

后路内固定复位治疗上颈椎骨折脱位 发生椎动脉损伤的临床分析

陈长青, 冯万强, 王 成, 林灿斌, 何明长, 成伟科

(厦门大学附属东南医院骨科 解放军第 175 医院骨科中心 363000 福建省漳州市)

【摘要】目的:分析后路内固定复位治疗上颈椎骨折脱位发生椎动脉损伤的原因、外科治疗策略及其预防措施。**方法:**2013 年 1 月~2017 年 12 月, 我院采用后路复位内固定术治疗上颈椎骨折脱位患者 96 例, 其中 6 例术后出现椎动脉损伤, 男 4 例, 女 2 例, 年龄 32~57 岁(39.8±8.3 岁), 病程 18~26d(22.0±2.5d)。2 例术前行磁共振血管成像(MRA)检查未见椎动脉损伤, 4 例术前未行 MRA 检查。术后 3~42h 出现脑缺血症状, 其中 4 例切口渗血或周围血肿形成, 行颈后路探查止血后行 CT 血管造影(CTA)和数字减影血管造影(DSA)检查, 2 例直接行 CTA 和 DSA 检查, 明确椎动脉损伤后行血管腔内介入治疗, 随访观察患者脑缺血症状改善情况。**结果:**1 例寰枢椎复合型骨折和 1 例混合型骨折患者复位内固定难度较大, 其余 4 例患者手术均顺利。4 例椎动脉 V3 段血管壁损伤(双侧 1 例, 单侧 3 例), 行覆膜支架置入; 2 例单侧椎动脉 V3 段假性动脉瘤形成, 行椎动脉闭塞术。6 例患者行介入治疗后椎动脉损伤出血均有效止血, 出院后均获随访, 随访 6~12 个月(10.0±2.2 个月), 1 例双侧血管壁损伤患者术后 1 年随访仍诉头晕、头痛, 面部麻木; 3 例单侧血管壁损伤患者脑缺血症状明显缓解, 术后 1 年随访时未诉特殊不适; 2 例单侧假性动脉瘤形成患者行椎动脉闭塞术后 6 个月及 9 个月随访时诉脑缺血症状逐渐缓解。2 例患者椎动脉损伤为内固定手术术中所致, 4 例患者因术前未行 MRA 或 CTA 检查, 无法明确椎动脉损伤原因。**结论:**上颈椎骨折脱位及手术复位内固定可能造成椎动脉损伤, 根据影像学检查结果行介入治疗可取得较好效果; 对上颈椎骨折患者术前需进行详细的影像学检查及评估, 术中需谨慎操作, 避免椎动脉的损伤。

【关键词】 上颈椎骨折; 椎动脉损伤; 临床分析

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.07.06

中图分类号: R683.2, R687.3, R619 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2018)-07-0607-06

Vertebral artery injury of upper cervical spine fracture with posterior internal fixation/CHEN Changqi, FENG Wanqiang, WANG Cheng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28 (7): 607-612

【Abstract】 Objectives: To analyze the reasons, surgical treatment strategies and preventive measures of vertebral artery injury of upper cervical spine with posterior internal fixation. **Methods:** From January 2013 to December 2017, 96 patients who suffered from upper cervical fracture and dislocation were treated with posterior internal fixation in our hospital. Among them, 6 patients were diagnosed vertebral artery injury after the posterior instrumentation, 4 males and 2 females, aging from 32 to 57 years(39.8±8.3 years) old. The length of stay ranged from 18 to 26d(22.0±2.5d). Before surgery, 2 patients had no vertebral artery injury in MR angiography(MRA), other 4 patients had no MRA examination. All the 6 patients were treated with posterior internal fixation, and cerebral ischemia appeared at 3 to 42 hours after surgery. Four patients had incision bleeding or hematoma formation and accepted exploratory operation. After CT angiography(CTA) and digital subtraction angiography(DSA) examination showing the vertebral artery injury, all the 6 patients were given interventional treatment. Cerebral ischemia improvement was observed in follow-up after discharged. **Results:** In addition to 1 case of atlantoaxial compound fracture and 1 case of mixed fracture, all the other patients were smoothly treated. Four patients who had V3 part of vertebral artery injury(bilateral damage in 1 case, unilateral damage in 3 cases) accepted membrane stent implantation, two patients with pseudoaneurysm in unilateral

第一作者简介: 男(1973-), 副主任医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱与创伤

电话: (0596)2944290 E-mail: 543593466@qq.com

V3 part of vertebral artery accepted artery occlusion operation. The hemorrhage of vertebral artery was effectively controlled after interventional therapy. All patients were followed up after discharge with the time of 6–12 months (10.0 ± 2.2 months). One patient with bilateral vascular wall injury still suffered from dizziness, headache and facial numbness at one year after discharged. Three patients with unilateral vessel wall injury were relieved of cerebral ischemia when discharged and complained no special discomfort during 1-year followed-up. Two patients with unilateral vertebral artery pseudoaneurysm experienced gradually relieved of cerebral ischemia at 6 months and 9 months after vertebral artery occlusion. In the patients with vertebral artery injury, 2 cases were caused by internal fixation, 4 cases were undefined about the reason due to no MRA and CTA examination before surgery. **Conclusions:** Vertebral artery injury can be caused by upper cervical fracture dislocation and internal fixation in surgical reduction. According to the imaging examination, interventional therapy can achieve an optimal outcome. A detailed imaging examination and evaluation should be performed before the surgery for upper cervical spine fracture. The operation should be carefully regulated to avoid the vertebral artery injury.

[Key words] Upper cervical spine fracture; Vertebral artery injury; Clinical analysis

[Author's address] Department of Orthopedics, Southeast Hospital of Xiamen University, Orthopedic Center of PLA 175 Hospital, Zhangzhou, 363000, China

后路复位内固定术是治疗上颈椎骨折脱位的主要手术方法,术中所导致的椎动脉损伤是其较为严重的并发症,短时间内大出血可危及患者生命,出血引起的脑缺血会产生相应的神经精神症状^[1]。有研究统计行上颈椎后路复位固定手术时,椎动脉损伤的概率高达 8.2%^[2]。本研究对在我院行后路复位内固定手术后出现椎动脉损伤的上颈椎骨折脱位患者进行回顾性分析,旨在探讨上颈椎骨折脱位后路复位内固定患者椎动脉损伤的原因、治疗策略和预防措施。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2013 年 1 月~2017 年 12 月在我院行后路复位内固定术的上颈椎骨折脱位患者 96 例,其中 6 例术后发现椎动脉损伤,男 4 例,女 2 例,年龄 32~57 岁 (39.8 ± 8.3 岁); 交通伤 2 例,坠落伤 3 例,重物砸伤 1 例。入院时均行颈椎 CT 或 MRI 检查,寰椎骨折并枕寰关节脱位 1 例,枢椎齿状突骨折 1 例,枢椎横突孔骨折 1 例,混合型枢椎骨折 2 例;寰枢椎复合骨折 1 例。神经功能 Frankel 分级:B 级 2 例,C 级 4 例。2 例入院时行磁共振血管成像(MRA)检查无椎动脉损伤,其中 1 例患者存在 C2 椎动脉高跨畸形,4 例患者未行 MRA 检查。3 例采用 C1–C2 椎弓根螺钉固定,3 例采用 C1–C2–C3 椎弓根螺钉固定。

1 例患者术后神志不清,2h 内切口持续大量渗血;2 例患者术后第 2 天反复诉头晕、恶心;1 例

患者术后第 1 天诉眩晕、视物模糊;1 例患者术后第 1 天神志淡漠,切口持续少量渗血;1 例患者术后第 1 天诉头晕、面部麻木,切口持续渗血。4 例患者术后切口有不同程度渗血,1 例于术后 3h 行急诊探查术,3 例于术后第 1 天行探查术,予止血纱布、止血粉及明胶海绵填压止血,之后行 CT 血管造影(CTA)和数字减影血管造影(DSA)检查明确椎动脉损伤情况后行血管腔内介入治疗;另 2 例患者经 CTA 或 DSA 检查明确为椎动脉损伤后行血管腔内介入治疗。内固定术后至明确椎动脉损伤的时间分别为 3h、16h、26h、28h、35h、42h。

1.2 介入治疗方法

均在全麻下进行,麻醉成功后,常规下腹部、双侧腹股沟区及大腿区消毒、铺单。选取双侧股动脉为穿刺点,按 Seldinger 法穿刺,于股动脉内置入合适动脉鞘,经动脉鞘置入造影管,依次超选入双侧颈内动脉及双侧椎动脉,造影了解椎动脉损伤部位,椎动脉直径,双侧后交通动脉代偿情况,评估血流动力学后决定是否闭塞伤侧椎动脉。

1.2.1 椎动脉闭塞术 全身肝素化后,将引导管超选入伤侧椎动脉,于假性动脉瘤近心端置入可脱性球囊,透视下解脱球囊,确定球囊无移位。再将导引导管超选入健侧椎动脉,采用跨越技术将微导管超选入假性动脉瘤远心端,给予弹簧圈闭塞假性动脉瘤及远心端椎动脉。双侧椎动脉复查造影确认假性动脉瘤未再显影,伤侧小脑后下动脉通畅,基底动脉及其分支通畅。解脱弹簧圈,撤除导管系统,穿刺点压迫 15min 后加压包扎。

1.2.2 覆膜支架置入术 将 Jostent 覆膜支架沿微导丝达到病变处,多角度造影以确定椎动脉血管损伤部位已被覆膜支架完全覆盖。在路径图下,缓慢充盈球囊至额定压力,以使覆膜支架与血管壁紧密贴合。解脱覆膜支架,撤除导管系统,穿刺点压迫 15min 后加压包扎。

2 结果

1 例寰枢椎复合型骨折和 1 例混合型骨折复位内固定难度较大,其余 4 例患者内固定手术均顺利。2 例术前行 MRA 检查者中 1 例存在 C2 椎动脉高跨畸形;3 例术后经 CTA 及 DSA 检查发现存在 C2 椎动脉高跨畸形。4 例椎动脉 V3 段血管壁损伤,双侧损伤 1 例,单侧损伤 3 例(左侧 1 例,右侧 2 例),行覆膜支架置入;2 例椎动脉 V3 段假性动脉瘤形成,行椎动脉闭塞。所有患者介入手术均顺利,椎动脉损伤出血均有效止血,手术时间 150~220min (180 ± 12.5 min)。患者出院后均获随访,随访时间 6~12 个月(10.0 ± 2.2 个月),1 例双侧血管壁损伤患者经 DSA 检查提示椎弓根螺钉与左侧椎动脉 V3 毗邻,术后 1 年随访仍诉头晕、头痛,面部麻木;3 例单侧血管壁损伤患者术后脑缺血症状明显缓解,术后 1 年随访时未诉特殊不适;2 例单侧假性动脉瘤形成患者行椎动脉闭塞术后 6 个月及 9 个月随访时诉脑缺血症状逐渐缓解(图 1)。2 例患者为内固定手术中所致,另 4 例患者因术前未予 MRA 或 CTA 检查,无法明确椎动脉损伤原因。

3 讨论

3.1 椎动脉正常解剖及变异

椎动脉由锁骨下动脉发出,由下至上可分为 4 段:由锁骨下动脉分出至 C6 横突孔下缘水平为第一段(V1);穿过 C6 横突孔下缘至 C2 横突孔上缘的部分为第二段(V2);C2 横突孔上缘至寰枕后膜入口进入硬膜处部分为第三段(V3);从寰枕膜至两侧椎动脉汇合成基底动脉部分为第四段(V4)^[3]。

有学者对寰枢椎解剖及影像学进行研究后统计,约 20% 的人椎动脉有位置异常^[4]。一般情况下椎动脉变异包括:(1)V2 段椎动脉进入横突孔变异,未从 C6 横突孔进入而从其他节段入横突孔者称作变异。(2)C2 椎动脉高跨及下颈椎椎体环,

C2 横突孔向内、上方偏移,在 C2 侧块骨质内形成空腔,椎动脉位于其中,称为 C2 椎动脉高跨,发生率为 10%~20%^[3];下颈椎椎体环指的是横突孔内移扩大至椎体内,在椎体内形成腔洞,椎动脉位于其中,如果术中因病情需要切除或显露该椎体,容易对椎动脉造成损伤^[5]。椎动脉变异在 V2、V3 段最多见,变异容易导致对椎动脉位置和行程的错误判断。术前如果没有详尽的影像资料参考,术中极有可能对椎动脉造成损伤。本组 6 例患者,2 例患者术前行 MRA 检查,其中 1 例患者存在 C2 椎动脉高跨畸形,另 4 例椎动脉损伤患者术后经 CTA 及 DSA 检查发现,3 例存在 C2 椎动脉高跨,因术前只关注骨折脱位类型及脊髓损伤情况,未关注椎动脉是否存在变异,术中置钉时对椎动脉造成损伤的可能性极大。

3.2 椎动脉损伤的影像学诊断

20 世纪 90 年代以前,DSA 是临床诊断椎动脉损伤的主要影像学方法,但因其有创性而在后来的临床应用中受到了一定的限制^[6]。有学者通过 CT、彩色多普勒超声、MRI 等无创性检查手段来诊断椎动脉损伤。然而,因其各自存在弊端,导致无法准确诊断椎动脉损伤,亦不被临床所常用。1995 年 Friedman 等^[7]首先报道了应用 MRA 诊断椎动脉损伤的相关研究,此后 MRA 逐渐成为诊断椎动脉损伤的一种高敏感度和特异度,同时又无创的临床检查方法。CTA 是近年来逐渐应用的一项微创性检查手段^[8],该技术在诊断颈部血管狭窄和闭塞方面有很高的敏感度和特异度。CTA 可以清晰显示椎动脉全程,达到血管造影的效果,CTA 的三维影像可以多角度旋转观察,更好地判断椎动脉的管径;同时,CTA 可同时显示血管与骨性结构,不仅可以直观显示椎动脉在颈椎横突孔中的走行情况,也可以观察椎动脉与椎弓根螺钉的位置毗邻关系。随着空间分辨率的提高和更薄的扫描层厚,CTA 的探查精确度会越来越高。

本组患者椎动脉损伤均在术后发现,因术中置入椎弓根螺钉,行 MRA 检查形成的伪影会对检查结果形成干扰。行 CTA 或 DSA 检查可以清晰显示椎动脉与周围的关系及损伤情况,所以本组患者椎动脉损伤均采用 CTA 和 DSA 检查明确诊断。

3.3 上颈椎骨折脱位后路复位内固定患者椎动脉损伤的原因

分析本组 6 例患者术后出现椎动脉损伤的原因可能有两种:一是骨折脱位合并椎动脉损伤,椎动脉损伤是颈椎骨折脱位的一种较为常见的并发症,有研究统计颈椎损伤时椎动脉损伤的发生率为 19%~75%^[9]。本组 6 例患者只有 2 例患者术前行 MRA 检查明确椎动脉无损伤,另 4 例患者因

术前无明显脑缺血症状未予 MRA 检查,因此不能完全排除骨折脱位时已合并有椎动脉损伤。二是骨折复位以及置钉过程对椎动脉造成原发性损伤。在行骨折复位过程中,碎骨块有可能对椎动脉造成损伤,过度牵拉复位也有可能对椎动脉造成撕裂,复位时间越长,对椎动脉造成损伤的可能性

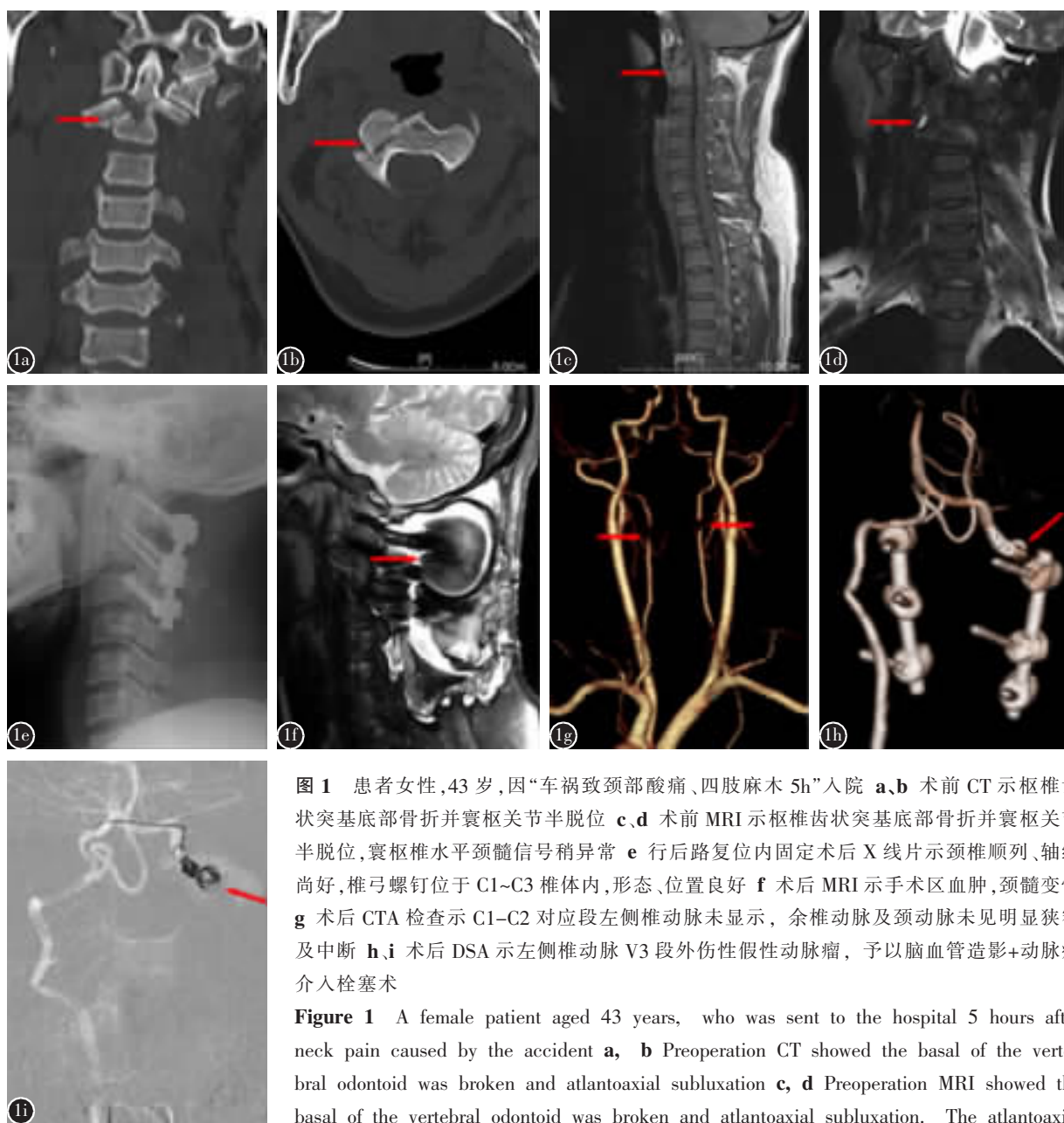


图 1 患者女性,43 岁,因“车祸致颈部酸痛、四肢麻木 5h”入院 **a、b** 术前 CT 示枢椎齿状突基底部骨折并寰枢关节半脱位 **c、d** 术前 MRI 示枢椎齿状突基底部骨折并寰枢关节半脱位,寰枢椎水平颈髓信号稍异常 **e** 行后路复位内固定术后 X 线片示颈椎顺列、轴线尚好,椎弓螺钉位于 C1~C3 椎体内,形态、位置良好 **f** 术后 MRI 示手术区血肿,颈髓变性 **g** 术后 CTA 检查示 C1-C2 对应段左侧椎动脉未显示,余椎动脉及颈动脉未见明显狭窄及中断 **h、i** 术后 DSA 示左侧椎动脉 V3 段外伤性假性动脉瘤,予以脑血管造影+动脉瘤介入栓塞术

Figure 1 A female patient aged 43 years, who was sent to the hospital 5 hours after neck pain caused by the accident **a, b** Preoperation CT showed the basal of the vertebral odontoid was broken and atlantoaxial subluxation **c, d** Preoperation MRI showed the basal of the vertebral odontoid was broken and atlantoaxial subluxation. The atlantoaxial cervical spinal cord signal was slightly abnormal **e** Postoperation X-ray showed a normal alignment of cervical spine sequence. The vertebral arch nails were seen in the cervical 1-3 vertebral body with adequate shape and position **f** Postoperation MRI showed hematoma in the surgical area and the cervical spinal with abnormal signal **g** CTA subsequently showed the left vertebral artery was not shown in the cervical 1-2 level. The residual vertebral artery and carotid artery showed no obvious stenosis and disruption **h, i** DSA indicated V3 part of the left vertebral artery had a traumatic pseudoaneurysm. Cerebral angiography and aneurysm embolization was performed subsequently

就越大^[10,11]。本组 3 例患者骨折脱位较严重,术中复位难度大,不排除复位过程中对椎动脉造成损伤。另外,置钉过程也很有可能对椎动脉造成损伤,其发生率约为 1.3%~8.2%^[12-14]。Neo 等^[14]统计 149 例行该类手术的患者,其中 2 例术中出现椎动脉损伤,发生率为 1.3%;Madawi 等^[12]报道 61 例行该手术的患者,其中 5 例术中出现椎动脉损伤,发生率为 8.2%。他们总结 Magerl 螺钉固定术中椎动脉损伤的危险因素有:(1)术前未意识到椎动脉的变异;(2)上颈椎侧块的缺损或破坏(类风湿关节炎破坏等);(3)置入螺钉前骨折脱位未完全复位,术中以寰椎前结节为进钉标志的钉道过低;(4)如之前的手术去除了寰椎前结节,术中将会失去进钉标志。本组 1 例患者术后行 DSA 检查显示椎动脉损伤部位与椎弓根螺钉位置极其靠近,极有可能是置钉过程对椎动脉造成了损伤;6 例患者经 MRA 及 CTA 检查发现,共有 4 例患者存在椎动脉变异,这意味着术中即使规范的置钉过程也极有可能对椎动脉造成损伤。另外,针对复杂型骨折脱位,复位难度大,术者可能会先置钉后复位,这就增加了置钉过程对椎动脉损伤的可能;术中置钉过程不顺利,钉道的多次调整均有可能对椎动脉造成损伤^[10]。

3.4 椎动脉损伤的预防

为了避免术中对椎动脉造成损伤,术者必须熟悉和研究椎动脉的走行和周围解剖关系。术前认真查看患者 CT、MRI 及 MRA 等影像资料,明确椎动脉与颈椎侧块的关系,了解椎动脉管腔大小,明确是否存在椎动脉扩张、扭曲等变异情况,尤其需注意有无椎动脉高跨畸形存在,因为高跨畸形多同时合并枢椎椎弓根细小、横突孔内聚等异常情况,这将导致无法置入 C2 椎弓根螺钉^[15]。如存在以上情况,则需对变异情况进行测量。据此,可确定手术中螺钉的直径及进钉角度等^[16]。除了术前需全面检查,了解解剖结构及其变异以外,术中更需谨慎操作,避免对椎动脉造成损伤。首先,需注意因手术体位不当引起的椎动脉医源性损害的可能,避免头颈部过度旋转或过伸^[17];在行骨折复位时,避免动作幅度过大,麻醉医师应密切观察患者浅表的动脉搏动,防止过度牵拉对椎动脉造成损伤;在暴露寰椎后弓时,原则上不应超过 1.5cm,寰椎进针点应在寰椎后弓后缘表面,寰椎后弓上缘下方 3mm 水平线与经枢椎下关节突中

心点纵垂线的交点;寰枢椎椎弓根与椎动脉紧紧相邻,这使其置钉过程难度增大,术前应熟悉椎动脉的走行及投影,避开椎动脉是成功置钉的关键。与寰椎比较,枢椎椎弓根较粗大,可以枢椎椎弓峡部内上壁为解剖参照行枢椎椎弓根置钉,从而降低椎动脉损伤风险^[18]。除了准确定位进钉点,在置钉时,Gluf 等^[19]建议先在影像资料显示钉道相对安全的一侧置入螺钉,这样可确保至少有一侧得到可靠的固定;予磨钻开口后,开路器需按计划好的方向在松质骨内缓慢前进,每进一定的长度即用圆头探针探测四壁有无破裂,放置定位针后用 C 型臂 X 线机透视证实深度及方向^[15],争取一次性成功置钉,避免多次调整钉道;当一侧出现椎动脉损伤时,对侧不宜再进行手术操作,防止出现双侧椎动脉损伤;如置钉完成后怀疑有椎动脉损伤,不要贸然取出螺钉,防止出现难以控制的大出血。最后,置钉过程必须重视个体化,根据术中具体情况,选择大小合适的螺钉,把握正确的进钉角度及深度。

本组部分患者因术前未行 MRA 检查,不能明确椎动脉损伤原因,另外,部分患者行内固定手术时未完整记录术中出血及止血情况,对术后椎动脉损伤的原因分析造成影响。因观察病例数较少,部分患者随访时间较短,术后随访时症状改善情况评价指标不够明确,不能进行有效的统计分析,无法明确椎动脉损伤程度与预后的相关性以及发现并处理椎动脉损伤的时间与患者预后的相关性。

4 参考文献

1. Alterman DM, Heidel RE, Daley BJ, et al. Contemporary outcomes of vertebral artery injury[J]. J Vasc Surg, 2013, 57(3): 741-746.
2. 朱彦昭,徐荣明,马维虎. 颈椎手术中椎动脉损伤的研究进展[J]. 中医正骨, 2010, 22(9): 28-31.
3. 闫明,王超,王圣林. 正常椎动脉解剖特点及其变异概况[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2012, 22(2): 171-174.
4. Resnick DK, Lapsiwala S, Trost GR. Anatomic suitability of the C1-C2 complex for pedicle screw fixation[J]. Spine, 2002, 27(14): 1494-1498.
5. Tumialan LM, Wippold FJ 2nd, Morgan RA. Tortuous vertebral artery injury complicating anterior cervical spinal fusion in a symptomatic rheumatoid cervical spine[J]. Spine, 2004, 29(16): E343-348.
6. 蒲渝,任先军,邓天琼. 闭合性颈椎骨折脱位并发椎动脉损伤

- 的机制及影像学诊断[J]. 中华创伤杂志, 2005, 21(6): 475-477.
7. Friedman D, Flanders A, Thomas C, et al. Vertebral artery injury after acute cervical spine trauma: rate of occurrence as detected by MR angiography and assessment of clinical consequences[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1995, 164(2): 443-447; discussion 448-449.
8. Busquéts AR, Acosta JA, Colón E, et al. Helical computed tomographic angiography for the diagnosis of traumatic arterial injuries of the extremities[J]. *J Trauma*, 2004, 56(3): 625-628.
9. Parbhoo AH, Govender S, Corr P. Vertebral artery injury in cervical spine trauma[J]. *Injury*, 2001, 32(7): 565-568.
10. Harshavardhana NS, Dabke HV. Risk factors for vertebral artery injuries in cervical spine trauma[J]. *Orthop Rev(Pavia)*, 2014, 6(3): 128-130.
11. Tannoury C, Degiacomo A. Corrigendum to "fatal vertebral artery injury in penetrating cervical spine trauma"[J]. *Case Rep Neurol Med*, 2017, 2017: 3861804. Epub 2017 Mar 12.
12. Madawi AA, Casey AT, Solanki GA, et al. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular screw fixation technique[J]. *J Neurosurgery*, 1997, 86(6): 961-968.
13. Wright NM, Lauryssen C. Vertebral artery injury in C1-2 transarticular screw fixation: results of a survey of the AANS/CNS section on disorders of the spine and peripheral nerves [J]. *J Neurosurgery*, 1998, 88(4): 634-640.
14. Neo M, Fujibayashi S, Miyata M, et al. Vertebral artery injury during cervical spine surgery: a survey of more than 5600 operations[J]. *Spine*, 2008, 33(7): 779-785.
15. 武兴国, 黄健, 蒋煜青, 等. 椎动脉的解剖研究及在上颈椎椎弓根置钉中的应用[J]. *中国骨伤*, 2014, 27(9): 772-774.
16. 李松凯, 倪斌. 颈椎手术中椎动脉损伤的处理及预防[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(7): 554-557.
17. Schroeder GD, Hsu WK. Vertebral artery injuries in cervical spine surgery[J]. *Spine J*, 2013, 14(8): 1520-1525.
18. Chan PW, Chou BT, Bendo JA, et al. Vertebral artery injury in cervical spine surgery: anatomical considerations, management, and preventive measures[J]. *Spine J*, 2009, 9(1): 70-76.
19. Gluf WM, Schmidt MH, Apfelbaum RI. Atlantoaxial transarticular screw fixation: a review of surgical indications, fusion rate, complications, and lessons learned in 191 adult patients[J]. *J Neurosurg Spine*, 2005, 2(2): 155-163.
- (收稿日期:2018-01-26 末次修回日期:2018-03-07)
(英文编审 唐翔宇/贾丹彤)
(本文编辑 卢庆霞)