

# 基于开源软件Horos的颈椎椎动脉V2段解剖变异研究

王爽<sup>1,2</sup> 俞磊<sup>1</sup> 温剑坤<sup>1</sup> 叶晓健<sup>1</sup>

**【摘要】** 目的 分析颈椎椎动脉V2段解剖变异情况。方法 利用个人电脑在Horos软件中对169例中国成人头颈部CT血管造影(CT angiography, CTA)影像学资料进行分析,其中男119例,女50例。将椎动脉V2段首先穿行的横突孔并非C<sub>6</sub>者定义为走行变异,分析其发生率的侧别差异和性别差异;将椎动脉内壁距中线距离不足1 cm者定义为椎动脉V2段内聚,分析其发生率的侧别差异和性别差异。结果 169例病人的双侧椎动脉(共338侧)中,32侧存在走行变异,其中椎动脉缺如者4侧;椎动脉首先穿行C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>横突孔者分别为5侧、23侧,4例病人双侧椎动脉同时存在走行变异,均首先穿行C<sub>5</sub>横突孔;走行变异存在于左侧者为16侧,存在于右侧者为16侧,差异无统计学意义( $P > 0.05$ );男性病人椎动脉走行变异发生率为16.81%(20/119),女性病人椎动脉走行变异发生率为16.00%(8/50),差异无统计学意义( $\chi^2 = 0.017, P = 0.898$ )。共11例病人的椎动脉V2段存在内聚,均为单侧,其中左侧8例(8/169, 4.73%),右侧3例(3/169, 1.78%),侧别分布差异无统计学意义( $\chi^2 = 1.503, P = 0.221$ );11例病人中男性为3例(3/119, 2.52%),女性为8例(8/50, 16.00%),性别分布差异有统计学意义( $\chi^2 = 8.413, P = 0.004$ )。结论 椎动脉V2段的解剖结构和走行路径存在变异,首先穿行的横突孔可能位于C<sub>5</sub>或C<sub>4</sub>,走行变异的发生率无侧别或性别差异;V2段可发生内聚,使其更靠近中线,其发生率无侧别差异,但有性别差异,女性病人多发。以上变异可能给颈椎手术或穿刺等微创手术相关的操作带来风险,应在术前通过辅助检查明确。

**【关键词】** 椎动脉;图像处理,计算机辅助;解剖,局部;颈椎

## Anatomic variation research about V2 segment of cervical vertebral artery based on Horos software.

WANG Shuang<sup>1, 2</sup>, YU Lei<sup>1</sup>, WEN Jian-kun<sup>1</sup>, YE Xiao-jian<sup>1</sup>. <sup>1</sup>Center for Minimally Invasive Spine Surgery, Changzheng Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200003, China; <sup>2</sup>Department of Orthopaedics, Heping Branch, General Hospital of Northern Theater Command, Shenyang 110003, China

Corresponding author: YE Xiao-jian, E-mail: xjyepine@smmu.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To analyze the anatomical variation of V2 segment of cervical vertebrae artery by digital technique. **Methods** A total of 169 Chinese adult head-neck CT angiography (CTA) imaging data were analyzed in the software of Horos using a personal computer as working station. There were 119 males and 50 females. The V2 segment that firstly running the transverse foramen of C<sub>5</sub> or C<sub>4</sub> was defined as the running variations and the difference between different sides and genders was analyzed. The distance between the inner wall of the artery and the midline was measured and the variation was defined as inner-migration when the distance was less than 1 cm, and the difference between different sides and genders was analyzed also. **Results** Among the 169 patients with bilateral vertebral arteries (338 sides), 32 sides had the variation of running variations, in which 4 sides had vertebral artery dysplasia. The vertebral artery firstly run through C<sub>4</sub> or C<sub>5</sub> transverse foramen in 5 and 23 sides respectively. Both sides of 4 patients firstly passed through the C<sub>5</sub> transverse foramens. The variations occurred in 16 sides in the left and 16 cases in the right. There was no statistically significant difference between the sides ( $P > 0.05$ ). The incidence was 16.81% (20/119) in males and 16.00% (8/50) in females respectively, and there was no significant difference between the genders ( $\chi^2 = 0.017, P = 0.898$ ). There were 11 cases of vertebral arteries that were less than 1 cm to the midline, including 8 (8/169, 4.73%) in the left sides and 3 (3/169, 1.78%) in the right sides, and there was no statistically significant

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2019.05.004

基金项目:国家自然科学基金(81772445);辽宁省自然科学基金(20180551186)

作者单位: 1. 第二军医大学长征医院脊柱微创中心, 上海 200003; 2. 北部战区总医院和平分院骨科, 沈阳 110003

通信作者: 叶晓健, E-mail: xjyepine@smmu.edu.cn

difference between different sides ( $\chi^2=1.503, P=0.221$ ). Also in these cases, 3 (3/119, 2.52%) cases were men and 8 (8/50, 16.00%) were women, and there was significant difference between genders ( $\chi^2=8.413, P=0.004$ ).

**Conclusion** There are variations of the V2 segment that running through the transverse foramens, in which there are no significant differences in this variation between sides or genders. The distance between the inner wall of vertebral arteries and the midline can be less than normal range. And there is no significant difference between sides. But the incidence of this variation in females is higher than males. Examinations should be proceeded to avoid the risks caused by these variations before cervical surgery, especially the puncture operations associated with minimally invasive surgeries.

**【Key words】** Vertebral artery; Image processing, computer - assisted; Anatomy, regional; Cervical vertebrae

椎动脉损伤是颈椎手术中少见且后果严重的并发症<sup>[1,2]</sup>,以往报道中的发生率约为 0.2%~1.96%<sup>[3-5]</sup>,其在退变明显的病人中发生率更高。椎动脉损伤的发生与解剖结构变异密切相关。通常,椎动脉依解剖结构可分为 4 段,其中 V2 段走行最长,与各类中下颈椎手术的关系较为密切。近年来,经椎间孔注射治疗神经根性颈椎病<sup>[6]</sup>、颈椎内镜手术等微创治疗方式发展迅速,更突显出椎动脉 V2 段的重要性。在这些手术中,需常规进行穿刺定位等操作,如椎动脉存在解剖变异,以往认为“安全”的穿刺路径将不再安全,且因无法直视椎动脉等解剖结构,椎动脉损伤后难以发现和处理。因此,需要对椎动脉 V2 段的解剖结构进行更为细致的研究,充分认识其解剖变异情况,以避免在相关操作中损伤解剖变异的椎动脉。

血管造影、CT 血管造影(CT angiography, CTA)、磁共振造影(MR angiography, MRA)等检查可用来评估椎动脉解剖变异情况。与此同时,也需要便捷、准确的图像分析和处理软件对影像学资料进行处理。目前,已有应用于各类平台的图像软件可供选择,使脊柱外科医师可以利用个人电脑对影像资料进行分析、处理。在软件的选择上,除软件自身的特点和使用者的习惯以外,软件的价格和其对硬件的要求也是重要的决定因素。理想的软件应符合以下条件:个人可以承担、可应用于个人电脑、运行流畅、功能完备。

本研究以个人笔记本电脑为工作站,应用开源软件 Horos 软件对 169 例病人的头颈部 CTA 资料进行了分析,在明确中国人群中椎动脉 V2 段解剖变异情况的同时,对外科医师个人数字工作站的建立和应用模式进行了摸索,希望能为类似研究提供借鉴。

## 资料与方法

### 一、纳入与排除标准

纳入标准:①年龄为 18~80 岁;②头颈部 CTA 资

料完整、清晰;③既往无颈椎、甲状腺等相关颈部手术史;④无严重退行性病变或血管疾患。

排除标准:①年龄小于 18 岁或大于 80 岁;②影像学资料证实合并肿瘤、外伤、严重退变等情况,导致对骨性结构的观察受影响;③合并椎动脉内斑块等血管疾患,导致对血管的观察受影响;④影像学资料不完整或清晰度不够。

### 二、一般资料

2010 年 6 月至 2012 年 6 月,于北部战区总医院和平分院内连续选取因各种原因行头颈部 CTA 检查的病人 200 例,对其影像学资料进行回顾性分析,根据纳入和排除标准排除以下病人:年龄大于 80 岁者 4 例;颈椎严重退变、双或单侧椎动脉内存在多发斑块影响观察者 9 例;资料不完整或清晰度不够者 18 例,最终纳入研究的病人共 169 例。

纳入研究的 169 例病人中,男 119 例,女 50 例,年龄为(58.95±11.80)岁(23~80 岁),因影像学资料中无体重、身高等指标,无法计算身体质量指数等指标。

### 三、方法

以个人笔记本电脑(MacBook Air, 13-inch, Mid 2012)作为工作平台,其配置为:处理器 1.8 GHz Intel Core i5,内存 4GB 1 600 MHz DDR3,显卡 Intel HD Graphics 4000;系统为 macOS Mojave 10.14.5。以开源软件 Horos V3.3.5(Horos project)作为工作软件对病人头颈部 CTA 资料(扫描条件:120 kV, 30 mA, FOV 500 mm,层厚 0.9 mm,飞利浦 Briliance 64 层螺旋 CT)进行处理,将 DICOM 图像导入软件,在 3D Viewer 选项下通过 Orthogonal MPR 模式对图像进行观察和测量(图 1)。

### 四、观察指标

对椎动脉 V2 段进行观察,确定其首先穿过的颈椎横突孔,将首先穿过的横突孔并非 C<sub>6</sub>者和椎动脉缺如者定义为椎动脉 V2 段走行变异(图 1、2),记录其发生例数和侧别、性别分布;将椎动脉内壁距中线

距离小于1 cm者定义为椎动脉内聚(图3),记录其侧别、性别分布。

### 五、统计学分析

采用SPSS 19.0统计学软件(IBM公司,美国)分析数据,数据的采集和处理在Excel 16.16.11(Microsoft,美国)中完成。以卡方检验比较左右侧椎动脉走行变异发生率差异;以卡方检验的校正公式比较男女病人椎动脉走行变异发生率的差别以及椎动脉内聚病人左右侧别差异和性别差异;当 $P < 0.05$ 时认为差异具有统计学意义。

## 结 果

### 一、椎动脉走行变异

169例病人的双侧椎动脉(338侧)中,共有32侧椎动脉存在走行变异(32/338,9.47%),其中椎动脉缺如者4侧(左右各2侧);椎动脉首先穿行 $C_4$ 横突孔者5侧,首先穿行 $C_5$ 横突孔者23侧,共有4例病人左右侧同时存在走行变异,均为首先穿行 $C_5$ 横突孔;走行变异存在于左侧者为16侧,存在于右侧者为16侧,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )(表1)。119例

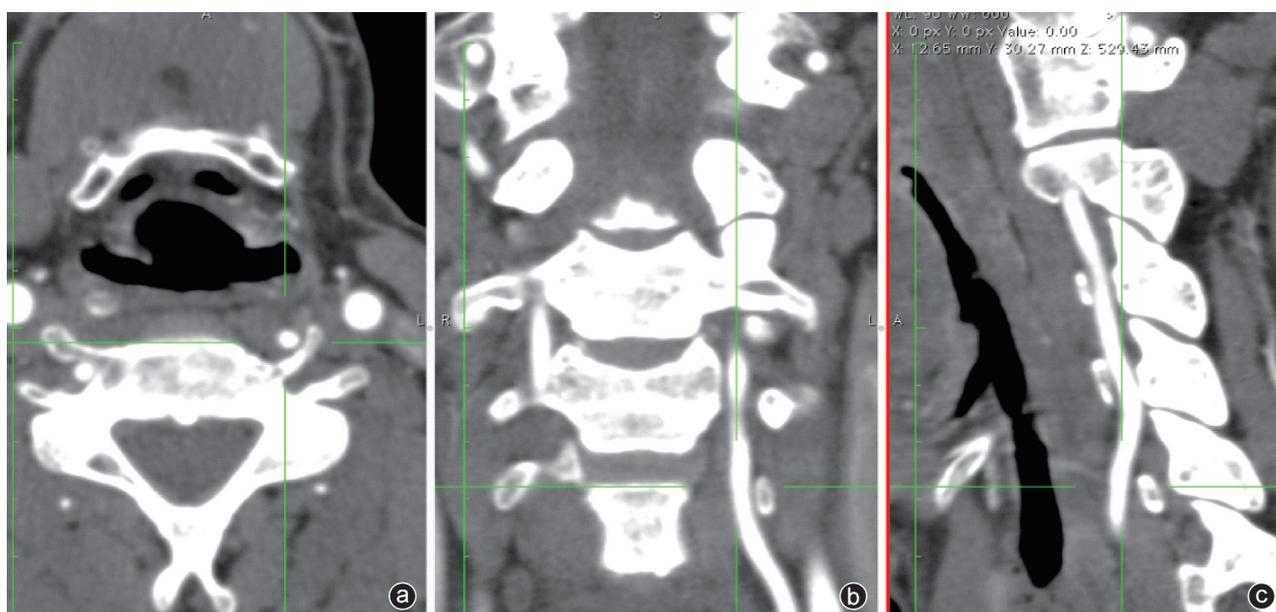


图1 Horos软件Orthogonal MPR模式工作界面截图,可同时从水平面(a)、冠状面(b)、矢状面(c)对图像进行观察,绿色细线标示观察位置,图中可见左侧椎动脉由 $C_4$ 横突孔进入,其入孔平面以下部分走行于下位颈椎横突孔前方(a),其前方无骨性结构遮挡(b)

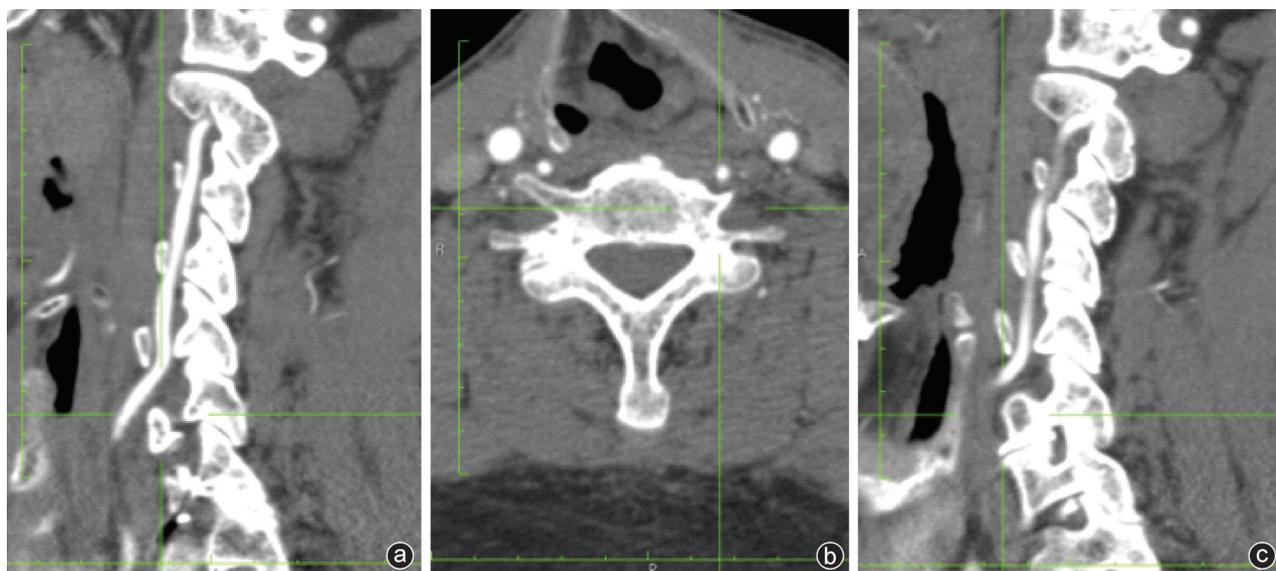


图2 同一病人的双侧椎动脉均由 $C_5$ 横突孔进入(a为左侧、c为右侧),其入孔平面以下部分走行于下位颈椎横突孔前方(b),其前方无骨性结构遮挡



图3 左侧椎动脉于C<sub>5</sub>椎体下缘处距正中中线距离小于1 cm水平面(a)、冠状面(b)、矢状面(c)的观察层面,图中绿色线为起到辅助定位总用的扫描层面示意图,图b为在冠状面上显示的测量位置及测量结果,结果显示左侧椎动脉内壁在C<sub>5</sub>椎体下部距中线距离最近,测量其距离为8.715 mm

男性病人中椎动脉走行变异者为20例,发生率为16.81%,50例女性病人中椎动脉走行变异者为8例,发生率为16.00%,椎动脉V2段走行变异发生率性别差异无统计学意义( $\chi^2=0.017, P=0.898$ )。

### 二、椎动脉距中线距离变异

共11例椎动脉存在内聚,其最靠近中线处距离小于1 cm,均为单侧,其中左侧8例(8/169,4.73%),右侧3例(3/169,1.78%),侧别分布差异无统计学意义( $\chi^2=1.503, P=0.221$ ),详见表2;11例病人中男性为3例(3/119,2.52%),女性为8例(8/50,16.00%),

表1 椎动脉V2段走行变异侧别差异比较(例)

	侧别	
	左侧	右侧
C <sub>5</sub>	13	10
C <sub>4</sub>	1	4
缺如	2	2
走行变异总数	16	16

表2 11例椎动脉内聚变异侧别差异比较(例)

	侧别	
	左	右
C <sub>5</sub> 平面	1	1
C <sub>4</sub> 平面	2	1
C <sub>4/5</sub> 间隙	4	0
C <sub>5</sub> 平面	1	1
$\chi^2$ 值	1.503	
P值	0.221	

椎动脉内聚变异性别分布差异有统计学意义( $\chi^2=8.413, P=0.004$ )。

## 讨 论

### 一、Horos 软件介绍及应用体会

能够在个人电脑上浏览、测量、处理各类影像学资料一直是临床医师,尤其是外科医师的愿望,制约这一设想的主要因素是原始图像的获取和应用软件的来源。在原始图像的获取方面,虽大部分医院有PACS等影像传输和处理系统,但通常不能满足原始格式图像的传输和存储要求。以DICOM格式图像为例,每例病人的头颈部CTA原始图像资料往往达数百兆,一方面不便传输,另一方面也无法长期存储。一般医疗单位的通行做法是系统自动滚动删除超出容量的资料,仅保存处理后的、需用于打印胶片的资料,事实上造成大量原始资料的流失。在应用软件的获取上,尽管多年前就已经有功能优秀的图像处理软件,但其应用往往受限于高昂的价格或对硬件系统的较高要求。

本研究所使用的数据,由北部战区总医院和平分院放射线科提供,采集方式是定期将同类检查的原始资料汇总并刻录光盘,此方法可以确保资料的保存,但较为繁琐,影像科相关人员要需人工参与分类、刻盘等操作,不适应大规模应用的需要。但可以预见,随着大数据技术的不断完善,将同一种检查的资料自动分类、存储并输送至外部存储设备甚至云存储空间的设想一定能够实现。

本研究主要应用 Horos 软件对图像资料进行处理,选择该软件主要基于两个原因:一是开源,软件本身并不收费,且获取便利;二是该软件的运行条件为 macOS,有别于以往接触较多的 Windows 操作系统下的应用软件。本研究所涉及的图像观察、测量仅为该软件的部分功能,如从水平面、冠状面、矢状面同时观察,并对解剖数据进行测量,软件自身的其他功能本研究并未涉及,还有待进一步学习和开发。

## 二、椎动脉 V2 段走行变异发生率及其与颈椎手术关系分析

Shin 等<sup>[7]</sup>在 460 例韩国人多层螺旋 CT 资料的解剖学研究表明,椎动脉首先穿行 C<sub>6</sub> 横突孔的病人占 93.0%,穿 C<sub>7</sub> 横突孔者约 0.2%,C<sub>5</sub> 者为 4.9%,C<sub>4</sub> 者为 1.8%,左右侧无差别;Hong 等<sup>[8]</sup>基于 350 例病人增强 CT 的研究报道,94.9% 的椎动脉由 C<sub>6</sub> 横突孔穿行,其穿行 C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>7</sub> 的发生率依次为 1.6%、3.3%、0.3%,左侧发生变异者多于右侧。本研究中,椎动脉由 C<sub>6</sub> 椎动脉孔穿行者占 91.12%,略低于以上两项研究,考虑差异可能主要源于研究对象的不同,并可能受到样本量的影响,与 Shin 等<sup>[7]</sup>的研究类似,本研究发现的椎动脉 V2 段走行变异无侧别和性别差异。

颈椎手术中,导致椎动脉损伤的原因包括过度切除椎体或椎间盘、术中定位标志变异、椎动脉存在解剖结构异常等<sup>[9]</sup>。椎动脉 V2 段,即椎动脉孔段,一般指动脉进入 C<sub>6</sub> 横突孔(椎动脉孔)至其穿出 C<sub>2</sub> 椎动脉孔的部分,该段椎动脉走行最长,与中、下颈椎前路或后路手术的关系最为密切<sup>[10]</sup>。例如,当椎动脉并非由 C<sub>6</sub> 横突孔进入时,入孔前部分椎动脉的前方无骨性结构遮挡。在行颈椎前路手术时,如向两侧过度显露软组织就有可能对走行于其中的变异椎动脉造成损伤;另外,颈椎自动牵开器或术中手动牵开器的末端在牵拉软组织时也可能损伤藏于其内的椎动脉,一方面可能在牵拉的过程中对椎动脉造成损伤,另一方面也可能因术中长时间的牵拉和压迫导致椎动脉内血栓的形成影响椎动脉血流,并进而危及脑组织的血液供应。

近年来,脊柱微创手术迅速发展,如腰椎间孔镜下髓核摘除椎管减压术、颈椎后路内镜下髓核摘除减压术等,同时,经椎间孔诊断或治疗性阻滞等操作也越来越广泛地应用于临床实践。但总体上,颈椎微创手术的发展不如腰椎微创手术成熟,其中的原因之一就是颈椎术区内有较多重要结构如椎动脉等。在此基础上,如椎动脉存在变异,就更有可能给微创手术或穿刺操作带来风险。对椎动脉解剖结构

进行深入研究,明确其发生率、变异类型,以及在不同人群中的分布情况,才能更精确地对手术进行规划、对操作风险进行评估。另外,手术医师在对 MRI、CT 等影像学检查的原始资料进行逐层地、有目的地详细阅片,也有可能及时发现解剖变异的线索,术中注意在变异侧更审慎地分离、显露、牵拉软组织,使椎动脉损伤风险降低;在穿刺操作前如发现椎动脉变异的线索,必要时术前完善 CTA 检查评估变异情况,通过改变穿刺路径避开变异的椎动脉,减低损伤风险。

## 三、椎动脉 V2 段内聚发生率及其与颈椎手术关系分析

椎动脉于某一节段存在迂曲变形时,动脉内壁距离中线的距离将变小,使其受损伤的风险增加。Wakao 等<sup>[11]</sup>对日本人群 CTA 资料的研究表明,约 1% 病人存在椎动脉迂曲变形,其中仅一半发生在椎体平面,可在普通 CT 上被发现,而另一半并非发生在椎体平面,无法通过常规 CT 等检查手段发现。本研究中发现的椎动脉内聚现象无侧别差异,但存在性别差异,考虑可能与女性较男性体型瘦小有关。

相比于前面提到的椎动脉走行变异,椎动脉迂曲内聚的发生与退变<sup>[12]</sup>或类风湿等疾病的关系可能更为密切<sup>[13]</sup>,在为此类病人行颈前路手术时,以往可用来作为安全区域界定标志的解剖标志可能不再准确<sup>[14-16]</sup>,此时如再合并椎动脉内聚,将使手术风险增加。因此在为退变明显或类风湿病人行颈部手术前,应更加小心,术前应逐层详细阅片,如在 CT、MRI 等水平面扫描片上发现椎动脉内聚的可能,应考虑行 CTA 检查以明确变异情况及各解剖结构间的关系。

另外,椎动脉的迂曲如发生在横突孔部位,原本纵向的走行路径发生倾斜甚至变成横向走行,既可能占据横突孔的大部分空间,也可能使其相对于椎间孔的走行方向变得复杂多变,此时行经椎间孔神经阻滞时穿刺到椎动脉的可能性将增加。同样,操作前的详细阅片有助于发现结构变异,必要时可在操作前进行检查予以鉴别,甚至考虑借助 CT 引导进行操作,以确保安全<sup>[17]</sup>。

## 四、本研究不足之处

作为一项数字解剖学研究,本研究的讨论除椎动脉变异的发生情况外,还着重于介绍一种开源软件 Horos 的应用。如前所述,以往制约外科医师利用个人电脑建立数字工作站的因素包括软件和原始资料的难以获得。随着技术的发展,目前各种

计算机系统的平台上都逐渐出现各种可以处理影像学资料的软件,可方便地获取和应用。我们注意到,与其他软件类似,此类软件中开源软件的出现逐渐成为趋势,这些软件最大优势在于免费,降低了使用者的门槛,而其开源的操作方式增加了软件提供者和使用者的互动。软件提供者通过提供技术服务获利,而非像以往一样仅通过提供软件获得收入;另一方面,使用者也可以通过提供使用需求和建议帮助程序员完善软件,甚至可以直接参与软件进一步开发。作为此类软件使用者的临床医师,有必要及时了解类似软件的主要功能以及其技术特点,使其能更好地为临床医师所用。

同时,本研究的不足之处主要为样本量不够充足,仅包括了 169 例病人,且数据来源仅为一家医院,其所包括的人群特征有局限性,不能代表中国人群的普遍特征。另外,仅对椎动脉首先穿行的横突孔和椎动脉内聚两种解剖变异进行了分析,并未对其他变异情况如椎动脉优势进行分析;仅对血管结构的变异进行了研究,未结合横突孔等骨性结构的情况进行综合分析;最后,仅应用了 Horos 软件的部分功能,对其更广泛的应用未充分利用。本研究仅是 Horos 软件应用的初步尝试,以上不足希望在进一步研究中通过使用者和软件的磨合、研究的深入不断完善。

### 参 考 文 献

- [1] Neo M, Fujibayashi S, Miyata M, et al. Vertebral artery injury during cervical spine surgery: a survey of more than 5 600 operations[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(7): 779-785.
- [2] 王少波, 孙宇, 刁垠泽, 等. 颈椎手术中并发椎动脉损伤的诊断与治疗[J]. *中华骨科杂志*, 2012, 32(10): 911-915.
- [3] Lu J, Wu X, Li Y, et al. Surgical results of anterior corpectomy in the aged patients with cervical myelopathy[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(1): 129-135.
- [4] Pechlivanis I, Brenke C, Scholz M, et al. Treatment of degenerative cervical disc disease with uncoforaminotomy — intermediate clinical outcome[J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2008, 51(4): 211-217.
- [5] Burke JP, Gerszten PC, Welch WC. Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery[J]. *Spine J*, 2005, 5(5): 508-514.
- [6] 孙允龙, 徐勇, 刘其桃, 等. 经颈椎间孔类固醇激素注射治疗神经根性颈椎病的临床疗效观察[J]. *骨科*, 2019, 10(3): 188-192.
- [7] 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, 27(3): 266-270.
- [8] Hong JT, Park DK, Lee MJ, et al. Anatomical variations of the vertebral artery segment in the lower cervical spine: analysis by three-dimensional computed tomography angiography[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(22): 2422-2426.
- [9] Guan Q, Chen L, Long Y, et al. Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery: a systematic review[J]. *World Neurosurg*, 2017, 106: 715-722.
- [10] Jecko V, Rué M, Castetbon V, et al. Vertebral artery (V2) pseudoaneurysm after surgery for cervical schwannoma. How to prevent it and a review of the literature[J]. *Neurochirurgie*, 2015, 61(1): 38-42.
- [11] 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, 41(4): 293-298.
- [12] Choi JW, Lee JK, Moon KS, et al. Endovascular embolization of iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery: report of two cases and review of the literature[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(23): E891-E894.
- [13] Zenmyo M, Ijiri K, Sasaki H, et al. Magnetic resonance angiography for vertebral artery evaluation in rheumatoid arthritis patients[J]. *Neurosurgery*, 2010, 66(6): 1174-1180.
- [14] Koktekir E, Toktas ZO, Seker A, et al. Anterior transpedicular screw fixation of cervical spine: Is it safe? Morphological feasibility, technical properties, and accuracy of manual insertion[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 22(6): 596-604.
- [15] Park MS, Moon SH, Kim TH, et al. Surgical anatomy of the uncinate process and transverse foramen determined by computed tomography[J]. *Global Spine J*, 2015, 5(5): 383-390.
- [16] Tubbs RS, Romala OJ, Verma K, et al. Analysis of the uncinate processes of the cervical spine: an anatomical study[J]. *J Neurosurg Spine*, 2012, 16(4): 402-407.
- [17] Jung H, Lim JA, Park KB, et al. Computed tomography-guided cervical selective transforaminal epidural block for a patient with bilateral anatomical variations of vertebral artery - a case report - [J]. *Korean J Anesthesiol*, 2013, 65(5): 468-472.

(收稿日期: 2019-07-03)

(本文编辑: 龚哲妮)