doi:10.11659/jjssx.04E022051

·临床研究·

儿童寰枢椎脱位经后路置钉固定的临床解剖与应用研究

薛兴森,何光建,储卫华,张见平,宋 磊,陈贝克,冯 华,林江凯 (陆军军医大学第一附属医院神经外科/全军神经外科研究所/重庆市精准神经医学与神经再生修复重点实验室/全军创伤烧伤复合伤国家重点实验室,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 测量并分析寰枢椎脱位患儿的寰枢椎解剖结构,以指导经后路置钉固定手术。**方法** 分析我院21例寰枢椎脱位儿童的上颈椎影像学资料。基于影像学资料测量患儿寰枢椎侧块及枢椎椎弓根长、宽、高、钉道内倾角和头倾角;观察枢椎椎弓根安全区,并确定手术安全等级。**结果** 寰枢椎脱位患儿颈部后路解剖结构以枢椎椎弓根横径宽度最为狭窄,左侧为(5.19±0.82)mm,右侧为(5.07±2.63)mm;手术置钉角度左侧取(32.19°±5.42°)、右侧取(39.40°±6.73°)较为安全。寰椎两侧长、宽、高及钉道内倾角、头倾角比较差异无统计学意义($P>0.05$);枢椎两侧长、宽、高及钉道内倾角、头倾角比较差异无统计学意义($P>0.05$);枢椎椎弓根两侧长、宽、高及钉道内倾角、头倾角比较差异无统计学意义($P>0.05$)。置钉过程中,42个椎弓根中有25个(59.5%)为椎动脉损伤低风险,14个(33.3%)为椎动脉损伤中风险,3个(7.1%)为椎动脉损伤高风险。部分患儿的椎弓根置钉过程中存在显著的对侧变异。**结论** 寰枢椎脱位患儿颈部后路解剖结构以枢椎椎弓根横径宽度最为狭窄,置钉要求高,应根据此处经线选择螺钉。儿童寰枢椎脱位的后路解剖可指导置钉手术,避免椎动脉损伤及骨质破坏。

[关键词] 寰枢椎脱位;寰椎侧块;枢椎椎弓根;枢椎椎板;儿童

[中图分类号] R681.5 [文献标识码] A [收稿日期] 2022-04-13

Clinical anatomy and application of posterior pedicle screw fixation in pediatric atlantoaxial dislocation

XUE Xing-sen, HE Guang-jian, CHU Wei-hua, ZHANG Jian-ping, SONG Lei, CHEN Bei-ke, FENG Hua, LIN Jiang-kai (Department of Neurosurgery, First Affiliated Hospital of Army Medical University /Institute of Neurosurgery of PLA/Chongqing Key Laboratory of Precision Neuromedicine and Neuroregenaration/State Key Laboratory of Trauma, Burns and Combined Injury of PLA, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To measure and analyze the atlantoaxial anatomy of pediatric patients with atlantoaxial dislocation, so as to guide posterior pedicle screw fixation surgery. **Methods** The imaging data of upper cervical spine in 21 pediatric patients with atlantoaxial dislocation were analyzed. The length, width, height, internal inclination angle and head inclination angle of screw canal in the lateral mass of atlantoaxial axis and axis pedicle were measured based on the imaging data. The safety zone of axis was observed to determine the safety level of operation. **Results** Among the posterior anatomical structures of atlantoaxial dislocation in pediatric patients, the width of transverse diameter of axis pedicle was the narrowest, with the left side of (5.19±0.82)mm and the right side of (5.07±2.63)mm; the angles of surgical screw placement with (32.19°±5.42°) on the left side and (39.40°±6.73°) on the right side were safe. There was no statistically significant difference in the length, width, height, internal inclination angle or head inclination angle of screw canal on both sides of atlas ($P>0.05$); there was no statistically significant difference in length, width, height, internal inclination angle or head inclination angle of screw canal on both sides of axis ($P>0.05$); there was no statistically significant difference in length, width, height, internal inclination angle or head inclination angle of screw canal on both sides of axis pedicle ($P>0.05$). During the process of screw placing, 25(59.5%) of 42 pedicles had low risk of vertebral artery injury, 14 (33.3%) pedicles had medium risk of vertebral artery injury, and 3 (7.1%) pedicles had high risk of vertebral artery injury. A part of pediatric patients had significant contralateral variation during pedicle screw placement. **Conclusion** The width of the transverse diameter of axis pedicle is the narrowest in the posterior cervical anatomy of pediatric patients with atlantoaxial dislocation, with a high requirements for screw placement, and the screw should be selected according to the meridian here. The posterior anatomy of pediatric atlantoaxial dislocation can guide screws placement surgery to avoid vertebral artery injury and bone destruction.

Keywords: atlantoaxial dislocation; lateral mass of atlas; axis pedicle; axial lamina; children

[基金项目] 重庆市技术创新与应用示范项目(Cstc2018jscxmsybx0092);西南医院临床新技术重点项目(SWH2016JSTSZD04;SWH2017ZDCX2010)

[通信作者] 林江凯,E-mail:jklin@tmmu.edu.cn

寰枢椎脱位约占儿童颈椎损伤的6.1%,其病因包括外伤性、自发性和病理性[1]。由于儿童结缔组织(肌肉及韧带)较疏松,且其头部与身体的比例相对于成人更大,故儿童寰枢椎脱位易造成颈椎失稳和脊髓病变,从而带来灾难性后果[2],尽早手术是治疗成功的关键[3]。但儿童寰枢椎仍处于发育阶段,且其结构较为复杂,解剖结构变异大,内固定装置及螺钉置入角度均与成人存在差异,进一步增加了手术风险和难度。因此,了解儿童寰枢椎解剖结构,进而指导螺钉选择及螺钉置入尤为重要。本研究纳入我院收治的21例经颈椎后路撑开复位内固定术治疗的寰枢椎脱位患儿,测量并分析患儿的寰枢椎解剖结构,以期为儿童寰枢椎脱位手术中螺钉选择和置入角度提供参考,从而提高手术的可行性及安全性。

1 资料与方法

1.1 临床资料

纳入2010年9月至2021年9月我院21例后期行颈椎后路撑开复位内固定术治疗的寰枢椎脱位患儿。其中男13例,女8例,年龄6~17岁,平均(13.01±3.61)岁;颅底发育畸形16例,寰枢椎关节不稳3例,齿状突骨折2例。临床表现:枕颈部疼痛18例,逐渐呈脊髓压迫症状9例,乏力3例,进行性肢体麻木5例,脑积水2例,肢体瘫痪1例。

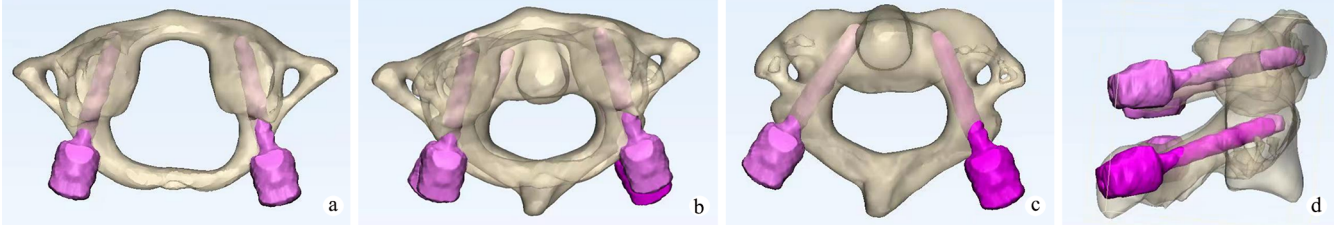
纳入标准:经CT三维重建及MRI等检查明确为寰枢椎脱位;年龄6~17岁。排除标准:炎症、肿瘤、感染等导致的寰枢椎脱位;明显椎动脉高跨或寰枢椎椎弓根缺如。本研究经我院医学伦理委员会批准(KY2020130)。

1.2 CT测量

患者行颈椎过伸过屈中立位平片,头颈部CTA,上颈椎过伸位、正中位、过屈位CT薄层扫描(0.6 mm)及寰枢椎CT(1.5 mm)三维重建。检查设备为Somatom Definition Flash西门子双源CT。寰椎后弓进钉点:选择位于后弓上投影距离椎动脉沟底部的后弓最薄处与寰椎侧块下方的内外缘中点的垂直距离2.0~2.5 mm处;寰椎出钉点:选择位于过寰椎侧块腹侧上方的内外缘中点及进钉点矢状面,并经由该矢状面的寰椎侧块上下缘的中点;枢椎进钉点:椎弓根内侧壁在椎板上投影的外侧5 mm,上缘下7 mm处;枢椎出钉点:前弓外侧缘1 cm出皮质骨内侧壁(图1)。根据以上进、出钉点,于我院PACS影像工作站测量寰椎、枢椎及枢椎椎弓根的长、宽、高,钉道内倾角、头倾角(图2),测量结果取平均值,精确到小数点后1位。根据CT矢状位图像分析枢椎椎弓根安全区(图3),对椎弓根内侧壁到(但不包括)椎动脉孔的连续CT图像进行计数,确定上述结构之间的距离。CT矢状位上椎弓根与椎动脉距离小于4 mm,提示手术置钉过程中造成椎动脉损伤的风险较高,即椎动脉损伤的高风险;4~6 mm为中风险;6 mm及以上为低风险[4]。基于上述临床解剖结果制定后路置钉方案。数据收集及分析分别由1位手术参与者及另1位未参与手术的经验丰富的神经外科医师进行。

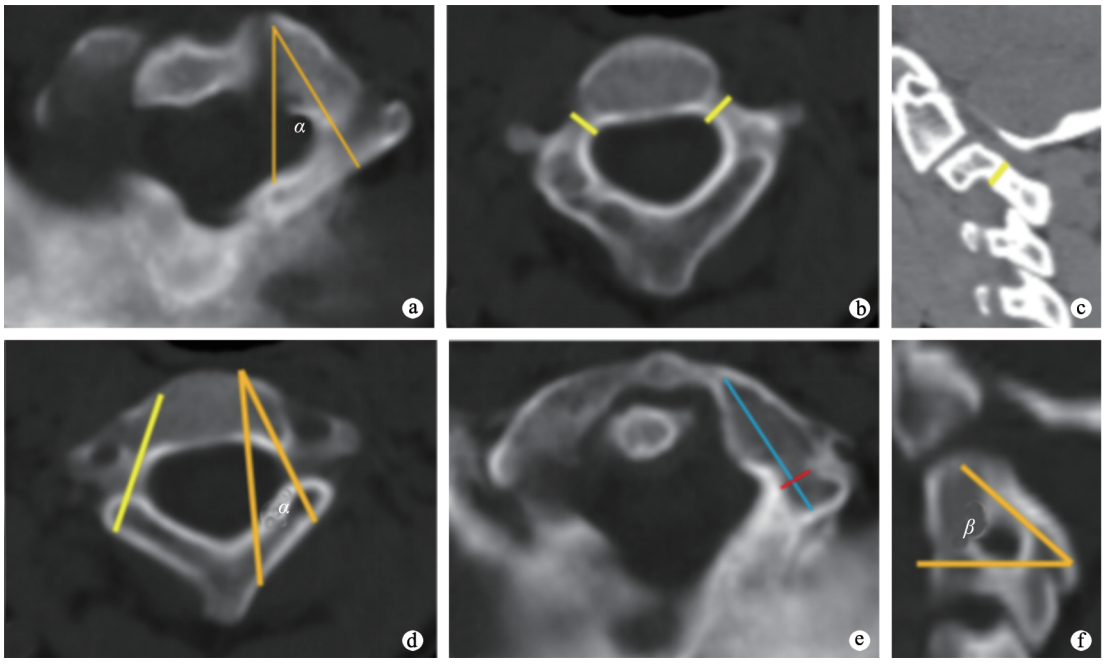
1.3 手术方法

患儿全身麻醉后取俯卧位,头颈保持正中位并用头架固定,取枕颈后正中切口,依次暴露枕骨鳞部、枢椎棘突、枢椎和寰椎椎弓及枕骨大孔后缘;对枕骨大孔后缘进行减压,调整头部位置,使头处于中立位进行后续操作。根据术前预测的寰枢椎侧块及枢椎椎弓根长、宽、高、钉道内倾角和头倾角等参数指导内置物的选择。经颈椎后路进行内固定,置入椎弓根螺钉(SUMMIT-TI微型多向螺钉,直径3.5 mm,美国强生)固定后,采用预弯钛棒(SUMMIT TI型钛棒,美国强生)连接椎弓根螺钉,松开头架,谨慎固定旋钮,经颈椎后路枕颈固定后,置入钛钉、钛棒系统。若术中需行枕颈固定,则利用撑开器扩大枕骨与枢椎间隙,使齿突尽可能向前、向下复位。在内置物周围填充自体髂骨,生理盐水冲洗后逐层缝合切口。术中撑开复位及内固定前后持续行神经电生理监测,密切观察术中患儿体感诱发的电位变化,术后尽早下床活动。



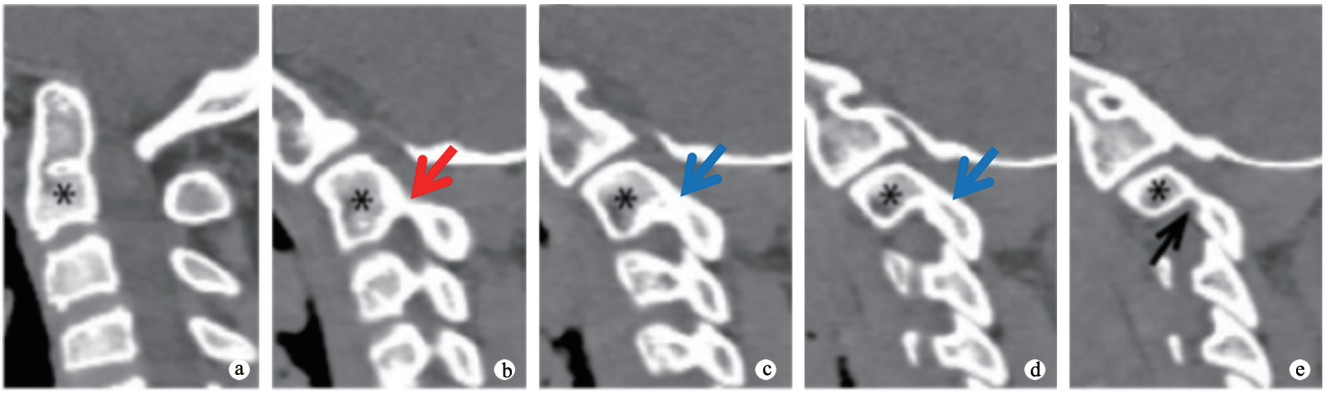
a:寰椎置钉及后弓进钉点(上面观);b:寰椎及枢椎置钉(上面观);c:枢椎置钉及后弓进钉点(上面观);d:寰枢椎置钉及出钉点(侧面观) 紫色:模拟的螺钉

图1 寰枢椎椎弓根螺钉置钉点示意图



a:寰椎椎弓根内倾角测量(α角为寰椎椎弓根内倾角);b:枢椎椎弓根宽度测量(两根黄色短线分别为枢椎左右两侧椎弓根宽度);c:寰枢椎椎弓根高度测量;d:枢椎椎弓根长度及内倾角测量(黄色线为枢椎长度,α角为枢椎椎弓根内倾角);e:寰椎椎弓根宽度测量(蓝色、红色线分别为寰椎椎弓根长度和宽度);f:寰枢椎椎弓根头倾角测量(β角为寰枢椎椎弓根头倾角)

图2 寰枢椎椎弓根长、宽、高及钉道内倾角和头倾角测量



a:椎管未显示椎弓根内壁,即不在安全区内;b:观察到椎弓根;c、d:连续出现的椎弓根;e:出现完整的椎动脉孔半圆,椎弓根安全区结束 *:椎体矢状位切面;红色箭头:开始出现的椎弓根内侧壁,即安全区的起始;蓝色箭头:连续的椎弓根;黑色箭头:卵圆形结构,即椎动脉所在的卵圆孔

图3 安全区计数示意图

1.4 统计学方法

使用SPSS 18.0软件对数据进行统计学分析,计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用t检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术前寰枢椎测量指标

寰枢椎脱位患儿颈部后路解剖结构以枢椎椎弓根横径宽度最为狭窄,左侧为(5.19±0.82)mm,右侧为(5.07±2.63)mm;手术置钉角度左侧取(32.19°±5.42°)、右侧取(39.40°±6.73°)较为安全。寰椎两侧长、宽、高及钉道内倾角、头倾角比较差异无统计学意义($P>0.05$);枢椎两侧长、宽、高及钉道内倾角、头倾角比较差异无统计学意义($P>0.05$);枢椎椎弓根两侧长、宽、高及钉道内倾角、头倾角比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。

2.2 患儿枢椎椎弓根安全区分析

置钉过程中,42个椎弓根中有25个(59.5%)进行螺钉固定时出现椎动脉损伤的低风险,14个(33.3%)为椎动脉损伤中风险,3个(7.1%)为椎动脉损伤高风险。9例(42.9%)患儿两侧椎弓根置钉过程中为椎动脉损伤低风险。部分患儿的椎弓根置钉过

表 1 术前寰枢椎测量指标

测量参数	寰椎			枢椎			枢椎椎弓根		
	左侧	右侧	*P*	左侧	右侧	*P*	左侧	右侧	*P*
宽度(mm)	5.24±0.98	5.17±1.52	0.950	7.52±1.32	6.67±1.43	0.492	5.19±0.82	5.07±2.63	0.944
长度(mm)	29.75±2.57	30.07±3.53	0.818	34.97±4.92	36.01±3.79	0.786	26.47±6.01	24.09±3.27	0.579
高度(mm)	6.90±1.54	5.66±2.01	0.444	6.34±2.16	5.97±1.78	0.830	6.06±2.34	5.74±2.28	0.874
内倾角(°)	38.92±5.10	40.6±3.79	0.671	42.15±3.29	46.46±4.07	0.621	32.19±5.42	39.40±6.73	0.222
头倾角(°)	12.6±3.42	14.01±4.87	0.703	3.77±1.59	5.08±2.74	0.513	8.97±2.10	9.97±4.08	0.725

程中存在显著的对侧变异,其中 10 例(47.6%)患儿左右椎弓根具有不同的椎动脉损伤风险;9 例(42.9%)患儿的一侧椎弓根为椎动脉损伤低风险,而对侧椎弓根则为中风险(或双侧均为中风险);3 例(14.3%)患儿椎弓根一侧为椎动脉损伤中风险,对侧为椎动脉损伤高风险。

3 讨论

寰枢椎在解剖上常伴有枢椎峡部变异、椎动脉走行变异及枢椎侧块侵蚀等,导致临床上寰枢椎的椎弓根螺钉置入充满挑战[5]。儿童处于生长发育阶段,其头部与身体的比例相对于成人更大,同时颈部肌肉和钩突关节常发育不全,且儿童寰枢椎的关节囊和韧带较为松弛,导致儿童寰枢椎稳定性较成人差[2-3]。此外,儿童寰枢椎尚处于发育阶段,寰枢关节未发育成熟,若脱位时间长或反复发作,可出现强迫头位;因先天性发育畸形、外伤、类风湿关节炎等原因引起的寰枢关节过载及运动不稳定,则更易出现脊髓损伤等严重并发症,甚至危及生命[6],尽早行手术治疗是患儿康复的关键[7]。

儿童寰枢椎解剖学及生物力学等与成人明显不同,因此其治疗策略存在一定的特殊性。既往有研究采用非螺钉系统的固定复位策略治疗儿童寰枢椎脱位,虽然可解除局部异常韧带及骨质对脊髓的压迫,暂时缓解患儿症状,但存在术中视野暴露困难、手术时间较长、脑脊液漏、感染、构言障碍、骨质磨损断裂等并发症,且对寰枢关节稳定性产生影响[8-11]。近年来,随着经颈椎后路内固定装置、外科手术技巧及影像诊断技术的发展,钉棒系统内固定在寰枢椎脱位的治疗中得到越来越多的实践[12]。

寰枢椎椎弓根螺钉置入是临床治疗成人寰枢椎脱位的首选方案,但其在儿童中并不常用,可能与儿童解剖结构多变,导致手术风险不可控有关。对于寰枢椎不稳的手术治疗,寰枢椎椎弓根螺钉固定术是恢复寰枢椎稳定的可靠办法[13]。但寰枢椎处于颈髓和延髓交界区,位置较高,若手术操作不当则可能导致患者呼吸困难、高位截瘫等严重后果,因此手术难度及风险较高[14]。深入了解儿童寰枢椎的解剖结构,制定适用于儿童寰枢椎脱位的术中置钉方案,对提高后路置钉治疗该病的可行性及安全性具有十分重要的作用[15-16]。此前,已有研究证实,儿童发育尚不成熟,骨皮质结构纤细,个体形态变异大,与成人相比,其后路置钉固定难度更大、风险更高。吴春立等[17]应用 CT 扫描对 60 例儿童寰枢椎椎弓根长、宽、高进行测量,结果显示儿童椎弓根的径线长短随年龄呈增加趋势。林斌等[18]应用椎弓根螺钉内固定治疗 21 例儿童寰枢椎脱位,取得良好的远期效果。但低龄儿童不仅 C_1、C_2 结构纤细,发育不良,且多伴寰枕融合,有 15% 的患儿存在椎动脉走行异常,可能有椎动脉损伤的风险[19]。因此,本研究术前对患儿的寰枢椎解剖结构进行分析,仔细查体,记录肢体肌电图,行上颈椎 MRI 了解齿状突对腹侧脊髓的压迫程度,完善头颈部 CTA、CT 薄层扫描及三维重建检查,确定齿状突骨性前、后、左、右的移位程度,并通过其矢状面图像观察卵圆孔位置,判断椎动脉走行和手术风险,并测量椎弓根和椎板长、宽、高度及进钉角度;我们通过测定安全区大小以评估椎动脉损伤风险等级,从而指导制定个性化的手术置钉策略,以确保后续手术安全进行;术中切除枕骨大孔后局部减压,完成钉棒置入,扩大了术区视野,确保手术安全。儿童头部与身体的比例相对于成人更大,因此,本研究术中调整患儿头部为中立位,然后行颈枕或寰枢椎内固定,以维持术后颅颈交界区的稳定性;术中取自体髂骨行骨质融合,行枕颈或寰枢椎融合,增强术后上颈椎的稳定性[20]。本研究测量后发现,儿童寰枢椎脱位的后路解剖结构中,以枢椎椎弓根横径最为狭窄,其中左侧(5.19±0.82)mm;右侧(5.07±2.63)mm,因而对置钉要求最高,选择 3.5 mm 的螺钉能满足患儿枢椎椎弓根横径宽度置钉要求,确保手术安全;在儿童寰枢椎脱位的后路中,使用 3.5 mm 的螺钉时进钉角左侧选择(42.15°±3.29°)、右侧选择(46.46°±4.07°)进行手术较为安全,这与以往研究结果一致[21]。

综上所述,对于儿童寰枢椎脱位患者,在充分了解儿童寰枢椎脱位的后路解剖后,选择恰当的螺钉和个

体化的后路置钉方案治疗该类患儿安全可行。为避免椎动脉损伤及骨质破坏,儿童上颈椎后路内固定手术选择3.5 mm的螺钉能满足患儿最为狭窄的枢椎椎弓根横径宽度置钉要求,可确保手术安全。钉棒系统治疗儿童寰枢椎脱位作为灵活、精确的个体化治疗方案,有望得到更广泛的应用和推广。

[参考文献]

[1] Wang S,Wang C,Yan M,et al. Novel surgical classification and treatment strategy for atlantoaxial dislocations[J]. Spine (Phila Pa 1976),2013,38(21):E1348 - E1356. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a1e5e4.

[2] Jea A,Belal A,Zaazoue MA,et al. Cervical spine injury in children and adolescents[J]. Pediatr Clin North Am,2021,68(4):875 - 894. doi:10.1016/j.pcl.2021.04.012.

[3] Ruf M,Pitzen T,Meyer C,et al. Atlantoaxial rotatory dislocation:delayed diagnose will result in more invasive treatment options[J]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg,2021,82(1):1 - 8. doi:10.1055/s - 0040 - 1712940.

[4] Marco RAW,Phelps CI,Kuo RC,et al. Radiologic analysis of C_2 to predict safe placement of pedicle screws[J]. Int J Spine Surg,2018,12(1):30 - 36. doi:10.14444/5006.

[5] Paramore CG,Dickman CA,Sonntag VK,et al. The anatomical suitability of the C_{1-2} complex for transarticular screw fixation[J]. J Neurosurg,1996,85(2):221 - 224. doi:10.3171/jns.1996.85.2.0221.

[6] Burkhardt BW,Podolski W,Pitzen TR,et al. The feasibility of C_1-C_2 screw-rod fixation in the children 5 years of age and younger[J]. J Pediatr Orthop,2021,41(8):e651 - e658. doi:10.1097/BPO.0000000000001899.

[7] Koljonen PA,Cheung KM. Concomitant atlantoaxial and atlanto-occipital rotatory dislocation in children:radiological features,diagnostic pitfalls,and long-term outcome[J]. J Orthop Surg (Hong Kong),2021,29(2):23094990211015502. doi:10.1177/23094990211015502.

[8] Zhu J,Wu J,Luo K,et al. Intraarticular bone grafting in atlantoaxial facet joints via a posterior approach:nonstructural or structural:a minimum 24-month follow-up[J]. J Orthop Surg Res,2021,16(1):524. doi:10.1186/s13018 - 021 - 02630 - z.

[9] Wakasugi M,Watanabe K,Hirano T,et al. Direct decompression combined with occipitocervical fusion for median occipital condyle-induced ventral cerviomedullary junction compression causing myelopathy[J]. J Orthop Sci,2018,23(4):701 - 705. doi:10.1016/j.jos.2016.08.008.

[10] Chen Q,Brahimaj BC,Khanna R,et al. Posterior atlantoaxial fusion:a comprehensive review of surgical techniques and relevant vascular anomalies[J]. J Spine Surg,2020,6(1):164 - 180. doi:10.21037/jss.2020.03.05.

[11] Winegar BA,Kay MD,Chadaz TS,et al. Update on imaging of spinal fixation hardware[J]. Semin Musculoskelet Radiol,2019,23(2):e56 - e79. doi:10.1055/s - 0038 - 1677468.

[12] Guan J,Chen Z,Wu H,et al. Effectiveness of posterior reduction and fixation in atlantoaxial dislocation:a retrospective cohort study of 135 patients with a treatment algorithm proposal[J]. Eur Spine J,2019,28(5):1053 - 1063. doi:10.1007/s00586 - 018 - 05869 - z.

[13] Li L,Liu WF,Jiang HK,et al. Biomechanical evaluation of four different posterior screw and rod fixation techniques for the treatment of the odontoid fractures[J]. Int J Clin Exp Med,2015,8(6):8571 - 8580.

[14] Banat M,Vychopen M,Wach J,et al. Use of halo fixation therapy for traumatic cranio-cervical instability in children:a systematic review[J]. Eur J Trauma Emerg Surg,2021,48(5):3505 - 3511. doi:10.1007/s00068 - 021 - 01849 - z.

[15] Hasan S,Waheed M,Suhrawardy AK,et al. Pediatric upper cervical spine trauma:a 10-year retrospective review at a pediatric trauma center[J]. Cureus,2022,14(1):e20995. doi:10.7759/cureus.20995.

[16] Menezes AH,Dlouhy BJ. Atlas assimilation:spectrum of associated radiographic abnormalities,clinical presentation,and management in children below 10 years[J]. Childs Nerv Syst,2020,36(5):975 - 985. doi:10.1007/s00381 - 019 - 04488 - 3.

[17] 吴春立,尤壮志,史 君,等. 学龄前期儿童寰枢椎椎弓根形态特征发育的临床解剖学研究[J]. 局解手术学杂志,2017,26(8):547 - 551. doi:10.11659/jjssx.05E017011.

[18] 林 斌,陈志达,蔡弢艺,等. 后路椎弓根螺钉内固定治疗儿童寰枢椎脱位的远期效果[J]. 中华医学杂志,2018,98(6):422 - 426. doi:10.3760/cma.j.issn.0376 - 2491.2018.06.005.

[19] Hur JW,Kim JS,Ryu KS,et al. Accuracy and safety in screw placement in the high cervical spine:retrospective analysis of O-arm-based navigation-assisted C1 lateral mass and C2 pedicle screws[J]. Clin Spine Surg,2019,32(4):E193 - E199. doi:10.1097/BSD.0000000000000813.

[20] Hofler RC,Pecoraro N,Jones GA. Outcomes of surgical correction of atlantoaxial instability in patients with down syndrome:systematic review and meta-analysis[J]. World Neurosurg,2019,126:e125 - e135. doi:10.1016/j.wneu.2019.01.267.

[21] Fan D,Song R,Zhang M,et al. Guideline for C_1 lateral mass and C_2 pedicle screw choices in children younger than 6 years[J]. Spine (Phila Pa 1976),2017,42(16):E949 - e955. doi:10.1097/BRS.0000000000002016.

(编辑:龙小芬)