

基于术中三维影像的经皮枢椎椎弓根螺钉内固定治疗 Hangman 骨折

保国锋[△], 陈佳佳[△], 李卫东, 徐冠华, 孙郁雨, 崔志明*

南通大学第二附属医院脊柱外科, 南通 226001

【摘要】目的 探讨基于术中三维影像的经皮枢椎椎弓根螺钉内固定治疗 Hangman 骨折的精准性和可行性。**方法** 2015年11月—2016年11月, 在O形臂X线机引导下采用经皮椎弓根螺钉内固定治疗 Hangman 骨折患者12例(微创组), 其中4例行单侧C₂椎弓根螺钉内固定, 8例行双侧C₂椎弓根螺钉内固定; 同期在C形臂X线机引导下开放手术治疗 Hangman 骨折患者10例(开放组), 均行C₂椎弓根螺钉和C₃侧块螺钉内固定植骨融合术。记录手术时间、术中辐射剂量、出血量、螺钉精准度、术中和术后6个月颈部疼痛视觉模拟量表(VAS)评分及颈椎功能障碍指数(NDI)。**结果** 所有手术顺利完成, 所有患者随访>6个月。微创组手术时间及术中出血量均低于开放组, 但术中透视辐射剂量明显高于开放组, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。微创组术后6个月VAS评分及NDI均优于开放组, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。2组共置入螺钉60枚, 其中C₂椎弓根螺钉40枚, C₃侧块螺钉20枚, 均无螺钉相关的神经、血管损伤。术后1级螺钉, 微创组有85%(17/20), 开放组有80%(32/40), 组间比较差异无统计学意义($P>0.05$), 且2组均无3级螺钉。**结论** 联合微创和术中三维成像技术, 可以安全精准地治疗 Hangman 骨折, 并可降低软组织剥离损伤和术中出血量, 可以作为 Hangman 骨折微创治疗的选择之一。

【关键词】 颈椎; 脊柱骨折; 脊柱融合术; 内固定器; 外科手术, 微创性

【中图分类号】 R 683.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-2957(2019)04-0230-05

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.04.002

Percutaneous minimally invasive axial pedicle screw fixation for Hangman's fracture based on intraoperative three-dimensional fluoroscopy

BAO Guo-feng[△], CHEN Jia-jia[△], LI Wei-dong, XU Guan-hua, SUN Yu-yu, CUI Zhi-ming*

Department of Spinal Surgery, Second Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, Jiangsu, China

【Abstract】Objective To investigate the accuracy and feasibility of percutaneous minimally invasive axial pedicle screw fixation based on three-dimensional intraoperative fluoroscopy in the treatment of Hangman's fracture. **Methods** From November 2015 to November 2016, 12 patients with Hangman's fracture were treated with percutaneous minimally invasive pedicle screw fixation under the guidance of O-arm X-ray machine (minimally invasive group), of whom 4 underwent unilateral C₂ pedicle screw fixation and 8 bilateral C₂ pedicle screw fixation. In the same period, 10 patients with Hangman's fracture were treated with open surgery under the guidance of C-arm X-ray machine (open group), and all the patients underwent C₂ pedicle screw and C₃ lateral mass screw internal fixation and bone graft fusion. The operation time, intraoperative radiation dose, blood loss, screw accuracy, cervical pain visual analogue scale (VAS) score and neck disability index (NDI) at pre-operation and postoperative 6 months were recorded. **Results** All the operations were successfully completed and all the patients were followed up for more than 6 months. The operation time and blood loss in the minimally invasive group were lower than those in the open group, but the intraoperative fluoroscopy radiation dose was significantly higher than that in the open group, and the

基金项目: 中国博士后科学基金面上资助(2017M611885);
江苏省“六个一工程”拔尖人才科研项目(LYG2017038);
江苏省青年医学重点人才项目(QNRC2016410);
南通市科技项目(MS32017014)

△共同第一作者

作者简介: 保国锋(1979—), 博士, 副主任医师; baodianone@163.com
陈佳佳(1987—), 博士在读, 主治医师;
cjj05170418@126.com

***通信作者:** 崔志明 czmspine@163.com

differences were statistically significant ($P < 0.05$). The VAS score and NDI at postoperative 6 months of the minimally invasive group were better than those of the open group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). There were 60 screw implants in the 2 groups, including 40 C₂ pedicle screw and 20 C₃ lateral mass screw. There were no screw-related nerve and blood vessel injuries. There was 85% (17/20) grade 1 screw in the minimally invasive group and 80% (32/40) in the open group, without significant difference ($P > 0.05$), and there was no grade 3 screw in both groups. **Conclusion** The combination of minimally invasive and intraoperative three-dimensional imaging technology can safely and accurately treat Hangman's fracture with minimal soft tissue dissection and blood loss, thus can be used as one of the minimally invasive treatment options for Hangman's fracture.

【Key Words】 Cervical vertebrae; Spinal fractures; Spinal fusion; Internal fixators; Surgical procedures, minimally invasive
J Spinal Surg, 2019, 17(4): 230-234

Hangman骨折是由枢椎过伸性损伤引起的枢椎双侧椎弓根、峡部、关节突甚至椎体后缘骨折,亦称为枢椎创伤性滑脱,占颈椎骨折的3%~8%。Levine和Edwards将其分为I、II、IIa及III型^[1]。对于II型及部分IIa型骨折,可能不涉及到C₂/C₃椎间盘的破坏,根据Hangman骨折的发生机制,最符合生理的治疗方法为使用拉力螺钉压缩复位并固定枢椎椎弓根螺钉以达到椎弓根和/或椎体后缘的骨折线而不牺牲C₂/C₃运动功能。枢椎椎弓根螺钉固定,因可供置钉区域狭小、变异大、骨折碎片干扰、重要神经血管包绕等因素,即使开放手术,操作难度亦较大^[2]。

随着术中三维CT的出现,术中解剖结构的三维可视,为枢椎椎弓根置钉操作提供了高精度度。本院2015年11月—2016年11月,在O形臂X线机引导下采用经皮椎弓根螺钉内固定治疗Hangman骨折患者12例,探讨其可行性及临床疗效,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准: Hangman骨折Levine-Edwards分型为II型及IIa型;手术前后颈椎正侧位、过伸过屈侧位X线片、CT和MRI影像学资料完整。排除标准:既往后路上颈椎手术史;术前CT扫描C_{2,3}椎弓根及侧块异常(椎动脉高跨、狭窄或其他畸形)。

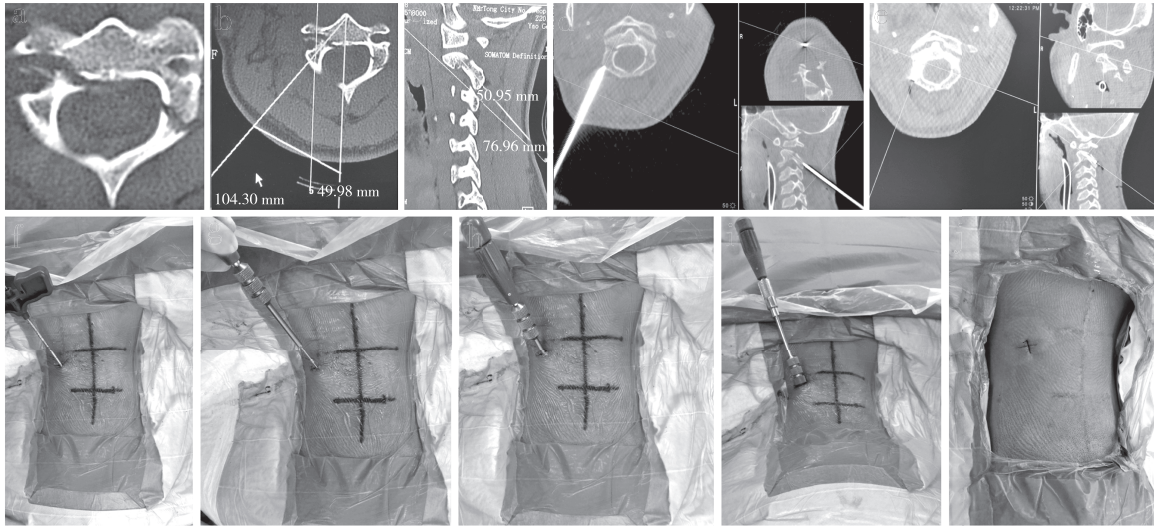
按照上述标准,共纳入患者22例,其中男14例,女8例;年龄22~56岁,平均32.4岁。12例在O形臂X线机引导下采用经皮椎弓根螺钉内固定治疗(微创组),其中4例行单侧C₂椎弓根螺钉内固定,8例行双侧C₂椎弓根螺钉内固定;10例在C形臂X线机引导下行开放手术(开放组),均行C₂椎弓根螺钉和C₃侧块螺钉内固定植骨融合术。微创组男7例,女5例;年龄22~48岁,平均30.8岁;神经功能美国脊髓损伤协会(ASIA)分级^[3]E级11例,D

级1例;均为Levine-Edwards II型;合并寰椎后弓骨折1例,枢椎椎体前缘骨折1例,Jefferson骨折1例,颅脑硬膜外血肿1例;受伤至手术时间3~12 d,平均5.2 d。开放组男7例,女3例;年龄25~56岁,平均34.2岁;神经功能ASIA分级E级9例,D级1例;Levine-Edwards II型4例,IIa型6例;合并寰椎后弓骨折1例,枢椎椎体前缘骨折1例,颅脑硬膜外血肿2例;受伤至手术时间3~11 d,平均5.0 d。2组患者术前一般情况差异无统计学意义,具有可比性。

1.2 手术方法

微创组根据术前手术设计,对枢椎椎弓根按照沿C₂椎弓根纵轴分别进行左、右侧三维重建,精确测量椎弓根长度,椎板皮质至骨折线距离,椎弓根内倾角、头倾角,皮肤切口至中线距离和至C₂棘突距离^[4](图1)。患者全身麻醉成功后,俯卧于碳纤维手术床(Jackson床),调整Mayfield头架,O形臂X线机三维透视(Medtronic,美国)观察,使C₂椎弓根骨折尽可能解剖复位。常规消毒、铺巾、盖单,贴一次性皮肤保护膜。根据术前CT精确测量,初步计算出C₂椎弓根螺钉旁开和尾开的距离和穿刺角度,皮肤切开1 cm,使用穿刺针(椎体成形系统穿刺针,头部锯齿状,便于临时锚定在椎板上)穿刺至椎弓根进针处,术中再次在O形臂X线机定位下调整穿刺针并确定C₂椎弓根进针位置、角度和深度,插入引针,拔出穿刺针,沿引针拧入合适长度的Hebert中空拉力松质骨螺钉,加压固定,透视确认螺钉位置良好、骨折线缩小后拔除引针,注意双侧交替收紧螺钉。所有穿刺、更换套筒和置钉过程中均采用O形臂X线机三维CT透视确认穿刺针和螺钉位置,与横突孔和椎管内壁保持安全距离。

开放组患者全身麻醉,在C形臂X线机(Philips,荷兰)引导下行C₂椎弓根螺钉和C₃侧块螺钉内固定植骨融合术,植骨材料选用髂后上棘所取的自体松质骨。



a: 术前CT示右侧C₂椎弓骨折, 左侧椎板骨折 b: 术前测量进针点旁开距离及内倾角度 c: 头倾角度及距离 d: 术中三维透视提示进针点角度和位置良好 e: 螺钉拧入后位置良好 f: 穿刺点 g: 沿导针准备拧入Herbert螺钉 h: 拧入螺钉 i: 螺钉埋头并加压 j: 术后切口
 a: Preoperative CT shows right axel arch and left lamina fracture b: Pre-measurement of needle's insertion distance and introversion angle before surgery c: Pre-measurement of needle's head tilting angle and distance d: Intraoperative three-dimensional perspective prompts that needle point angle and position is good e: Good screw position in pedicle f: Puncture point position g: Preparing Herbert screw along guide pin h: Insert screw into pedicle i: Screw countersunk and pressurized j: Postoperative incision

图1 微创手术规划及操作流程

Fig. 1 Minimally invasive surgical planning and operative process

1.3 疗效评价及统计学分析

采用SPSS 16.0软件对2组手术时间、术中辐射剂量、出血量、术前和术后6个月颈部疼痛视觉模拟量表(VAS)评分^[5]及颈椎功能障碍指数(NDI)^[6]进行独立样本t检验。螺钉精准度(1级: 完全在椎弓根内; 2级: 突破椎弓根≤2 mm; 3级: 突破椎弓根>2 mm)采用Fisher精确概率检验比较; 以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结 果

所有手术顺利完成, 所有患者随访>6个月。微创组患者骨折线均在术后6~9个月愈合。微创组手术时间及术中出血量均低于开放组, 但术中透视辐射剂量明显高于开放组, 差异均有统计学意义

(P<0.05, 表1)。2组术后VAS评分及NDI与术前相比均显著改善, 差异均有统计学意义(P<0.05, 表2); 微创组术后VAS评分及NDI均优于开放组, 差异均有统计学意义(P<0.05, 表2)。2组共置入螺钉60枚, 其中C₂椎弓根螺钉40枚, C₃侧块螺钉20枚, 均无螺钉相关的神经、血管损伤。术后1级螺钉, 微创组有85%(17/20), 开放组有80%(32/40), 组间比较差异无统计学意义(P>0.05), 且2组均无3级螺钉。微创组1例术后出现鹅颈畸形, 给予牵引及佩戴头颈胸支具后逐步好转。开放组出现1例浅层切口感染, 通过换药和抗感染后治愈; 2例出现颈部慢性疼痛, 经针灸理疗及颈部肌肉锻炼后缓解, 但仍需间断服用镇痛药物。微创组典型病例影像学资料见图2。

表1 手术情况

Tab. 1 Surgical conditions

| 组别 Group | n | 手术时间/min Operation time/min | 出血量/mL Blood loss/mL | 1级螺钉率(%) Rate of grade 1 screw(%) | 术中辐射剂量/mGy Intraoperative radiation dose/mGy |
|--------------------------|----|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| 开放 Open | 10 | 159.3 ± 30.8 | 269.0 ± 121.4 | 80 | 2.4 ± 0.6 |
| 微创 Minimally invasive | 12 | 84.2 ± 8.9* | 46.9 ± 5.8* | 85 | 38.6 ± 3.6* |

注: *与开放组相比, P<0.05

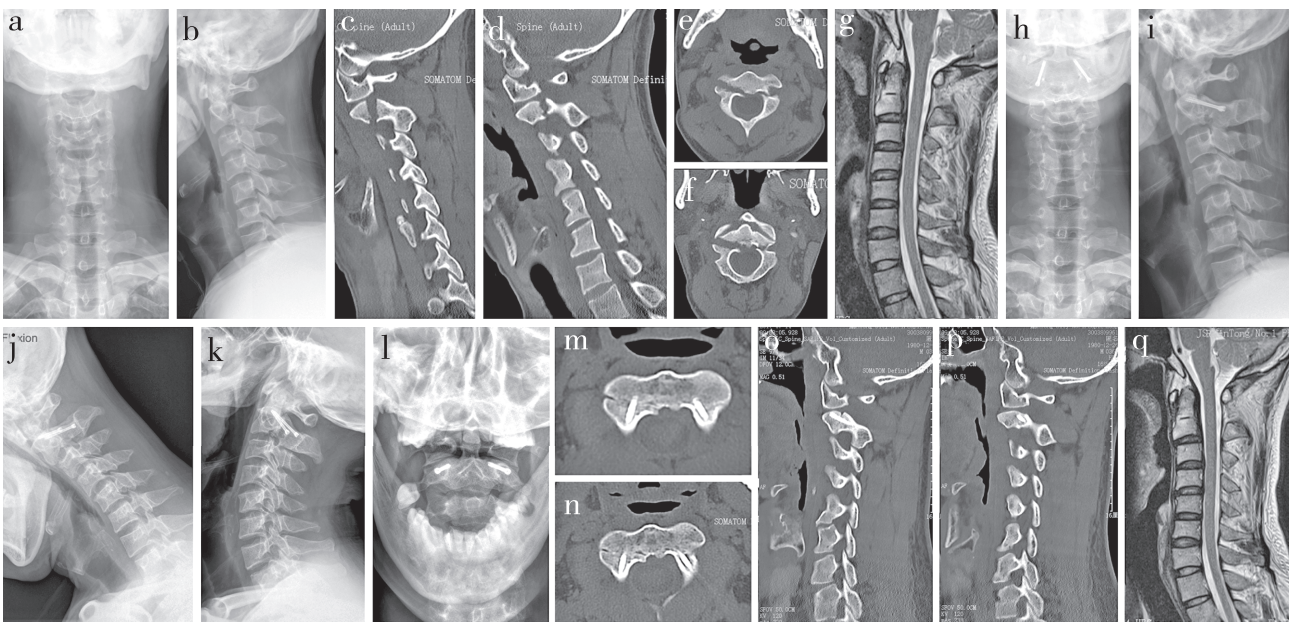
Note: *P<0.05, compared with open group

表2 手术前后功能评分
Tab. 2 Functional score at pre-operation and post-operation

| 组别 Group | n | VAS评分 VAS score | | | NDI | |
|--------------------------|----|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| | | 术前 Pre-operation | 术后 10 d Postoperative 10 d | 术后 6个月 Postoperative 6 months | 术前 Pre-operation | 术后 6个月 Postoperative 6 months |
| 开放 Open | 10 | 5.6 ± 1.5 | 3.2 ± 1.8* | 1.2 ± 0.4* | 32.5 ± 8.7 | 13.60 ± 3.4* |
| 微创 Minimally invasive | 12 | 5.4 ± 1.4 | 2.0 ± 1.0* [△] | 0.5 ± 0.3* [△] | 30.5 ± 7.5 | 5.40 ± 1.4* [△] |

注: *与术前相比, P<0.05; △与开放组相比, P<0.05

Note: *P<0.05, compared with pre-operation; △P<0.05, compared with open group



男, 32岁, Hangman骨折(Ⅱ型) a~g: 术前影像学资料示C₂/C₃椎间盘完整 h~l: 术后6个月X线片示C₂/C₃节段稳定, C₂椎弓根无分离移位 m~p: 术后6个月CT示双侧椎弓根骨性愈合 q: 术后6个月MRI示C₂/C₃椎间盘完整

Male, 32 years old, Hangman fracture (type II) a-g: Preoperative radiologic data show C₂/C₃ intervertebral disc is intact h-l: Roentgenographs at postoperative 6 months show C₂/C₃ intervertebral stabilization, no separation and displacement of C₂ pedicle m-p: CTs at postoperative 6 months show blurred fracture line and bilateral pedicle bone healing q: MRI at postoperative 6 months shows C₂/C₃ intervertebral disc is intact

图2 微创组典型病例影像学资料

Fig. 2 Imaging data of a typical case in minimally invasive group

3 讨论

Hangman骨折是上颈椎损伤的常见类型,其治疗方法目前仍有较大争论,特别是对于Ⅱ型及Ⅱa型的Hangman骨折。手术与非手术及前路与后路是治疗争论的焦点^[7-8],既往的考量在于手术治疗会牺牲C₂/C₃的活动度,且由于对上颈椎解剖结构的不熟悉、骨折脱位使解剖结构失常或者变异引起的置钉过程中椎动脉或脊髓损伤、螺钉偏出椎弓根或松动脱出等并发症时有报道。而且切开复位内固定手术需要广泛剥离C₂椎板及棘突上的椎旁肌,该肌

群是维持寰枢椎及上颈椎稳定性和上颈椎灵活精细运动的主要参与者,广泛剥离可引起术后轴性疼痛、鹅颈畸形或活动受限等。部分选择非手术治疗的长期颅骨牵引、Halo支架固定后,骨折畸形愈合、枕颈部褥疮、钉道感染、长期失眠焦虑和颈椎不稳等并发症发生率较手术治疗更高^[9]。

微创手术可克服上述开放手术和非手术治疗所引起的各种可能的并发症,使枢椎骨折得到坚强固定而患者无需长期卧床或者使用外固定。2008年,盛建明等^[10]报道在二维C形臂X线机引导下完成了7例经皮枢椎椎弓根螺钉内固定治疗Hangman骨

折,除1例螺钉进入椎管内,次日行螺钉方向校正术,其余6例均取得了良好的临床疗效。本课题组注意到二维影像学技术在手术中存在一定的局限性,术中透视未能发现螺钉位置的偏移,而C₂椎弓根狭小且椎动脉和椎弓根内壁薄弱,螺钉位置的偏移有可能引起严重并发症。考虑到C₂椎弓根的特殊解剖结构及其较高的变异性,本课题组考虑在术中三维影像系统的支持下开展经皮椎弓根螺钉内固定治疗Ⅱ型及Ⅱa型 Hangman 骨折,且短期随访取得了良好的临床疗效。本课题组体会:①相对于开放手术,微创手术术前影像学测量和手术规划更重要,术中操作、皮肤切开点和椎板进针点需要在术前影像学资料中精准规划,还要考虑到术中 Mayfield 头架固定后实际矢状位 C₂₋₇ Cobb 角的角度,设计几乎唯一的理想置钉方案,包括螺钉直径、螺钉头倾角、螺钉内聚角、螺钉总长度、螺钉螺纹长度、螺钉尖在椎体内最终的位置等。另外,术前 CT 重建需要作多维重建,特别是沿 C₂ 椎弓根长轴方向的水平位和矢状位重建,以便观察是否存在 C₂ 水平的椎动脉高跨、椎弓根水平位和矢状位狭窄,椎弓根松质骨骨质的皮质化,同时观察骨折线与椎弓根长轴的角度、骨折线至椎体后缘的距离,最终规划出理想的置钉路径。②术中操作最重要也是最初的步骤——椎板定位点的锚定。最初的2例患者使用椎体成形套件中的穿刺针,该针仅为锐性三棱形头部,对于椎板特别是年轻男性患者的椎板临时锚定作用差,额外增加了手术时间和术中辐射量。经过探索结合椎间盘镜的蛇形臂系统,改用头部带有锯齿的穿刺针,其更容易锚定在椎板上,并且将该穿刺针固定在蛇形臂上通过旋转穿刺针可以较为轻松地更改穿刺点,较大减少了锚定及穿刺的次数和术中的辐射量,缩减手术时间。③在穿刺针锚定并突破椎板皮质后,三维 CT 扫描再次确认穿刺针的头倾和内倾角度后,拔出套芯,更改为导针,需选择有点硬度同时有一定柔韧度的导针,使之在外力作用下更容易顺应椎弓根松质骨,轻易跨过骨折线,而不易与椎弓根长轴方向不一致将骨折线撑开过大,但仍需随时注意手感和实时三维影像,谨防导针进入椎管内或损伤椎动脉。

与后路开放手术比较,经皮枢椎椎弓根螺钉内固定最大的优点在于单节段固定,避免了节段间融合,保留了 C₁/C₂ 和 C₂/C₃ 运动功能,因此也被称为“生理性固定”或“Judet 生理性重建手术”^[11]。本研究中使用的中空 Hebert 螺钉能够提供足够的

抗拉力和抗剪切力,近期随访骨折愈合满意,但仍观察到部分拉力螺钉对骨折线的拉力和闭合作用有限,骨折不能达到完美的解剖复位,可能与骨折端软组织的嵌插、拉力螺钉的力线与骨折闭合力线不吻合或拉力不够有关。经皮枢椎椎弓根螺钉内固定适应证^[12]:①Ⅱ型及Ⅱa型 Hangman 骨折不能坚持外固定治疗;②C₂椎弓根断端经牵引可复位但不能维持稳定;③韧带或椎间盘基本完整,无小关节绞索脱位;④C₂椎体骨质良好,骨折线最好与螺钉轴线垂直。但是该术式也存在缺点,因术中需要调整穿刺针和引针位于最佳路径,需要进行多次三维扫描,患者及术者所受辐射量较开放手术显著增加^[13],术中可对非手术区域进行铅衣保护,但是对于术区的甲状腺、颌下腺和胸腺的保护难以实施,唯一有效的预防措施就是精准术前静态和术中动态测量,熟练穿刺技术,尽可能减少扫描次数。Lang 等^[14]在三维影像的基础上配合术中导航设备,可明显减少扫描次数,是该术式改良和发展的方向。

总之,本研究短期随访结果表明,联合微创和术中三维成像技术,可以安全精准地治疗 Hangman 骨折,且软组织剥离和出血量少,可作为 Hangman 骨折微创治疗的选择之一。

参考文献

- [1] Leven AM, Edwards CC. The management of traumatic spondylolisthesis of the axis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1985, 67(2): 217-226.
- [2] 卢一生,黄波,徐静芳,等. C_{2,3}椎弓根螺钉固定融合治疗不稳定型 Hangman 骨折[J]. 脊柱外科杂志, 2014, 12(6): 360-362.
- [3] American Spinal Injury Association. Standards for neurological classification of spinal injury patients[M]. Chicago: American Spinal Injury Association, 1992.
- [4] 闰亮,池永龙,黄其杉,等.经皮枢椎椎弓根螺钉内固定的影像学研究[J].浙江创伤外科, 2008, 13(2): 95-97.
- [5] Huskisson EC. Measurement of pain[J]. Lancet, 1974, 2(7889): 1127-1131.
- [6] Vernon H, Mior S. The neck disability index: a study of reliability and validity[J]. J Manipulative Physiol Ther, 1991, 14(7): 409-415.
- [7] 姜良海,谭明生,董亮,等.标杆型 3D 打印导板辅助寰枢椎椎弓根置钉准确度分析[J].脊柱外科杂志, 2016, 14(4): 205-210.

- [39] Bowers C, Amini A, Dailey AT, et al. Dynamic interspinous process stabilization: review of complications associated with the X-Stop device[J]. Neurosurg Focus, 2010, 28(6): E8.
- [40] Lee SH, Seol A, Cho TY, et al. A systematic review of interspinous dynamic stabilization[J]. Clin Orthop Surg, 2015, 7(3): 323-329.
- [41] Xu C, Ni WF, Tian NF, et al. Complications in degenerative lumbar disease treated with a dynamic interspinous spacer(Coflex)[J]. Int Orthop, 2013, 37(11): 2199-2204.
- [42] 藏磊, 海涌, 苏庆军, 等. 棘突间动态稳定装置 Coflex 植入并发症的探讨[J]. 中华外科杂志, 2012, 50(9): 782-787.
- [43] 张扬璞, 海涌, 杨晋才, 等. Coflex 椎板间动态稳定术并发症与危险因素分析[J]. 中国骨与关节杂志, 2018, 17(2): 103-109.
- [44] Fuchs PD, Lindsey DP, Hsu KY, et al. The use of an interspinous implant in conjunction with a graded facetectomy procedure[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2005, 30(11): 1266-1274.
- [45] Ciplak M, Suzer T, Senturk S, et al. Complications of 2-level dynamic stabilization[J]. Turk Neurosurg, 2017: 10.5137/1019-5149.JTN.21036-17.1.
- (收稿日期: 2018-07-15)
(本文编辑: 张建芬)

(上接第 234 页)

- [8] 钱列, 劳立峰, 刘祖德. 枢椎椎板螺钉在上颈椎后路固定术中的应用[J]. 脊柱外科杂志, 2016, 14(6): 321-324.
- [9] Rajasekaran S, Vidyadhara S, Shetty AP, et al. Iso-C 3D fluoroscopy-based navigation in direct pedicle screw fixation of Hangman fracture: a case report[J]. J Spinal Disord Tech, 2007, 20(8): 616-619.
- [10] 盛建明, 徐华梓, 池永龙, 等. 经皮枢椎椎弓根螺钉固定治疗 Hangman 骨折[J]. 浙江中医药大学学报, 2008, 32(5): 626-627.
- [11] Singh PK, Garg K, Sawarkar D, et al. Computed tomography-guided C₂ pedicle screw placement for treatment of unstable Hangman fractures[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2014, 39(18): E1058-E1065.
- [12] Yoshida G, Kanemura T, Ishikawa Y. Percutaneous pedicle screw fixation of a Hangman's fracture using intraoperative, full rotation, three-dimensional image (O-arm)-based navigation: a technical case report[J]. Asian Spine J, 2012, 6(3): 194-198.
- [13] Narain AS, Hijji FY, Yom KH, et al. Radiation exposure and reduction in the operating room: perspectives and future directions in spine surgery[J]. World J Orthop, 2017, 8(7): 524-530.
- [14] Lang Z, Tian W, Liu Y, et al. Minimally invasive pedicle screw fixation using intraoperative 3-dimensional fluoroscopy-based navigation(CAMISS technique) for Hangman fracture[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2016, 41(1): 39-45.
- (收稿日期: 2019-01-13)
(本文编辑: 于 倩)