

临床论著

寰枢椎椎弓根螺钉结合横联加压环抱内固定术在不稳定性寰椎骨折治疗中的临床应用

闫廷飞, 王 元, 史洪洋, 孙璟川, 孙晨曦, 贾连顺, 史建刚, 史国栋

(第二军医大学附属长征医院骨科 200003 上海市)

【摘要】目的:探讨寰枢椎椎弓根螺钉结合横联加压环抱内固定术治疗不稳定性寰椎骨折的临床效果。**方法:**回顾性分析 2013 年 8 月~2017 年 8 月采用寰枢椎椎弓根螺钉结合横联加压环抱内固定术治疗的不稳定性寰椎骨折患者 14 例, 其中男 9 例, 女 5 例; 年龄 22~59 岁, 平均 43.1 ± 1.2 岁。患者均有明确颈部外伤史, 其中 6 例患者出现四肢麻木、无力等不同程度的脊髓神经损害表现。术前均行 X 线片、CT 及三维重建、MRI 等影像学检查明确诊断, 术前行颅骨牵引, 在全身麻醉下行后路寰枢椎椎弓根螺钉结合横联加压环抱内固定术。记录手术时间、出血量及并发症情况, JOA 评分法评估患者术前及术后 1 年时的神经功能状态。术后 1 周内、3 个月、半年及 1 年以上定期复查颈椎正侧位 X 线片, 评估内固定位置及骨折愈合情况。**结果:**所有患者均顺利完成手术, 术中无椎动脉、脊髓及神经根损伤发生, 术中 1 例出现静脉丛损伤, 经止血纱填塞, 出血得到控制, 未出现颅脑缺血症状。手术时间 80~140min, 平均 120.3 ± 10.5 min; 出血量 150~310ml, 平均 180.5 ± 30.5 ml。术前 JOA 评分 5~11 分, 平均 7.3 ± 0.5 分; 术后 1 年 JOA 评分 13~17 分, 平均 14.4 ± 0.3 分, 改善率为 76.5%~93.4%, 平均 $(86.5 \pm 0.9)\%$ 。所有患者寰椎骨折于术后 3~6 个月达骨性融合, 平均 3.3 ± 0.2 个月, 末次随访未发生螺钉移位、松动、断裂等内固定物相关并发症。**结论:**寰枢椎椎弓根螺钉结合横联加压环抱内固定术治疗不稳定性寰椎骨折, 具有骨折复位彻底、固定牢靠的特点, 是治疗不稳定性寰椎骨折的有效方法。

【关键词】寰枢关节; 寰椎骨折; 寰枢椎不稳; 骨折内固定

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.03.04

中图分类号: R683.2, R687.3 文献标识码 A 文章编号: 1004-406X(2019)-03-0213-07

Clinical study on atlantoaxial pedicle screw and crosslink compression for atlantoaxial fracture/YAN Tingfei, WANG Yuan, SHI Hongyang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(3): 213-219

【Abstract】 Objectives: To investigate the clinical effect of atlantoaxial vertebral pedicle screw and crosslink compression internal fixation in the treatment of atlas fracture and atlanto-axial instability. **Methods:** 14 patients with atlas fracture and atlantoaxial instability in our hospital from August 2013 to August 2017 were selected. There were 9 males and 5 females with an average age 43.1 ± 1.2 years old (range, 22 to 59). All patients had a clear history of neck trauma, including traffic injury in 8 cases, high falling injury in 5 cases and head injury in 1 case. All patients with clinical manifestations, such as different degrees of back pain, neck stiffness, flexion and rotation restricted movement, in which 6 patients had different level of spinal damage such as limb numbness and weakness. All patients had preoperative imaging examination, such as X-ray, CT, three-dimensional reconstruction and MRI, skull traction also was carried out in all patients. Atlantoaxial vertebral pedicle screw and crosslink compression was performed under general anesthesia. Posterior atlantoaxial pedicle screw combined with transverse compression embracing internal fixation were performed under general anesthesia. The operation time, bleeding volume and complications were recorded, JOA score was used to evaluate the neurological function of the patients before and at 1 year after operation. Periodic review was conducted within 1 week, 3 months, 6 months and more than 1 year after operation to understand the inter-

基金项目: 国家自然科学基金(81371252); 上海市卫生计生委科研项目(201840264)

第一作者简介: 男(1989-), 住院医师, 医学硕士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (021)81885637 E-mail: ytf.2011@aliyun.com

通讯作者: 史国栋 E-mail: shgd008@163.com

nal fixation and fracture healing. **Results:** All cases got adequate fracture reduction without the damage of vertebral artery, spinal cord and nerve root. Bleeding occurred in 1 case because of venous plexus injury and was staunching by gauze tamponade hemostasis, no symptoms of cerebral ischemia occurred. The operation time was 80–140 minutes, with an average of 120.3 ± 10.5 minutes, and the bleeding volume was 150–310 ml, with an average of 180.5 ± 30.5 ml. The JOA score was improved from preoperative $(7.3 \pm 0.5)/(5-11)$ points to $(14.4 \pm 0.3)/(13-17)$ points at one year after operation. The average improvement was $(86.5 \pm 0.9)\%/(76.5\%-93.4\%)$. Atlantoaxial vertebral graft got bony fusion in 3–6 months after operation, and all fractures were healed before the final follow-up without any occurrence of internal fixation loosening, broken screw or broken rod. **Conclusions:** The atlantoaxial vertebral pedicle screw and crosslink compression for treating atlas fracture and atlantoaxial instability has the following advantages: complete reduction of fracture and fixed firmly. It is an effective method for the treatment of atlantoaxial fracture combined with atlantoaxial instability.

[Key words] Atlantoaxial joint; Atlas fracture; Atlantoaxial instability; Internal fixation of fracture

[Author's address] Department of Spine Surgery, Changzheng Hospital, Second Military Medical University, Shanghai, 200003, China

寰椎位于颅颈交界区,是枕-寰-枢复合体最重要的一环,三者通过韧带及结缔组织连接,共同维持上颈椎三维运动的稳定性。近年来,随着交通业和经济建设的高速发展,由暴力因素引起的寰椎骨折特别是伴有横韧带损伤的不稳定性寰椎骨折逐年渐多^[1],骨折极易诱发寰枢关节脱位及脊髓损伤,严重情况下可在短时间内致患者死亡,因此应尽早恢复枕颈部解剖结构及颈椎稳定性。不稳定性寰椎骨折的治疗目前仍存在诸多争议,Halo 牵引固定耗时较长,难以长久维持复位,易发生 C1 骨不连、C1~C2 畸形并残留慢性颈痛等并发症^[2],因此对于不稳定性寰椎骨折多采用手术治疗。目前认为,手术治疗是解除压迫、重建颈椎稳定性的有效方法^[3]。

颈后路寰枢椎短节段椎弓根螺钉固定术可保留寰枕活动功能,是一种治疗不稳定性寰椎骨折的正确、有效的方法^[4]。然而该方法也存在骨折复位不佳、复位后缺乏足够稳定的力学维持等缺点。为获得骨折的满意复位,重建枕颈部的稳定,我们自 2013 年 8 月~2017 年 8 月对不稳定性寰椎骨折患者采用颈后路寰枢椎短节段椎弓根螺钉结合横联加压环抱内固定术治疗,均获得较为满意临床效果,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

经第二军医大学伦理委员会批准,收集 2013 年 8 月~2017 年 8 月我院收治的不稳定性寰椎骨折(图 1)患者 14 例,其中男 9 例,女 5 例;年龄

22~59 岁,平均 43.1 ± 1.2 岁。患者均有明确颈部外伤史,具体为交通伤 8 例,高处坠落伤 5 例,头部砸伤 1 例。本研究中患者均有不同程度的颈枕部疼痛、僵硬、屈伸旋转活动受限,其中 6 例患者出现四肢麻木、无力等不同程度的脊髓神经损害表现,2 例伴有喝水、进食有哽咽感。入院后常规行颈椎正位(张口位)、侧位 X 线片、CT 三维重建及 MRI 检查,影像学检查均提示不稳定性寰椎骨折,即寰齿间距 $>5\text{mm}$ 或寰椎两侧块向外分离移位距离之和 $>6.9\text{mm}$ 或寰椎前 1/4 骨折。患者术前均常规行颅骨牵引,牵引重量为 2.0~4.0kg,牵引时间 2~7d。寰椎骨折的治疗目前仍没有建立统一治疗标准或指导原则,多根据患者骨折类型、全身情况、经济条件和外科医生手术技巧而定。但对侧块分离较大的骨折或伴有横韧带断裂的患者(不稳定性骨折),由于这类患者寰枢椎之间稳定结构的破坏,则需要行后路 C1~C2 固定融合术。本研究中患者影像学提示不稳定性寰椎骨折,均给予横联加压。

1.2 手术方法

患者在全身麻醉下俯卧于石膏床上,颈部稍屈曲,保留颅骨牵引,对颈后部术区皮肤松弛或肥胖患者(8 例),采用 2~3 条弹力绷带从两肩部往下拉紧皮肤。取后正中切口,常规消毒铺巾,由枕骨隆突至 C3 棘突,长约 10cm。术中予以彻底止血,保持术野清晰。电刀沿棘突骨面切断韧带、肌肉等软组织,骨膜下剥离显露枕骨隆突下颅骨面至 C3。剥离时注意避免损伤后弓上缘的椎动脉和后弓下缘的 C2 神经根及伴行的椎静脉丛。由于

寰椎解剖变异性大,个体差异明显。进钉点应根据术前影像学检查,获取预置入螺钉的椎弓根三维定量解剖数据,包括椎管前后径、椎弓根高度、宽度、水平夹角等,确定椎弓根螺钉置入方法^[5]。尤其对于骨折并伴有移位的寰椎来说,寰椎椎弓根入钉点、入钉方向将更加不同于正常的解剖结构。因此,我们对每一次的寰椎椎弓根置钉,均采用个性化的“寰椎椎弓根显露置钉法”。具体方法如下:(1)沿寰椎后弓后下方,切开并紧贴骨膜剥离至旁开中线约 18~20mm;(2)用神经剥离子紧贴后弓下方骨膜剥离至后弓外缘与侧块的衔接部;(3)神经剥离子分别于后弓上下方轻柔牵开骨膜,牵开后弓上方的椎动脉、C1 神经根、静脉丛和后弓下方的静脉窦及 C2 神经根,充分显露置钉点区域,此时可直视寰椎椎弓根;(4)用带钩的神经剥离子探查寰椎椎弓根内缘的骨质,探查椎弓根的近端和远端以确定进钉的方向;(5)用高速磨钻对进钉点进行去皮质操作,用 1.5mm 的磨头扩钉道,深度约 10mm,确定椎弓根置钉的入点和大致方向,同时可以降低破出骨质的风险,然后依次以 2.0、

2.5mm 的磨头逐渐扩大钉道,深度可及 15mm。再用直径 3.0mm 攻丝处理钉道,拧入深度 22~25mm。由于丝攻难以突破骨皮质,同时利用丝攻螺纹对骨松质的切割作用,可以获得良好的置钉方向,保证置钉的安全顺利;(6)球探证实钉道完整后置入 3.5mm 的万向椎弓根螺钉。置钉完毕。

由于寰椎骨折伴有前后弓断裂后,可能导致侧块不稳,在置钉的过程中容易因为侧块骨质难以固定,出现置钉困难甚至失败。我们在手术中,采取齿直钳(柯克氏钳)临时固定浮动的侧块的方法,可以安全完成置钉的操作。最后选用长度合适的钛棒及横向连接杆,以复位钳在拧紧锁母的同时适当加压将寰椎后弓向内侧复位,螺钉锁紧横向连接杆(图 2)。同期行寰枢关节及后弓-枢椎椎板间植骨融合,植骨材料选用同种异体松质骨条或自体髂骨。留置引流管,缝合术口。

1.3 术后处理

根据患者具体情况给予雾化吸入、预防感染、减轻神经水肿、营养神经的等药物治疗,密切观察生命体征及四肢感觉、运动变化。术后严密观察引

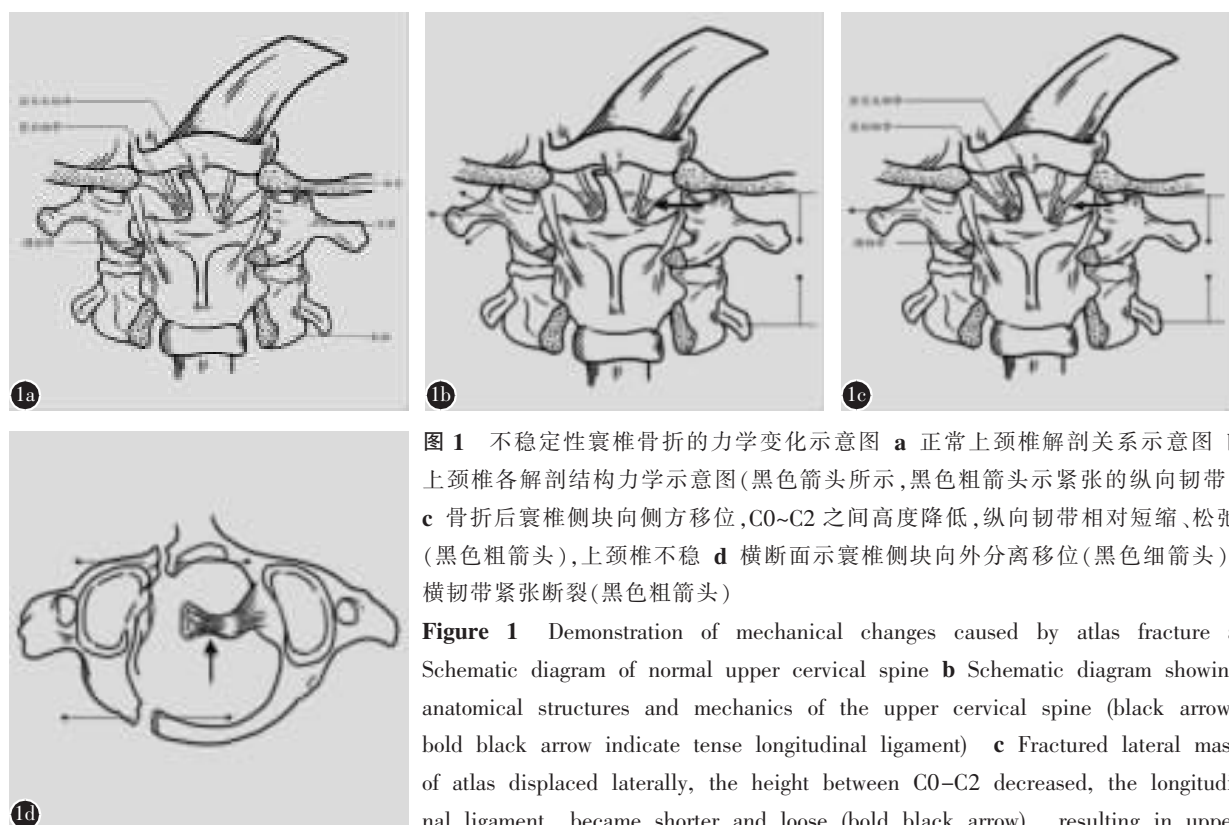


图 1 不稳定性寰椎骨折的力学变化示意图 a 正常上颈椎解剖关系示意图 b 上颈椎各解剖结构力学示意图(黑色箭头所示,黑色粗箭头示紧张的纵向韧带) c 骨折后寰椎侧块向侧方移位,C0~C2 之间高度降低,纵向韧带相对短缩、松弛(黑色粗箭头),上颈椎不稳 d 横断面示寰椎侧块向外分离移位(黑色细箭头),横韧带紧张断裂(黑色粗箭头)

Figure 1 Demonstration of mechanical changes caused by atlas fracture a Schematic diagram of normal upper cervical spine b Schematic diagram showing anatomical structures and mechanics of the upper cervical spine (black arrow, bold black arrow indicate tense longitudinal ligament) c Fractured lateral mass of atlas displaced laterally, the height between C0-C2 decreased, the longitudinal ligament became shorter and loose (bold black arrow), resulting in upper cervical instability d Transverse section showed the lateral mass of atlas dislocated outward (black arrow), with tension rupture of the transverse ligament tension rupture(bold black arrow)

流管引流量变化,一般术后 24~48h,引流量小于 30ml 拔出引流管。拔管后在颈托保护下下地活动。术后 12d 拆线,并摄颈椎正侧位 X 线片及 CT 检查,观察螺钉位置及内固定情况。

1.4 疗效评价

记录手术时间、出血量及并发症情况。通过以下方法评价术后疗效:(1)应用日本骨科学会(Japanese Orthopaedic Association,JOA)(17 分)评分法^[9]评估患者术前及术后 1 年时的神经功能状态,并计算神经功能改善率(rate of the improved JOA score,RIS)[(术后评分-术前评分)/(17-术前评分)×100%]评价术后神经功能改善情况。(2)术后 1 周内、3 个月、半年及 1 年以上定期进行颈椎正侧位 X 线片复查,必要时行动力位 X 线片了解寰枢椎复位及内固定情况,1 年后复查寰枢椎 CT 了解寰枢椎骨折愈合情况,骨折愈合的影像学表现为骨折边缘基本消失,骨折断端已完全连接,有大量高密度骨痂出现,密度接近正常骨。

2 结果

患者均顺利完成手术,术中无置钉失败而更

改手术方式。手术时间 80~140min,平均 120.3±10.5min;出血量 150~310ml,平均 180.5±30.5ml。14 例患者共置入螺钉 56 枚,1 例伤椎椎弓根螺钉偏内致椎弓根内侧皮质破裂,2 例枢椎椎弓根螺钉偏下,但无神经症状,未行特殊处理;1 例患者术中经寰枢椎交界区剥离时出现静脉丛出血,经止血纱布压迫后得以控制,未出现颅脑缺血症状;所有患者术中均未发生椎动脉及脊髓损伤。

14 例患者术后均获的长期随访,随访时间为 6~34 个月,平均 18.4±0.7 个月。根据 JOA 评分法评分,术前评分 5.0~11 分,平均 7.3±0.5 分;术后 1 年的 JOA 评分为 13~17 分,平均 14.4±0.3 分,改善率为 76.5%~93.4%,平均(86.5±0.9)%。术后 X 线片和 CT 显示,所有的患者具获得满意复位。以动力位 X 线片寰枢椎间无异常移位为寰枢椎稳定的标准,末次随访时均未见失稳现象。CT 示植骨块与寰椎后弓及枢椎椎板棘突间有连续骨小梁通过达到骨性融合。骨折于术后 3~6 个月多能达到骨性愈合,平均 3.3±0.2 个月,末次随访时未见螺钉移位、松动、断裂等内固定物相关并发症。典型病例见图 3。

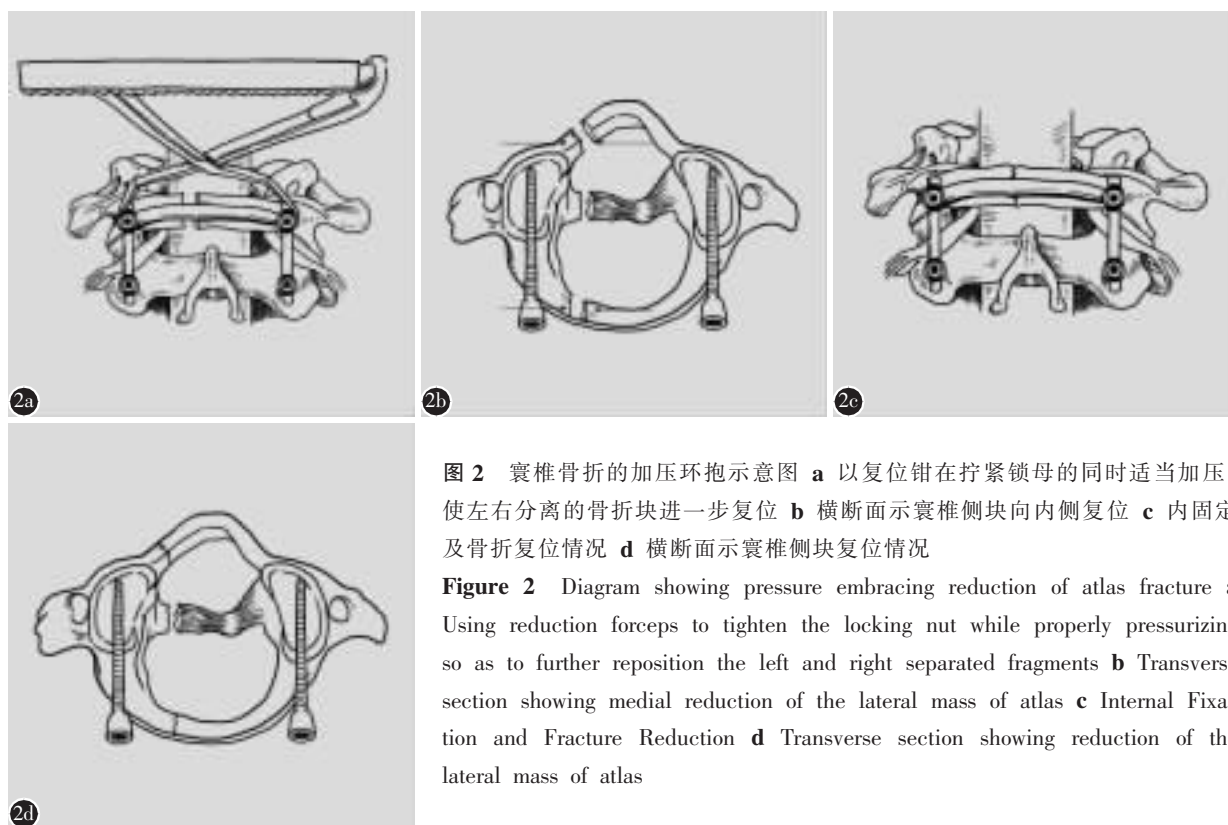


图 2 寰椎骨折的加压环抱示意图 a 以复位钳在拧紧锁母的同时适当加压,使左右分离的骨折块进一步复位 b 横断面示寰椎侧块向内复位 c 内固定及骨折复位情况 d 横断面示寰椎侧块复位情况

Figure 2 Diagram showing pressure embracing reduction of atlas fracture **a** Using reduction forceps to tighten the locking nut while properly pressurizing so as to further reposition the left and right separated fragments **b** Transverse section showing medial reduction of the lateral mass of atlas **c** Internal Fixation and Fracture Reduction **d** Transverse section showing reduction of the lateral mass of atlas

3 讨论

寰椎位于颅颈交界区,通过侧块分别与枕骨、枢椎形成寰枕和寰枢关节,三者通过韧带及结缔组织连接,共同维持上颈椎三维运动的稳定性^[7]。寰椎骨折约占枕颈部损伤的 25%,颈椎损伤的 3%~13%^[8],易致寰枢关节侧方及轴向旋转不稳,

发生高位颈脊髓急、慢性损伤进而危及患者生命。因此,应尽早恢复枕颈部解剖结构及颈椎稳定性。不稳定性寰椎骨折的治疗关键在于对寰椎横韧带完整性的判断,横韧带是维持寰枢关节稳定的主要韧带结构,当寰椎前弓和后弓同时发生断裂时,侧块发生分离,横韧带可能在过度的张力作用下

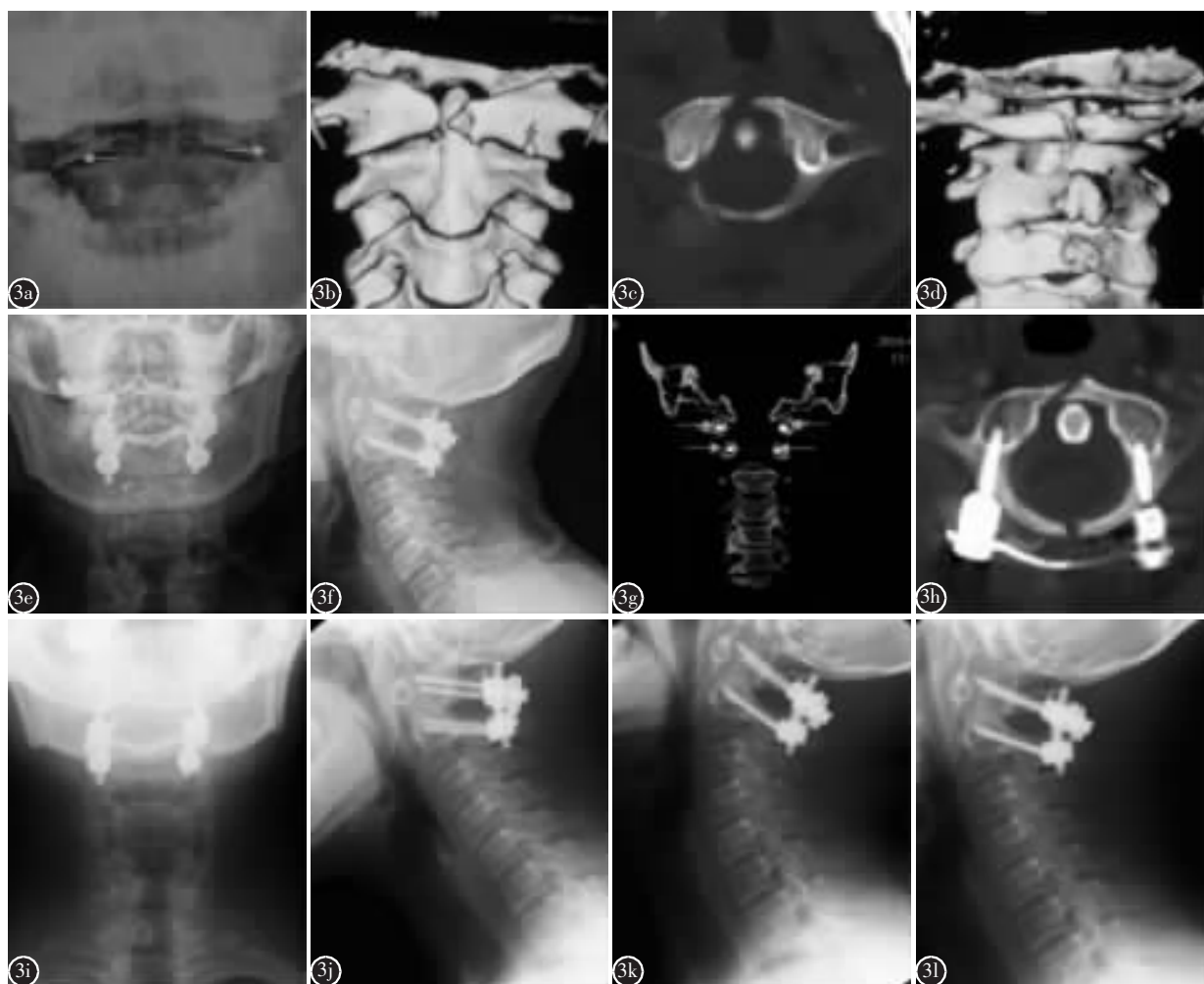


图 3 男性,43 岁,重物砸伤致颈部疼痛伴活动受限 **a** 术前颈椎开口位片示寰椎骨折、侧块向外分离移位 **b-d** 术前颈椎三维 CT 示寰椎前、后弓骨折,侧块向外分离移位 **e, f** 术后颈椎正侧位 X 线片示寰枢椎内固定位置良好 **g, h** 术后 1 周颈椎三维 CT 示寰椎置钉位置良好,骨折分离的侧块明显复位 **i-l** 术后 2 年颈椎正侧位片、过伸过屈位片提示寰椎置钉位置良好,未见明显松动及断裂,骨折愈合良好

Figure 3 43-year-old male with cervical pain caused by heavy object injury and movement limitation **a** Atlas fracture on the open-mouth cervical film before operation, showing lateral mass separation and displacement **b-d** Preoperative three-dimensional CT scan showing anterior and posterior arch fracture of atlas with lateral mass separation and displacement **e, f** Internal fixation position of atlas and axis on the lateral X-ray film after operation **g, h** Three-dimensional CT scan of cervical spine showed good atlas screw placement and obvious reduction of the fractured lateral mass one week after operation **i-l** Postoperative cervical spine radiographs and functional radiographs taken 2 years after operation indicated that atlas screw placement was in good position with complete bone healing and no obvious loosening or fracture was observed

发生断裂,影像学表现为寰齿间距 $>5\text{mm}$ 或者寰椎两侧块向外分离移位距离之和 $>6.9\text{mm}$,即为横韧带断裂的不稳定性骨折。另外,随着对不稳定性寰椎骨折认识的不断深入^[9],寰椎前 1/4 骨折,即使横韧带完整,此时前弓不能限制齿状突过度前移,寰椎可能向后脱位;同时韧带只能防止侧块发生过度的离心性分离移位,而不能控制以韧带附着点为支点的骨折块的旋转移位(即寰枢椎旋转性半脱位),此属于潜在的无横韧带损伤的不稳定性骨折。无论何种形式的寰椎不稳定性骨折,保守治疗多易出现 C1 骨不连、C1~C2 畸形并遗留慢性颈痛等并发症^[2],多数学者建议早期手术治疗。早期手术可解除脊髓的压迫、恢复寰枢椎的稳定性^[3],但选择何种手术方式尚无统一标准。

手术方式主要包括枕颈融合术和寰枢椎融合术两大类。枕颈融合术后,枕颈部的旋转和屈伸功能均完全丧失,且长节段固定加速了融合相邻节段的早期退变,临床远期效果欠佳^[9];而单纯寰枢椎短节段固定术最大限度地保留了颈椎的生理功能:术后枕颈部仍可保留 45° 左右旋转活动范围,以及大部分的屈伸功能^[10]。更加符合生物力学。

近年来随着对不稳定性寰椎骨折认识的不断加深,部分学者提出单纯寰椎侧块螺钉内固定治疗不稳定性寰椎骨折,取得了一定的效果^[11]。

寰椎骨折后,寰椎侧块的楔形结构将作用在侧块上的垂直压力转化为水平向外的离心性应力,致使寰椎侧块或前后弓骨折块向外分离移位,横韧带有可能在过度的张力作用下断裂;此时,C0~C2 之间高度降低,纵向韧带相对短缩、张力降低(松弛)而得以保留,造成上颈椎稳定性丧失。Haus 等^[12]应用颈围成功治疗 1 例横韧带损伤的不稳定寰椎骨折,认为残余的翼状韧带、尖韧带、关节囊、撕脱横韧带的愈合瘢痕足以维持寰枢椎的稳定性,无需手术干预。Li 等^[13]认为寰椎骨折生理功能的恢复不仅体现在骨折的复位,周围韧带功能状态的恢复对于维持颈椎的稳定和生理功能同样发挥着重要作用,因此不仅要实现骨折的复位,更重要是通过骨折的复位恢复寰枢椎和枕骨之间周围韧带的张力。Ruf 等^[14]经口咽复位固定分离的 C1 侧块治疗不稳定寰椎骨折,恢复寰枢关节及寰枢关节解剖关系,保留了寰枢的旋转活动度,术后未发生 C1~C2 不稳,进一步证实周围韧带功能状态对于维持颈椎的稳定和生理功能的重

要作用。Jo 等^[15]先后报道了后路单纯 C1 复位固定治疗不稳定性寰椎骨折,亦取得良好的疗效。进一步的生物力学证实单纯寰椎侧块螺钉固定恢复了 C0~C2 之间的高度,可维持生理载荷下寰枢椎的稳定性。这与一旦横韧带发生损伤,即可能发生 C1~C2 失稳,需要上颈椎融合的传统治疗观念完全相左,但对此仍缺乏明确的理论依据。

目前尚无颈椎固定螺钉在寰椎骨折应用的报道,无论是侧块螺钉还是椎弓根螺钉,本质都是万向螺钉,临床上我们发现无论寰枢椎椎弓根螺钉短节段固定还是单纯寰椎侧块螺钉固定治疗寰椎骨折,都无法实现骨折的完全复位,尤其是前弓的骨折断端的复位,恢复寰椎环形结构^[9];即使勉强复位,也很难给予足够稳定的力学维持;寰枢椎融合固定术忽视了恢复寰椎和枕骨之间的生理间隙,枕颈部复位不佳,不能完全地避免脊髓损伤的风险。

我们应用寰枢椎椎弓根短节段固定结合横联环抱加压法治疗不稳定性寰椎骨折,通过寰枢椎椎弓根螺钉加钛棒固定达到了万向钉向颈椎固定钉的功能转变,横联环抱加压实现了寰椎前后弓骨折的复位并提供可靠的维持力,恢复枕颈部的生理间隙,防止侧块向外侧移位造成 C0~C2 高度丢失,维持横韧带和翼状韧带的正常紧张度和生理张力;和寰椎侧块螺钉相比,椎弓根钉固定贯穿整个寰椎,充分利用了前中后三柱可固定的骨质,形成三维固定,稳定性好,是一种较为牢固的固定方式^[16],且寰枢椎椎弓根钉尾与枢椎椎弓根钉尾之间的距离更长,可使用更长的连接棒,便于安装横连,进一步增加了生物力学稳定性。与单纯寰椎侧块螺钉固定术相比,寰枢椎椎弓根螺钉短节段固定结合横联加压法牺牲了寰枢关节的部分活动度,但横连杆加压的应用使骨折进一步复位,增加内固定的强度,提高了寰枢关节的稳定性,有助于术后早期患者的康复与护理。本研究 14 例患者,保留了寰枢关节的活动度的同时,均获得良好的固定强度,无一例发生置钉并发症。寰枢椎椎弓根螺钉加横连杆的确能够提供更加稳定的生物力学,但增加了手术时间及手术费用,且多大的内固定强度最有利于寰椎骨性愈合尚缺乏研究。因此,临床还应根据患者情况选择合适的内固定,而不能一味追求内固定的强度。

综上所述,寰枢椎椎弓根螺钉结合横联加压

环抱内固定术治疗不稳定性寰椎骨折,能够有效重建寰椎环形结构的完整性,解剖复位 C0~C2 序列,恢复纵向韧带张力,对于寰椎骨折合并上颈椎不稳是一种安全有效的治疗方法。然而由于本组研究纳入的临床病例数较少,其远期疗效仍有待于进一步研究证实。

4 参考文献

1. Rihn JA, Winegar CD, Donaldson WF, et al. Recurrent atlantoaxial instability due to fracture of the posterior C1 ring: a late finding following posterior C1-C2 fusion using the Halifax clamp[J]. J Surg Orthop Adv, 2009, 18(1): 45-50.
2. Dvorak MF, Johnson MG, Boyd M, et al. Long-term health-related quality of life outcomes following Jefferson-type burst fractures of the atlas[J]. J Neurosurg Spine, 2005, 2(4): 411-417.
3. Wahers BC, Hadley MN, Hurlbert RJ, et al. Guidelines for the management of acute cervical spine and spinal cord injuries: 2013 update[J]. Neurosurgery, 2013, 60(Suppl 1): 82-91.
4. 高琪乐, 王昱翔, 胡雄科, 等. 改良寰椎侧块螺钉-枢椎椎弓根螺钉结合后方寰枢椎张力带固定治疗创伤性寰枢关节不稳[J]. 中华创伤杂志, 2014, 30(8): 778-781.
5. 移平, 谭明生. 寰椎椎弓根螺钉固定的解剖学基础及置钉技术[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(1): 89-94.
6. Shinichi H, Masatoshi N, Masabim K. Intraoperative measurements of nerve root blood flow during discectomy for lumbar disc herniation[J]. Spine, 2003, 28(1): 85-90.
7. 韩应超, 杨明杰, 潘杰, 等. 单纯寰椎侧块螺钉固定选择性治疗不稳定性寰椎骨折的生物力学分析 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(1): 68-73.
8. Kakarla UK, Chang SW, Theodore N, et al. Atlas fractures[J]. Neurosurgery, 2010, 66(3 Suppl): 60-67.
9. 陈卫, 丁真奇, 康两期, 等. 寰枢椎椎弓根螺钉固定治疗 Jefferson 骨折合并齿状突骨折[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(1): 50-54.
10. 王雷, 田纪伟, 柳超, 等. 椎弓根螺钉短节段固定治疗寰枢椎复合骨折[J]. 中华医学杂志, 2012, 92(11): 760-763.
11. 张岩, 韩应超, 李立钧, 等. 2 例后路寰椎侧块螺钉内固定治疗不稳定性寰椎骨折的远期疗效观察 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(2): 181-184.
12. Haus BM, Harris MB. Case report: nonoperative treatment of an unstable Jefferson fracture using a cervical collar[J]. Clin Orthop Relat Res, 2008, 466(5): 1257-1261.
13. Li L, Teng H, Pan J, et al. Direct posterior C1 lateral mass screws compression reduction and osteosynthesis in the treatment of unstable Jefferson fractures[J]. Spine, 2011, 36(15): E1046-1051.
14. Ruf M, Melcher R, Harms J. Transoral reduction and osteosynthesis C1 as a function-preserving option in the treatment of unstable Jefferson fractures[J]. Spine, 2004, 29(7): 823-827.
15. Jo KW, Park IS, Hong JT. Motion-preserving reduction and fixation of C1 Jefferson fracture using a C1 lateral mass screw construct[J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(5): 695-698.
16. 王守国, 赵庆华, 谢跃, 等. 寰枢椎椎弓根棒系统内固定融合术治疗寰枢椎结合性骨折[J]. 中华医学杂志, 2011, 91(31): 2172-2175.

(收稿日期:2018-09-19 末次修回日期:2019-02-24)

(英文编审 庄乾宇/贾丹彤)

(本文编辑 姜雅浩)