm、 (4.99 ± 3.44) mm, VA直径及偏移度两侧相比, 差异具有统计学意义($P < 0.05$); VA长度两侧比较, 没有统计学意义($P > 0.05$)。并发现左侧椎动脉较右侧直径明显增大, 左侧椎动脉较右侧有较大的偏移度。见表1。

2.2 椎动脉的影像解剖参数与性别相关性 男性左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.38 ± 0.69) mm、 (3.93 ± 0.57) cm、 (5.74 ± 3.68) mm; 女性左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.26 ± 0.65) mm; (3.84 ± 0.70) cm、 (5.12 ± 3.33) mm, 左侧椎动脉的偏移度、直径、长度在性别方面相比, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。男性右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.14 ± 0.67) mm、 (3.99 ± 0.52) cm、 (4.98 ± 3.37) mm; 女性右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (2.98 ± 0.71) mm; (3.83 ± 0.65) cm、 (4.97 ± 3.56) mm, 右侧椎动脉的直径、偏移度在性别方面比较差异均无统计学意义($P > 0.05$), 而右侧椎动脉的长度在性别方面比较, 差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。通过观察男性及女性的两侧椎动脉的直径、偏移度, 我们发现男性及女性的左侧椎动脉直径、偏移度均要长于右侧。见表2。

2.3 椎动脉影像解剖参数与年龄之间的相关性 年龄 < 60 岁者左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.31 ± 0.63) mm、 (3.85 ± 0.62) cm、 (5.53 ± 3.47) mm; 年龄 ≥ 60 岁者左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.34 ± 0.72) mm; (3.92 ± 0.64) cm、 (5.73 ± 3.38) mm, 左侧椎动脉的偏移度、直径、长度在年龄方面相比, 差异无统计学意义($P > 0.05$);

年龄 < 60 岁者右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.02 ± 0.70) mm、 (3.92 ± 0.58) cm、 (5.00 ± 3.37) mm; 年龄 ≥ 60 岁者右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.11 ± 0.68) mm; (3.92 ± 0.59) cm、 (4.98 ± 3.50) mm, 椎动脉的直径、偏移度、长度在年龄方面比较差异均无统计学意义($P > 0.05$); 左、右侧VA的直径、长度、偏移度在年龄方面相比, 差异没有统计学意义($P > 0.05$), 但进一步观察发现, 随着年龄的增长, 椎动脉的直径、长度也随着增加。见表3。

表1 椎动脉的影像解剖参数

参数	侧边		t值	P值
	左	右		
VA直径(mm)	3.33 ± 0.68	3.07 ± 0.69	4.16	0.00
VA长度(cm)	3.89 ± 0.63	3.92 ± 0.59	-0.60	0.55
VA偏移度(mm)	5.64 ± 3.42	4.99 ± 3.44	2.13	0.03

表2 椎动脉的影像解剖参数与性别的相关性

参数		性别		t值	P值
		男	女		
VA直径(mm)	左侧	3.38 ± 0.69	3.26 ± 0.65	1.42	0.17
	右侧	3.14 ± 0.67	2.98 ± 0.71	1.85	0.07
VA长度(cm)	左侧	3.93 ± 0.57	3.84 ± 0.70	1.09	0.28
	右侧	3.99 ± 0.52	3.83 ± 0.65	2.17	0.03
VA偏移度(mm)	左侧	5.74 ± 3.68	5.12 ± 3.33	1.36	0.18
	右侧	4.98 ± 3.37	4.97 ± 3.56	0.02	0.98

表3 椎动脉影像解剖参数与年龄之间的相关性

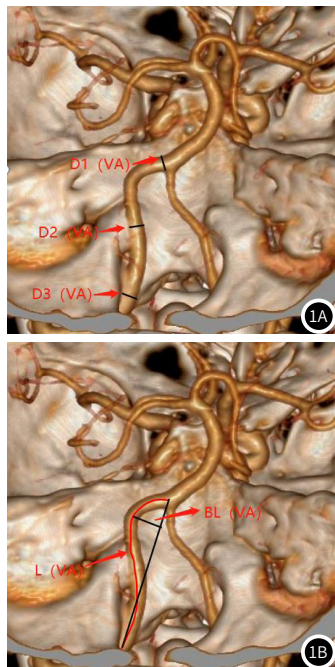
参数		年龄		t值	P值
		< 60 岁	≥ 60 岁		
VA直径(mm)	左侧	3.31 ± 0.63	3.34 ± 0.72	-0.39	0.70
	右侧	3.02 ± 0.70	3.11 ± 0.68	-0.96	0.34
VA长度(cm)	左侧	3.85 ± 0.62	3.92 ± 0.64	-0.91	0.37
	右侧	3.92 ± 0.58	3.92 ± 0.59	0.04	0.97
VA偏移度(mm)	左侧	5.53 ± 3.47	5.73 ± 3.38	-0.47	0.64
	右侧	5.00 ± 3.37	4.98 ± 3.50	0.04	0.97

3 讨论

椎动脉是供给颅脑后循环的重要血管之一。椎动脉在发育过程中发生变异率高, 个体差异性大, 临床上主要对椎动脉颅外段变异研究较多^[9-10]。然而目前对VA颅内段影像解剖方面研究甚少, 相关文献报道也较少, 规范的临床或影像学测量更为少见^[11]。临床上大多数关于椎动脉颅内段的影像学研究局限于病变段, 缺乏关于正常椎动脉影像解剖学数据^[12]; 过去因椎动脉与枕大孔及颅底骨质关系紧密, 且由于当时影像技术原因将椎动脉与骨质分离较为困难, 通过三维血管重建技术不能很好的观察椎动脉颅内段的解剖特征^[13]。随着CT血管造影(CTA, CT angiography)技术在颅颈部血管的广泛应用, 可以无创、精准、快速、清晰的显示及多角度旋转观察VA的立体结构和形态以及血管解剖关系, 更加客观、直接、清晰的观察椎底动脉及定量测量^[14]。

椎动脉发育或起源异常有着许多重要的临床意义^[15]; Yahya等^[16]团队研究表明VA颅内段的发育异常与头晕关系密切; Zhang等^[17]发现优势椎动脉的存在与血管源性眩晕关系密切; Yang等^[18]研究发现椎动脉发育不良增加了年轻患者发生后循环卒中的风险, 并且是影响其预后的独立危险因素。此外, 椎动脉形态异常可造成邻近脑神经及脑干结构受到压迫可出现相应的临床症状。椎动脉形态及管径的变异都可能影响到邻近的颅神经, 如形成压迫, 可导致神经传导阻滞和神经局部缺血, 当椎基底动脉增粗扭曲压迫三叉神经根进而可发展成三叉神经痛^[19]。

本探究通过250例成人头颈部CTA三维重建后, 我们通过利用工作站自带测量软件对重建好的血管进行椎动脉参数测量研究发现: 左侧椎动脉直径、长度和偏移度分别为: (3.33 ± 0.68) mm、 (3.89 ± 0.63) cm、 (5.64 ± 3.42) mm; 右侧椎动脉直径、长度和偏移度分别为: (3.07 ± 0.69) mm、 (3.92 ± 0.59) cm、 (4.99 ± 3.44) mm, 研究发现椎动脉直径、偏移度左右侧存在差异, 且左侧椎动脉的直径及偏移度明显长于右侧, 左侧椎动脉明显优势与右侧, 这可能与椎动脉先天发育及变异有关^[20-21], 可能在于左右椎动脉解剖学上起源不同, 造成左右椎动脉发育过程中接受的血液冲击带来的应切力不同, 而动脉管腔内压力的差异可能是构成两侧椎动脉差异的主要原因, 进而造成一侧椎动脉发育不良^[22]; 另外与多数人具有左侧大脑半球优势, 需要更高的血流量来满足左侧大脑半球增加的供血需求有关, 进而造成左右椎动脉发育异常^[23]。进一步研究性别对椎动脉参数的影响发现: 男性左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.38 ± 0.69) mm、



(1) 椎动脉直径 (Diameter, D): 测量椎动脉与基底动脉汇合成处 (D1)、颅内段椎动脉中段 (D2) 及椎动脉入颅段 (D3) 三处直径, 取平均值 (图 1A); (2) 椎动脉偏移度 (Bending Length, BL): 椎动脉偏离其颅内入口到 BA 起始点之间的最大垂直距离, 测量三次, 取平均值 (图 1B); (3) VA 长度 (Length, L): 测量椎动脉入颅段至两侧椎动脉汇合部的长度, 测量三次, 取平均值 (图 1B)。

(3.93 ± 0.57)cm、(5.74 ± 3.68)mm; 女性左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.26 ± 0.65)mm; (3.84 ± 0.70)cm、(5.12 ± 3.33)mm, 左侧椎动脉的直径、长度、偏移度在性别方面无明显差异。男性右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.14 ± 0.67)mm、(3.99 ± 0.52)cm、(4.98 ± 3.37)mm; 女性右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (2.98 ± 0.71)mm; (3.83 ± 0.65)cm、(4.97 ± 3.56)mm, 右侧椎动脉的直径、偏移度在性别方面比较差异均无统计学意义, 研究发现右侧椎动脉的长度在性别方面比较差异具有统计学意义, 这与国外相关研究存在不同, 分析原因可能系样本量数量较少, 有待继续扩大样本量继续观察及分析椎动脉与性别的相关性; 通过研究分析椎动脉参数与年龄之间的相关性发现^[24]。年龄<60岁者左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.31 ± 0.63)mm、(3.85 ± 0.62)cm、(5.53 ± 3.47)mm; 年龄≥60岁者左侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.34 ± 0.72)mm; (3.92 ± 0.64)cm、(5.73 ± 3.38)mm, 左侧椎动脉的偏移度、直径、长度在年龄方面相比, 差异无统计学意义, 年龄<60岁者右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.02 ± 0.70)mm、(3.92 ± 0.58)cm、(5.00 ± 3.37)mm; 年龄≥60岁者右侧椎动脉的直径、长度及偏移度: (3.11 ± 0.68)mm; (3.92 ± 0.59)cm、(4.98 ± 3.50)mm, 椎动脉的直径、偏移度、长度在年龄方面比较差异均无统计学意义。左、右侧椎动脉的直径、长度、偏移度在年龄方面比较无明显差异, 但进一步观察发现, 随着年龄的增长, 两侧椎动脉的直径、长度也随着增加, 分析原因可能系随着年龄的增长, 椎动脉管壁弹性降低, 随着血流的长时间冲击导致血管的扩张。

本研究不足之处在于作为影像解剖学数据探讨, 样本量偏少需要进一步积累, 再者基于CTA的相关数值测量存在人为误差。其次本研究仅对正常椎动脉患者进行研究, 缺少与疾病人群分组对照。

综上所述, 基于CTA的影像后三维重建可快速、立体、清晰、准确的重建椎动脉, 并可用于进行椎动脉影像解剖参数的测量; 椎动脉左右侧的直径及偏移度存在差异, 给予椎动脉变异的诊断分析提供理论支持。

参考文献

[1] Yang Y, Liang C, Shen C, et al. The effects of pharmaceutical thrombolysis

and multi-modal therapy on patients with acute posterior circulation ischemic stroke: Results of a one center retrospective study[J]. Int J Surg, 2017 Mar; 39: 197-201.

- [2] Blackburn K, Labranche L, Kalmey J, et al. A case of a single intracranial vertebral artery and cerebral infarct[J]. Folia Morphol (Warsz). 2017; 76 (1): 134-138.
- [3] Thierfelder K M, Baumann A B, Sommer W H, et al. Vertebral artery hypoplasia: frequency and effect on cerebellar blood flow characteristics[J]. Stroke, 2014 May; 45 (5): 1363-1368.
- [4] Szárazová A S, Bartels E, Bartels S, et al. Possible morphological pathomechanisms of ischemic stroke in the posterior circulation of patients with vertebral artery hypoplasia[J]. J Neuroimaging. 2015 May-Jun; 25 (3): 408-414.
- [5] Wang S, Ren WJ, Zheng L, et al. Anatomical variations of the vertebral artery: analysis by three-dimensional computed tomography angiography in chinese population[J]. Orthop Surg. 2021 Jul; 13 (5): 1556-1562.
- [6] Akar ZC, Dujovny M, Slavin KV, et al. Microsurgical anatomy of the intracranial part of the vertebral artery[J]. Neurol Res, 1994 Jun; 16 (3): 171-180.
- [7] Lum C, Chakraborty S, Schlossmacher M, et al. Vertebral artery dissection with a normal-appearing lumen at multisection CT angiography: the importance of identifying wall hematoma[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2009 Apr; 30 (4): 787-792.
- [8] Morelli N, Rota E, Immovilli P, et al. Dual-phase 16 slice CT angiography in stroke imaging: a poor man's multiphase study? [J]. Acta Neurol Belg. 2019 Jun; 119 (2): 187-192.
- [9] Wakao N, Takeuchi M, Nishimura M, et al. Risks for vascular injury during anterior cervical spine surgery: prevalence of a medial loop of vertebral artery and internal carotid artery[J]. Spine (Phila Pa 1976). 2016 Feb; 41 (4): 293-298.
- [10] Shin HY, Park JK, Park SK, et al. Variations in entrance of vertebral artery in korean cervical spine: MDCT-based analysis[J]. Korean J Pain. 2014 Jul; 27 (3): 266-270.
- [11] Vilimas A, Gaigalaitė V, Urbonas M, et al. Association of vertebral artery hypoplasia and vertebrobasilar cerebrovascular accident[J]. Medicina (Kaunas), 2022, Aug, 31, 58 (9): 1189.
- [12] Wang CC, Fang YB, Zhang P, et al. Reconstructive endovascular treatment of vertebral artery dissecting aneurysms with the Low-profile Visualized Intraluminal Support (LVIS) device[J]. PLoS One, 2017 Jun 29; 12 (6): e0180079.
- [13] Tian JW, Sun LT, Zhao ZW, et al. Transcranial color doppler flow imaging in detecting severe stenosis of the intracranial vertebral artery: a prospective study[J]. Clin Imaging, 2006, Jan-Feb; 30 (1): 1-5.
- [14] Ngo MT, Kwak HS, Chung GH. Change in basilar artery length and bending according to aging and vertebral artery dominance: A longitudinal study[J]. Sci Rep. 2020 Jun 1; 10 (1): 8904.
- [15] Zhu W, Wang YF, Dong XF, et al. Study on the correlation of vertebral artery dominance, basilar artery curvature and posterior circulation infarction[J]. Acta Neurol Belg, 2016 Sep; 116 (3): 287-293.
- [16] Paksoy Y, Vatansev H, Seker M, et al. Congenital morphological abnormalities of the distal vertebral arteries (CMADVA) and their relationship with vertigo and dizziness[J]. Med Sci Monit, 2004, Jul, 10 (7): CR316-323.
- [17] Zhang DP, Zhang SL, Zhang HT, et al. Vertebral artery dominance, brainstem auditory evoked potential, and vertigo of vascular origin[J]. Neurol Res, 2012 Jun; 34 (5): 498-503.
- [18] Yang J, Shen Z, Wen H, et al. The effect of vertebral artery hypoplasia in posterior circulation infarction in young patients[J]. Int J Neurosci. 2016 Dec; 126 (12): 1092-1096.
- [19] Yang XS, Li ST, Zhong J, et al. Microvascular decompression on patients with trigeminal neuralgia caused by ectatic vertebrobasilar artery complex: technique notes[J]. Acta Neurochir (Wien), 2012 May; 154 (5): 793-797.
- [20] Tarnoki AD, Fejer B, Tarnoki DL. Vertebral artery diameter and flow: nature or nurture[J]. J Neuroimaging. 2017 Sep; 27 (5): 499-504.
- [21] Hu XY, Li ZX, Liu HQ, et al. Relationship between vertebral artery hypoplasia and posterior circulation stroke in Chinese patients[J]. Neuroradiology, 2013 Feb; 55 (3): 291-295.
- [22] Ding S, Yan X, Guo H, et al. Morphological characteristics of the vertebrobasilar artery system in patients with hemifacial spasm and measurement of bending length for evaluation of tortuosity[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2020 Nov; 198: 106144.
- [23] Li S, Li Y, Bai M, et al. Three-dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography detection of duplication of the vertebral artery in a large chinese population[J]. Med Sci Monit, 2016, Oct, 17; 22: 3771-3777.
- [24] Demarin V, Skarić-Jurić T, Lovrenčić-Huzjan A, et al. Vertebral artery hypoplasia—sex-specific frequencies in 36 parent-offspring pairs[J]. Coll Antropol, 2001, Dec; 25 (2): 501-509.

(收稿日期: 2022-11-18)

(校对编辑: 谢婷婷)