

## 寰椎骨折的研究进展

## Advancement of atlas fractures

韩应超, 李立钧, 谭 军

(同济大学附属东方医院脊柱外科 200120 上海市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.01.17

中图分类号: R683.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2013)-01-0077-04

寰椎骨折约占上颈椎损伤的 25%, 颈椎损伤的 3%~13%, 脊柱损伤的 1.3%~2%<sup>[1]</sup>。由于寰枢椎间无椎间盘, 关节囊薄弱, 韧带是稳定寰枢关节的主要结构。寰椎骨折合并横韧带断裂是不稳定的寰椎骨折, 危险性较高, 治疗难度大, 受到学者们的广泛关注。近年来, 对寰椎骨折的基础研究及临床诊治有较大的进展, 现就近年来的文献资料作一综述。

## 1 寰椎骨折的损伤机制及生物力学特点

寰椎位于枕骨与枢椎之间, 稳定性主要依靠枕-寰-枢间的韧带结构和覆膜共同维持。寰椎横韧带是枕颈部最厚、最强有力的韧带, 是维持寰枢关节稳定的最主要结构, 横韧带与寰椎前弓共同完成对枢椎齿状突的运动限制, 从而保持寰枢椎在生物力学上的稳定性。横韧带主要由胶原纤维构成, 弹力纤维含量较少, 胶原纤维在中央部以 30° 夹角相互交织成网, 这种组织结构特点决定了其刚度较高而弹性不足的力学特点<sup>[2-4]</sup>。翼状韧带为重要的限制韧带, 限制寰椎在枢椎上过度侧弯、旋转及防止侧方半脱位, 翼状韧带损伤时, 上颈椎的侧弯、屈曲运动范围增加。此外, 枕-寰-枢之间还有覆膜、齿状突尖韧带、关节囊、寰枕前膜、寰枕后膜、寰枕外侧韧带、寰枢前膜、寰枢后膜等结构来维持其稳定性。寰椎左右侧块较厚, 前后弓相对薄弱, 侧块与前后弓交界处较细, 骨质相对疏松, 是寰椎的薄弱部位, 最容易发生骨折。导致寰椎骨折的致伤暴力因素很多: 常见的有车祸伤、坠落伤等。一般认为寰椎骨折机制是暴力由颅骨向颈椎轴向传递, 作用在侧块上的垂直压力转化为水平向外应力, 导致寰椎前后弓与侧块连接处最薄弱的部位发生骨折和移位<sup>[5]</sup>。还有一些学者认为寰椎在承受载荷时, 前、后弓和侧块交界处存在扭力, 颈椎后伸时导致寰椎后弓矢状面上产生扭矩, 使后弓相对于侧块矢状面上发生弯曲, 造成骨折。寰椎侧块承受压力时, 沿冠状面发生旋转, 旋转的侧块与前弓间产生扭矩, 导致两者冠状面上发生弯曲造成骨折<sup>[6]</sup>。Gebauer 等<sup>[7]</sup>研究发现寰椎骨折的类型取决

于轴向应力的性质, 快速应力导致寰椎 2~4 部分爆裂骨折, 而低速应力多导致寰椎侧块骨折。有学者通过三维有限元模型来研究寰椎骨折的生物力学机制, 发现垂直作用于寰椎骨环的瞬间纵向暴力导致侧块或寰椎前后弓交界薄弱处发生骨折<sup>[7]</sup>。Teo 等<sup>[8]</sup>认为巨大的瞬间过伸张力作用于寰椎后弓的钩状结构同样可以造成寰椎骨折。

寰椎骨折常合并横韧带损伤, 寰椎爆裂性骨折, 侧块和前后弓骨折块分离移位可造成寰椎横韧带的损伤。横韧带致密, 坚韧无弹性, 可伸展度较小, 承受外力时可突然发生断裂。此外, 头部遭受屈曲暴力时, 受力点直接作用于横韧带, 齿状突对横韧带有一种剪切应力, 可造成横韧带的撕裂或者断裂, 寰枢椎伸屈性损伤常导致横韧带中部撕裂, 而寰椎的爆裂性骨折导致寰椎侧块移位, 从而造成横韧带附着处撕裂<sup>[2]</sup>, 两种损伤均造成寰枢椎不稳, 由于横韧带中部撕裂愈合较附着点处撕裂伤不同, 两种损伤的治疗方法也不尽相同。此外, 寰椎各韧带的损伤可单独存在, 并不一定伴有寰椎骨折。Travis 等<sup>[9]</sup>报道的 397 例颈椎过伸伤患者中有 85.6% 的患者存在上颈椎韧带的损伤, 而仅有 14.4% 的患者伴有上颈椎骨折。

## 2 寰椎骨折及横韧带损伤的分型

寰椎骨折分类对于明确损伤机制和选择正确的治疗方法具有重要意义, 但目前尚无统一的分型标准。临床常用的分型方法有 Levine 分型和 Landell 分型, Levine 根据骨折部位和移位情况将骨折分为三型: I 型, 寰椎后弓骨折, 由过伸和纵向暴力作用于枕髁和枢椎棘突之间, 形成相互挤压外力所致; II 型, 寰椎侧块骨折, 多发生在寰枢关节面的前后部; III 型, 寰椎前弓和后弓双骨折, 即典型的 Jefferson 骨折, 多系单纯垂直暴力作用的结果。Landell 分型同样将寰椎骨折分为三型: I 型, 孤立的前弓或后弓骨折, 骨折线不涉及侧块; II 型, 前后弓双骨折, 包括典型的 Jefferson 骨折; III 型, 主要为侧块骨折, 骨折线可延及前弓或后弓, 但不是同时累及。Dickman 等根据横韧带及骨性结构的损伤程度及范围将横韧带损伤分为两种类型: I 型, 横韧带断裂, 分为两个亚型, I a 型为韧带中部断裂, I b 型为附着部断裂; II 型, 寰椎侧块粉碎性骨折或寰

第一作者简介: 男(1988-), 硕士研究生在读, 研究方向: 脊柱外科  
电话: (021)38804518 E-mail: hycmed@163.com  
通讯作者: 李立钧 E-mail: liliju@163.com

椎侧块内结节撕脱性骨折,而横韧带本身无断裂。这两种损伤的类型均可造成寰枢椎不稳,但临床治疗方案不尽相同,明确分型对于诊疗方案的制订具有重要意义。

### 3 寰椎骨折及横韧带损伤的临床表现和诊断

寰椎骨折患者颈部旋转明显受限,咽后肿胀可导致吞咽困难。单纯寰椎骨折患者很少引起神经症状,若出现神经症状,最常累及的是枕大神经<sup>[10]</sup>。寰椎骨折侧块移位可造成椎动脉损伤,导致脑部缺血性意识障碍;压迫第 11 对脑神经可引起 Collet-Sicard 综合征<sup>[11]</sup>。约 40% 的寰椎骨折患者合并其他部位的骨折,如齿状突骨折等<sup>[12]</sup>。伴有横韧带损伤的患者临床表现主要取决于韧带损伤后寰椎脱位的程度以及是否造成脊髓压迫,轻者仅表现为局部症状,重者可因脊髓损伤而发生瘫痪,甚至呼吸困难导致死亡。

对于寰椎骨折后稳定程度的判断非常重要。许多学者把横韧带损伤程度作为寰枢椎稳定与否的衡量标准。在侧位 X 线片上测量寰齿前间隙(ADI)值以及在开口正位 X 线片上测量寰椎两侧块位移距离(LMD)值常作为重要的诊断依据。颈椎侧位 X 线片寰齿前间隙(ADI)在成人正常间距一般小于 3mm,大于 3mm 即考虑横韧带损伤。但也有学者认为若 ADI 大于 5mm 高度怀疑横韧带断裂,ADI 大于 10mm 高度怀疑寰椎横韧带及各纵向韧带均断裂<sup>[13]</sup>。由于 ADI 和 LMD 值会随搬动或复位过程而发生改变,X 线片并不能完全说明伤时的移位程度。CT 可显示寰椎侧块内缘撕脱性骨折,提示横韧带撕裂;平行寰椎后弓的薄层 CT 扫描可诊断儿童隐匿的 Jefferson 骨折。而 MRI 可直接显示横韧带的损伤程度和部位,并早期观察到脊髓损伤的程度,为诊断和治疗提供依据。

### 4 寰椎骨折的治疗

稳定的寰椎骨折大多数学者主张保守治疗,不稳定的寰椎骨折是否采取手术及采取何种手术方法尚存在一定的争议。无论何种治疗方法,寰椎骨折的治疗目的均是达到寰椎骨性愈合,维持枕-寰-枢的稳定性,防止进一步的神经创伤,减少后遗症。

#### 4.1 保守治疗

传统的保守治疗方法包括:持续颈椎牵引、头颈胸石膏固定、头颈支具(费城颈围)、Halo vest 支架等。Halo vest 外固定支架除制动作用外,还具有牵引功能,通过轴向牵引在一定程度上可实现对 C1 侧块分离移位的复位,但很难维持持久稳定的复位,当患者直立负重后,常发生复位的丢失,甚至可能使最初的侧块脱位再次发生,导致寰椎骨不连或者畸形愈合<sup>[14]</sup>。此外患者需佩戴外固定支架 8~12 周,患者难以忍受,长期而严格的卧床制动还可导致患者肺炎和血栓形成,钉道感染、头环脱落、螺钉穿入硬膜、皮肤溃疡等并发症时有发生<sup>[15]</sup>。虽然有文献报道应用 Halo-vest 或者颈围保守治疗成功<sup>[16,17]</sup>,但对于不稳定寰椎骨折

保守治疗可能导致 C1 骨不连,难以保证维持 C0-2 的良好序列,导致晚期的 C1-2 畸形,残留慢性颈痛等并发症,因而建议早期手术治疗<sup>[18,19]</sup>。总的来说,保守治疗仅适用于横韧带无损伤、寰枢关节稳定或轻微移位的骨折患者。

#### 4.2 手术治疗

手术治疗能够即刻矫正骨折脱位导致的畸形,解除脊髓和神经根的压迫,重建寰枢椎的稳定性,避免迟发性颈脊髓、神经损伤。对于不稳定的寰椎骨折、合并横韧带损伤或者其他骨折患者,早期手术是必要的。

传统的手术方式包括枕颈融合术和寰枢椎融合术。枕颈融合术的手术方法很多,传统的有大块燕尾形髂骨植骨法,枕骨瓣翻转+自体髂骨移植法等。枕颈融合术虽然能够恢复 C0-2 的序列,重建枕寰枢的稳定性,但是牺牲了颈椎大部分运动功能,严重影响患者生活质量,目前枕颈融合术仅建议对无法复位的陈旧性骨折、C1 侧块粉碎性骨折无法置钉、寰枢关节严重破坏的患者采用<sup>[20]</sup>。

临床上更多采用的是寰枢椎融合术。寰枢椎固定融合主要技术包括:钢丝或钛缆固定技术、椎板夹技术、经关节螺钉固定技术、寰枢椎侧块螺钉技术或者寰椎侧块螺钉、枢椎椎板螺钉技术等。钢丝固定技术常用的有 Gallie 法和 Brooks 法,钢丝固定法椎板下操作由于钢丝在椎管的行程较长,有损伤脊髓的风险,并且在控制旋转及水平移位上均不理想,同时易发生钢丝断裂、融合失败等并发症,故该类技术较多的是与其他固定方式联合使用。椎板夹技术由 2 枚平行放置的椎板钩组成,纵向加压后将 C1 后弓、植骨块和 C2 椎板连为一体,融合率达 80% 以上,椎板夹技术可降低损伤脊髓的风险,能较好地限制屈曲、平移及旋转活动,但该技术没有抗后伸作用,抗后伸的力量主要通过植骨块来实现,因此更多用于骨折继发性不稳与其他固定技术联合使用。Farey 等<sup>[21]</sup>首先系统报告经关节螺钉固定技术(Magerl 技术),用 2 枚直径 3.5mm 的皮质骨螺钉,分别固定两侧寰枢关节,C1-2 之间燕尾状植骨,钢丝固定。从生物力学角度讲,经关节的螺钉和后弓间的骨块与钢丝(钛缆)形成牢固的三点固定,融合率高达 86.9%~100%<sup>[22]</sup>。Magerl 技术可与椎板夹或钢丝技术联合使用。Guo 等<sup>[13]</sup>用椎板钩联合经关节螺钉治疗 12 例 Jefferson 骨折,该系统由 2 个挂钩、2 枚经关节螺钉、纵棒及横连接组成,随访结果显示,所有患者均植骨融合,未见内固定松动、断裂,无寰枢椎不稳,但该技术不适用于后弓双骨折的患者。Magerl 技术对术前复位要求较高,否则容易导致椎动脉损伤,因此强调进钉前对寰椎骨折进行充分复位,同时也可使螺钉尽可能多地穿过寰椎侧块。但在临床实践中仅有 81% 的患者能够实现 C1 骨折的完全复位<sup>[23]</sup>;而且解剖学研究表明有 23% 的患者存在椎动脉血管畸形或矢状面上螺钉置入角度不适合经关节螺钉技术<sup>[24]</sup>。Harms 等<sup>[25]</sup>首次报道寰枢椎侧块螺钉技术,经寰椎后弓下缘与侧块移行处沿矢状轴各置入一枚 3.5mm 的万向螺钉,联合枢椎椎弓根螺钉,用 3mm 纵棒连接,达到了良好的固定效果。

Tan 等<sup>[26]</sup>通过解剖学研究认为,椎动脉沟处的后弓宽度较大,具备螺钉置入条件,建议于寰椎后结节中点两侧 18~20mm 与后弓下缘向上 2mm 的交点处,垂直冠状面向头端倾斜 5°进钉,螺钉穿过后弓、后弓峡部到达侧块,并用该技术治疗 5 例患者,无神经血管损伤。文献报道寰椎侧块螺钉固定系统和 Magerl 技术相比,具有相同的生物力学特性,能够有效对抗枕颈部屈伸、侧弯、旋转及平移应力,具有较大的抗拔出力量<sup>[27]</sup>。Ringel 等<sup>[23]</sup>报道 C1 侧块螺钉结合 C2 椎弓根螺钉治疗 35 例寰椎骨折患者,取得良好效果,无并发症发生。Tan 等<sup>[28]</sup>应用 C1 侧块螺钉+C2 椎弓根螺钉+横连接加压技术治疗 17 例不稳定的寰椎骨折,术后随访 3 个月,X 线显示均达到骨性愈合,无明显不稳。认为通过横连接加压技术能够增加内固定的强度,实现解剖复位,并获得可靠的稳定性维持。但寰椎融合固定术也存在一定不足:①造成 C1~C2 旋转功能丧失;②某些复杂骨折(如伴随寰椎后弓单、双侧骨折)无法实现坚强固定;③难以对寰椎骨折进行复位,因此往往导致寰椎固定在非正常的位置,影响 C0~C1 关节的功能。总的来说寰椎融合术主要适合寰椎爆裂骨折合并有横韧带损伤、合并齿状突骨折或 Hangman 骨折、合并神经损伤以及潜在寰椎不稳的骨折,伴有持续性脱位及不稳的寰椎骨折患者,是目前寰椎骨折以及横韧带损伤的首选手术方法。

无论是枕颈融合,还是寰椎融合,均以牺牲上颈椎的生理运动功能为代价,尤其是旋转功能。近年来陆续有学者报道单纯复位固定 C1 治疗寰椎骨折取得成功,没有出现 C1-2 矢状面上的失稳,C1-2 运动功能又得以保留。Ruf 等<sup>[29]</sup>报道经口咽复位 C1,并行钢板或钉棒固定治疗 6 例伴横韧带损伤的不稳定寰椎骨折,术后颈椎序列维持良好,颈部保留正常运动功能。胡勇等<sup>[30]</sup>提出经口咽入路采用 C1 侧块螺钉固定钢板重建寰椎前环治疗不稳定性寰椎骨折,既可保留 C1-C2 关节的旋转运动功能,同时又恢复了寰枕关节和寰枢关节的协调运动。胡勇等<sup>[31]</sup>还设计了可吸收寰椎前弓钢板经口入路手术来治疗寰椎骨折,待骨折端骨性愈合后,板体和螺钉在体内可以被人体自动吸收,继而避免了二次手术取出钢板的痛苦,而且还节省了手术费用及医药卫生资源。但是经口咽入路手术的并发症发生率较高,如感染、脑脊液漏、脑膜炎、神经损伤等<sup>[18]</sup>。因此更多学者选择后路单纯 C1 侧块螺钉复位固定治疗寰椎骨折,并陆续进行了相关病例的报道<sup>[14,32-34]</sup>,取得了满意疗效,C1-2 间稳定性良好,保留了寰椎正常的生理功能,无颈部僵硬、疼痛等症状。Koller 等<sup>[2]</sup>对伴横韧带和单侧关节囊损伤的不稳定寰椎骨折的新鲜尸体标本用单纯 C1 侧块螺钉进行复位固定,生物力学测试证实,生理载荷下 C1-2 稳定性得以有效重建。徐荣明等<sup>[35]</sup>认为在严格选择适应证的前提下,如孤立的寰椎后 3/4 Jefferson 骨折、半环 Jefferson 骨折等,寰椎后路钉棒系统有限内固定是治疗寰椎不稳定性骨折的较好方法,能较好地保留枕颈部活动功能。Wang 等<sup>[36]</sup>首次提出经内窥镜手术治疗单纯的寰椎

前弓骨折,术后效果良好,但该手术方法对其他类型的寰椎骨折治疗有一定的局限性。Li 等<sup>[14]</sup>对单纯寰椎骨折提出了“浮标假说”理论,指出 C0-2 间韧带系统可以区分为纵行纤维和横行纤维,纵行纤维包括翼状韧带、覆膜、十字韧带纵束、尖韧带;横行纤维包括横韧带(十字韧带横束)。当寰椎承受轴向暴力,前后弓与侧块交界部发生骨折,侧块向外侧移位,横行韧带发生断裂,而 C0-2 间的纵行韧带由于相对短缩多得以保留。因此,对 C1 侧块进行有效复位,不仅可以恢复 C0-1、C1-2 解剖序列,而且能够恢复 C0-C2 间的正常高度,即恢复 C0-C2 之间纵行韧带的张力,纵行韧带的张力或许能够提供有效维持生理载荷状态下 C1-2 的稳定性。Haus 等<sup>[16]</sup>也认为残余的翼状韧带、关节囊、撕脱横韧带的瘢痕足以提供骨折愈合的早期稳定性,而无需 C1-2 融合。单纯复位固定 C1 治疗不稳定寰椎骨折颠覆了寰椎融合或颈枕融合的传统治疗理念,生理性修复 C1 使上颈椎的运动功能得以保留,但目前尚缺乏确切的理论依据。因此,单纯 C1 复位固定治疗寰椎骨折的前提应该是:上颈椎纵向韧带无断裂;枕寰、寰枢关节无明显脱位、无明显不稳定。另外,单纯 C1 复位固定治疗寰椎不稳合并横韧带损伤的寰椎骨折的临床效果尚需进一步观察,对该术式的适应证、禁忌证仍有待进一步探讨和明确。

保留上颈椎的运动功能,生理性修复寰椎损伤是最理想的治疗方案。随着对寰椎损伤的深入研究,对上颈椎损伤生物力学机制更深刻的理解,针对不同类型的寰椎骨折采用合理的个性化治疗方案,以及制订完善的康复训练计划,将进一步提高寰椎损伤的治疗效果。

## 5 参考文献

- Kakarla U, Steve WC, Theodore N, et al. Atlas fractures[J]. Neurosurgery, 2010, 66(3): 60-67.
- Koller H, Resch H, Tauber M, et al. A biomechanical rationale for C1-ring osteosynthesis as treatment for displaced Jefferson burst fractures with incompetency of the transverse atlantal ligament[J]. Eur Spine, 2010, 19(8): 1288-1298.
- Debernardi A, Aliberti G, Talamonti G, et al. The craniovertebral junction area and the role of the ligaments and membranes[J]. Neurosurgery, 2011, 68(2): 291-301.
- Gebauer M, Goetzen N, Barvencik F, et al. Biomechanical analysis of atlas fractures: a study on 40 human atlas specimens[J]. Spine, 2008, 33(7): 766-770.
- Ivancic PC. Atlas injury mechanisms during head-first impact [J]. Spine, 2012, 37(12): 1022-1029.
- Ushiroyama T, Sakuma K, Ueki M. Efficacy of the kampo medicine xiong-gui-tiao-xue-yin(kyuki-chouketsu-in), a traditional herbal medicine, in the treatment of maternity blues syndrome in the postpartum period[J]. Am J Chin Med, 2005, 33(1): 117-126.
- Sasaka KK, Decker GT, Khoury GY, et al. Axial loading with

- hyperflexion injury to the atlas resulting in crushed lateral masses [J]. *Emerg Radiol*, 2006, 12(6): 274-277.
8. Teo EC, Ng HW. First cervical vertebra(atlas) fracture mechanism studies using finite element method[J]. *Biomech*, 2001, 34(1): 13-21.
  9. Travis G. Maak, BS, Yasuhiro T, et al. Alar, transverse, and apical ligament strain due to head-turned rear impact [J]. *Spine*, 2006, 31(6): 632-638.
  10. Kaiser DR, Ciarpaglini R, Maestretti G, et al. An uncommon C1 fracture with longitudinal split of the transverse ligament [J]. *Eur Spine*, 2012, 21(Suppl 4): 471-474.
  11. Brendon C, Clayton T, John D, et al. Jefferson fracture resulting in Collet-Sicard syndrome[J]. *Spine*, 2000, 25(3): 395-398.
  12. Abeloos L, Olivier DE, Walsdorff M, et al. Posterior osteosynthesis of the atlas for nonconsolidated Jefferson fractures: a new surgical technique[J]. *Spine*, 2011, 36(20): 1360-1363.
  13. Guo X, Ni B, Wang MF, et al. Mingfei W, et al. Bilateral atlas laminar hook combined with transarticular screw fixation for an unstable bursting atlantal fracture [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2009, 129(9): 1203-1209.
  14. Li L, Teng HL, Jie P, et al. Direct posterior c1 lateral mass screws compression reduction and osteosynthesis in the treatment of unstable jefferson fractures[J]. *Spine*, 2011, 36(15): 1046-1051.
  15. Tessitore E, Momjian A, Payer M, et al. Posterior reduction and fixation of an unstable Jefferson fracture with C1 lateral mass screws, C2 isthmus screws, and crosslink fixation: technical case report[J]. *Neurosurgery*, 2008, 63(1 Suppl 1): 102-103.
  16. Haus BM, Harris MB, Mitchel B, et al. Case report: nonoperative treatment of an unstable Jefferson fracture using a cervical collar[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2008, 466: 1257-1261.
  17. Inaoka T, Ohashi K, El-Khoury G, et al. A single fracture in the atlas ring: report of two cases and a review of the literature[J]. *Emerg Radiol*, 2007, 14(3): 191-194.
  18. Bransford R, Falicov A, Nguyen Q, et al. Unilateral C-1 lateral mass sagittal split fracture: an unstable Jefferson fracture variant[J]. *Neurosurg Spine*, 2009, 10(5): 466-473.
  19. Dvorak M, Johnson M, Boyd M et al. Long-term health-related quality of life outcomes following Jefferson-type burst fractures of the atlas[J]. *Neurosurg Spine*, 2005, 2(4): 411-417.
  20. Koller H, Kammermeier V, Ulbricht D, et al. Anterior retropharyngeal fixation C1-2 for stabilization of atlantoaxial instabilities: study of feasibility, technical description and preliminary results[J]. *Eur Spine*, 2006, 15(9): 1326-1338.
  21. Farey ID, Nadkarni S, Smith N, et al. Modified Gallie technique versus transarticular screw fixation in C1-C2 fusion[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1999, 359: 126-135.
  22. Wang C, Yan M, Zhou HT, et al. Atlantoaxial transarticular screw fixation with morselized autograft and without additional internal fixation: technical description and report of 57 cases[J]. *Spine*, 2007, 32(6): 643-646.
  23. Ringel F, Reinke A, Stürer C, et al. Posterior C1-2 fusion with C1 lateral mass and C2 isthmus screws: accuracy of screw position, alignment and patient outcome [J]. *Acta Neurochir*, 2012, 154(2): 305-312.
  24. Sim HB, Lee JW, Park JT, et al. Biomechanical evaluations of various C1-C2 posterior fixation techniques [J]. *Spine*, 2011, 36(6): E401-407.
  25. Harms J, Melcher R, Goel A, et al. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation[J]. *Spine*, 2001, 26(22): 2467-2471.
  26. Tan M, Wang H, Wang Y, et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass[J]. *Spine*, 2003, 28(9): 888-895.
  27. Ma XY, Yin QS, Wu ZH, et al. C1 pedicle screws versus C1 lateral mass screws: comparisons of pullout strengths and biomechanical stabilities[J]. *Spine*, 2009, 34(4): 371-377.
  28. Tan J, Li LJ, Sun GX, et al. C1 lateral mass-C2 pedicle screws and crosslink compression fixation for unstable atlas fracture[J]. *Spine*, 2009, 34(23): 2505-2509.
  29. Ruf M, Melcher R, Harms J, et al. Transoral reduction and osteosynthesis C1 as a function-preserving option in the treatment of unstable Jefferson fractures[J]. *Spine*, 2004, 29(7): 823-827.
  30. 胡勇, 马维虎, 顾勇杰, 等. 经口咽入路内固定治疗孤立性寰椎骨折临床疗效分析[J]. *脊柱外科杂志*, 2011, 9(3): 131-134.
  31. 胡勇, 徐荣明, 马维虎, 等. 寰椎定量解剖研究及仿生寰椎前弓钢板的研制[J]. *中国骨伤杂志*, 2008, 21(12): 907-909.
  32. Jo KW, Park IS, Hong JT, et al. Motion-preserving reduction and fixation of C1 Jefferson fracture using a C1 lateral mass screw construct [J]. *Clin Neurosci*, 2011, 18(5): 695-698.
  33. Bohm H, Kayser R, Saghir H, et al. Direct osteosynthesis of unstable atlas fractures [J]. *Unfallch*, 2006, 109: 754-760.
  34. Bransford R, Chapman JR, Bellabarba C, et al. Primary internal fixation of unilateral C1 lateral mass sagittal split fractures: a series of 3 cases [J]. *Spinal Disord Tech*, 2011, 24(3): 157-163.
  35. 徐荣明, 赵红勇, 胡勇, 等. 后路寰椎有限内固定治疗寰椎不稳定性骨折[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2012, 22(2): 118-122.
  36. Wang J, Zhou Y, Zhang ZF, et al. Direct repair of displaced anterior arch fracture of the atlas under microendoscopy: experience with seven patients[J]. *Eur Spine*, 2012, 21(2): 347-351.

(收稿日期:2012-07-12 末次修回日期:2012-09-13)

(本文编辑 卢庆霞)