

· 基础研究 ·

# 枢椎后路 3 种螺钉固定技术生物力学测试的对比研究

胡勇<sup>1</sup>, 何贤峰<sup>1</sup>, 马维虎<sup>1</sup>, 徐荣明<sup>1</sup>, 阮永平<sup>1</sup>, 冯建翔<sup>1</sup>, 杨述华<sup>2</sup>

(1. 宁波市第六医院脊柱外科, 浙江 宁波 315040; 2. 华中科技大学附属协和医院骨科)

**【摘要】** 目的: 评价单皮质和双皮质枢椎椎弓根螺钉、枢椎侧块螺钉和枢椎椎板螺钉的固定强度, 为临床选择后路螺钉的固定方式提供生物力学依据。方法: 利用 30 具新鲜尸体枢椎标本, 进行单皮质和双皮质的枢椎椎弓根螺钉、枢椎侧块螺钉、枢椎椎板螺钉固定, 测试比较其螺钉拔出强度。结果: 双皮质枢椎椎弓根螺钉的拔出力量最大, 为 (1 255.8±381.9) N; 单皮质枢椎椎弓根螺钉 [(901.8±373.3)N]、双皮质枢椎侧块螺钉 [(776.1±306.8) N] 和双皮质枢椎椎板螺钉 [(640.8±302.9) N] 之间差异无统计学意义。结论: 枢椎后路螺钉固定宜首选椎弓根螺钉, 枢椎侧块螺钉和枢椎椎板螺钉可作为枢椎后路补充固定技术, 且以双皮质骨固定为宜。

**【关键词】** 枢椎; 椎弓根螺钉; 侧块螺钉; 椎板螺钉; 生物力学

**Comparison study of biomechanical test among fixation techniques of three types screw of posterior approach for C<sub>2</sub>**  
*HU Yong\*, HE Xian-feng, MA Wei-hu, XU Rong-ming, RUAN Yong-ping, FENG Jian-xian, YANG Shu-hua. \*Department of Spinal Surgery, the 6th Hospital of Ningbo, Ningbo 315040, Zhejiang, China*

**ABSTRACT Objective:** To evaluate the screw pull-out strength of posterior C<sub>2</sub> when the screw is fixed to C<sub>2</sub> through the trans-pedicle or lateral mass or trans-laminar unicortically or bicortically, so as to provide biomechanical basis for the clinical application of posterior C<sub>2</sub> screw fixation technique. **Methods:** The pedicle screw, the lateral mass screw or the laminar screw was separately anchored into 30 fresh C<sub>2</sub> specimens unicortically or bicortically. The screw pull-out strength of different fixation was tested and compared with the others. **Results:** The average pull-out strength of C<sub>2</sub> bicortical pedicle screw was (1 255.8±381.9) N, the strongest during all the methods. The mean pull-out strength of C<sub>2</sub> unicortical pedicle screw, C<sub>2</sub> bicortical lateral mass screw and C<sub>2</sub> bicortical laminar screw were (901.8±373.3) N, (776.1±306.8) N and (640.8±302.9) N respectively, with no statistical difference. **Conclusion:** Pedicle screw should be the first choice for the posterior fixation on axis. C<sub>2</sub> lateral mass screw fixation and C<sub>2</sub> laminar screw fixation can be another supplement choice and the screw had better be placed bicortically.

**Key words** Axis; Pedicle screw; Lateral mass screw; Laminar screw; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2009, 22(1):17-20 www.zggszz.com

枢椎螺钉具有承上启下的重要功能, 在寰枢椎固定或枢椎与枕颈、中下颈椎的节段固定中, 枢椎后路 3 种螺钉固定可提供良好的承接作用, 尤其是枢椎椎弓根螺钉构成的固定系统具有理想的固定强度, 为最终取得满意的融合率提供保障<sup>[1-3]</sup>。胡勇等<sup>[4]</sup>通过解剖学研究证实了枢椎后路 3 种螺钉固定技术的可行性, 但枢椎后路 3 种螺钉固定技术的生物力学

两两对比研究尚缺乏理论依据。本研究通过生物力学测试比较枢椎椎弓根螺钉、枢椎侧块螺钉和枢椎椎板螺钉的拔出强度, 以为临床选择枢椎后路 3 种螺钉固定提供理论依据。

## 1 材料和方法

**1.1 实验材料** 华中科技大学同济医学院解剖教研室提供的华中地区 30 套完整成年人新鲜枢椎标本(男性 18 个, 女性 12 个), 均为汉族, 年龄 30~55 岁, 平均 48 岁。X 线检查均无明显的骨质疏松、先天性畸形、骨折和肿瘤等病变。清除椎体

通讯作者: 胡勇 E-mail: huyong610@163.com

spectroscopy. *J Bone Miner Metab*, 2006, 24(6):467-475.

[9] Brouwers JE, van Donkelaar CC, Sengers BG, et al. Can the growth factors PTHrP, Ihh and VEGF, together regulate the development of a long bone. *J Biomech*, 2006, 39(15):2774-2782.

[10] Bluteau G, Julien M, Magne D, et al. VEGF and VEGF receptors are differentially expressed in chondrocytes. *Bone*, 2007, 40(3):

568-576.

[11] Evans KD, Oberbauer AM. Spatiotemporal localization of VEGF-A isoforms in the mouse postnatal growth plate. *Anat Rec (Hoboken)*, 2008, 291(1):6-13.

(收稿日期: 2008-07-16 本文编辑: 李为农)

周围的软组织,游离成单个的椎体,双层塑料袋密封,放入-96℃超低温冰箱(SANYO,日本生产)中冷冻保存备用。测试前 24 h 取出,室温下自然解冻后进行实验。

**1.2 分组设计** 每个枢椎左右侧各作为一测试单位,同时,为消除标本骨密度造成的组间差异和提高测试结果之间的可比性,笔者对枢椎左右两侧设计了如下 15 种组合方式。

单皮质椎弓根螺钉(B)+双皮质椎弓根螺钉(A),单皮质椎弓根螺钉(B)+单皮质骨侧块螺钉(D),单皮质椎弓根螺钉(B)+双皮质骨侧块螺钉(C),单皮质椎弓根螺钉(B)+单皮质椎板螺钉(F),单皮质椎弓根螺钉(B)+双皮质椎板螺钉(E),双皮质椎弓根螺钉(A)+单皮质骨侧块螺钉(D),双皮质椎弓根螺钉(E)+双皮质骨侧块螺钉(C),双皮质椎弓根螺钉(A)+单皮质椎板螺钉(F),双皮质椎弓根螺钉(A)+双皮质椎板螺钉(E),单皮质骨侧块螺钉(D)+双皮质骨侧块螺钉(C),单皮质骨侧块螺钉(D)+单皮质椎板螺钉(F),单皮质骨侧块螺钉(D)+双皮质椎板螺钉(E),双皮质骨侧块螺钉(C)+单皮质椎板螺钉(F),双皮质骨侧块螺钉(C)+双皮质椎板螺钉(E),单皮质椎板螺钉(F)+双皮质椎板螺钉(E)。

30 个枢椎标本随机分为 15 组,每组标本选用其中任一组合。在 30 个枢椎标本中每种组合重复 1 次,每种螺钉固定方式各有 10 次。

**1.3 螺钉固定和抗拔出强度测试** 螺钉选用直径 3.5 mm 的皮质骨螺钉,固定方式分为单皮质椎弓根螺钉、双皮质椎弓根螺钉、单皮质骨侧块螺钉、双皮质骨侧块螺钉、单皮质椎板螺钉和双皮质椎板螺钉 6 种固定方式(见图 1-3)。

实验中不使用钢板,仅使用螺钉固定来测定拔出力。完成钉道准备后,用直径为 3.0 mm 丝锥攻丝后拧入相应长度的螺钉固定。固定完成后用聚甲基丙烯酸甲脂进行包埋,对于双皮质骨螺钉,其出钉点用棉纸包裹,防止包埋材料对突出骨皮质的螺钉尖端构成加固,影响测试结果的准确性。然后在岛津材料实验机(AGS-10 KN,日本岛津公司生产,该材料实验机最大拉压力为 10 000 N,拉压速率范围 0.5~500 mm/min)进行轴向拔除实验(F-max)。依预实验结果设置本实验螺钉拔出速率为 1mm/min,最大拉力 3 000 N,最大位移 10 mm。为确保将螺钉垂直拔出,仅产生轴向拔出力,不产生其他方向的力,使用专门的夹具夹住螺钉头部。

测试前通过软件调整夹具和螺钉之间的力,将拔出力的初始数据归零,以免产生正向及负向的初始力。开始加载后,螺钉大部拔出并松动即中止测试。实验机的载荷信号由计算机数据采集系统记录,并由 WinAGS lite 2000 测试分析软件计算获得螺钉的最大拔出力。

**1.4 统计学分析** 本实验所得数据资料,使用 SPSS 11.5 统计软件对数据进行处理。测量数据用均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,螺钉不同固定方式的拔出强度进行方差分析(One-way ANOVA)和 LSD 法两两比较, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

枢椎椎弓根螺钉、枢椎侧块螺钉和枢椎椎板螺钉分别进行单、双皮质固定,组成 6 种固定方式,其螺钉的最大拔出力量见表 1。

**表 1 枢椎后路 3 种螺钉固定方式的最大拔出力量( $\bar{x} \pm s$ )**  
**Tab.1 The maximal pull-out strength of three posterior C<sub>2</sub> screws( $\bar{x} \pm s$ )**

固定方式	标本数(个)	最大拔出力量(N)
双皮质椎弓根螺钉(A)	10	1 255.8±381.9
单皮质椎弓根螺钉(B)	10	901.8±373.3
双皮质骨侧块螺钉(C)	10	776.1±306.8
单皮质骨侧块螺钉(D)	10	465.6±257.6
双皮质椎板螺钉(E)	10	640.8±302.9
单皮质椎板螺钉(F)	10	326.5±160.8

注:A 与 B 比较: $P=0.013$ ; A 与 C 比较: $P=0.001$ ; A 与 D,E,F 间比较: $P=0.000$ ; B 与 C 比较: $P=0.363$ ; B 与 E 比较: $P=0.062$ ; C 与 E 比较: $P=0.328$ ; C 与 D 比较: $P=0.027$ ; E 与 F 比较: $P=0.026$

Note: A vs B: $P=0.013$ ; A vs C: $P=0.001$ ; A vs D,E,F: $P=0.000$ ; B vs C: $P=0.363$ ; B vs E: $P=0.062$ ; C vs E: $P=0.328$ ; C vs D: $P=0.027$ ; E vs F: $P=0.026$

方差分析齐性检验  $P=0.238$ , 说明方差齐, 方差分析  $F=11.690, P=0.000$ , 差异具有统计学意义, 说明不同固定方式的拔出力量不同。在对 6 种固定方式的两两比较中(LSD 法), 双皮质椎弓根螺钉的拔出力量最大, 与其他的 5 种固定方式比较差异均有统计学意义; 其次螺钉拔出力量大小分别为单皮质椎弓根螺钉>双皮质骨侧块螺钉>双皮质椎板螺钉>单皮质骨侧块螺钉>单皮质椎板螺钉, 但是单皮质椎弓根螺钉、双皮质骨侧块螺钉和双皮质椎板螺钉这三者之间两两比较差异无统计学意义; 双皮质骨侧块螺钉和单皮质骨侧块螺钉差异、双皮质椎板螺钉和单皮质椎板螺钉差异均具有统计学意义。

说明本研究中枢椎后路 3 种固定方式中双皮质固定强度均大于相应的单皮质固定, 而单皮质椎弓根螺钉、双皮质骨侧块螺钉和双皮质椎板螺钉这 3 种固定方式可以提供相当的固定强度。

**3 讨论**

**3.1 枢椎后路 3 种螺钉拔出因素分析** 显著增加螺钉轴向拔出力的因素有增大螺钉的外径、加深进钉深度、改变螺钉螺纹锯齿的切迹以及减小螺纹间距等, 尤以前二者更为重要。其他重要的因素还有骨矿物质密度(BMD)、螺钉外形等。BMD 越大, 螺钉的拔出力量越大。马向阳等<sup>[5]</sup>采用直径 3.5 mm 的皮质骨螺钉进行测试, 而不采用松质骨螺钉, 是考虑到枢椎椎板的厚度稍大于 3.5 mm, 螺纹恰好嵌入椎板的内、外侧骨皮质内, 而且是双皮质固定, 采用皮质骨螺钉可获得坚强的固定; 同时, 对枢椎椎弓根螺钉、枢椎侧块螺钉的实验研究也都是采用皮质骨螺钉<sup>[6]</sup>, 这样, 枢椎椎板螺钉与枢椎椎弓根螺钉、枢椎侧块螺钉的抗拔出强度可比性更强。与 Wright 等<sup>[7]</sup>采用皮质骨螺钉固定的方法也一致。马向阳等<sup>[5]</sup>认为年龄越大, 螺钉抗拔出强度越小, 这可能与标本间的骨密度差异有关, 也是造成统计结果中标准差较大的原因。其研究结果还表明, 枢椎单皮质椎弓根螺钉的抗拔出强度虽然在数值上大于枢椎双皮质椎板螺钉, 但差异并无统计学意义, 提示枢椎双皮质椎板螺钉的固定强度与单皮质椎弓根螺钉基本相当。双皮质螺钉

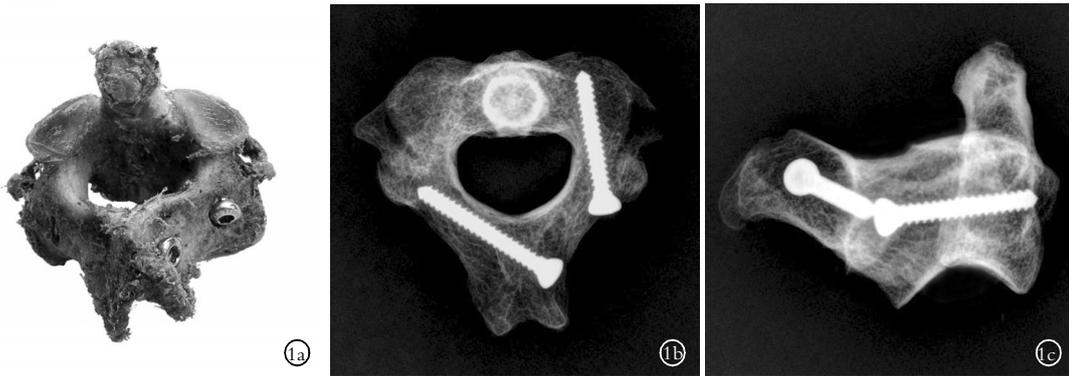


图 1 枢椎单皮质椎板螺钉、椎弓根螺钉 1a.靠近棘突的螺钉为单皮质椎板螺钉,另外 1 枚螺钉为单皮质椎弓根螺钉 1b.螺钉固定轴位 X 线片 1c.螺钉固定侧位 X 线片

Fig.1 C<sub>2</sub> unicortical laminar screw and C<sub>2</sub> unicortical pedicle screw 1a.The screw adjoint to spinous process is C<sub>2</sub> unicortical laminar screw and the other is C<sub>2</sub> unicortical pedicle screw 1b.The axial X-ray view of the screws 1c.The lateral X-ray view of the screws



图 2 枢椎双皮质椎板螺钉、侧块螺钉 2a.靠近棘突的螺钉为双皮质椎板螺钉,另外 1 枚螺钉为双皮质侧块螺钉 2b.螺钉固定轴位 X 线片 2c.螺钉固定侧位 X 线片

Fig.2 C<sub>2</sub> bicortical laminar screw and C<sub>2</sub> bicortical lateral mass screw 2a.The screw adjoint to spinous process is C<sub>2</sub> bicortical laminar screw and the other is C<sub>2</sub> bicortical lateral mass screw 2b.The axial X-ray view of the screws 2c.The lateral X-ray view of the screws

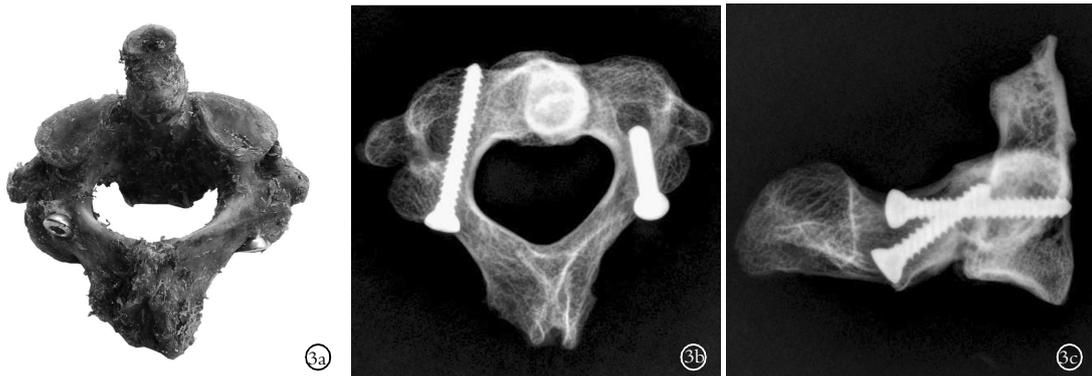


图 3 枢椎双皮质椎弓根螺钉、单皮质侧块螺钉 3a.左侧的螺钉为双皮质椎弓根螺钉,右侧螺钉为单皮质侧块螺钉 3b.螺钉固定轴位 X 线片 3c.螺钉固定侧位 X 线片

Fig.3 C<sub>2</sub> bicortical pedicle screw and C<sub>2</sub> unicortical lateral mass screw 3a.The left screw is C<sub>2</sub> bicortical pedicle screw and the right screw is C<sub>2</sub> unicortical lateral mass screw 3b.The axial X-ray view of the screws 3c.The lateral X-ray view of the screws

的拔出强度大于相应的单皮质螺钉,也是由于皮质处的 BMD 较大;当然,双皮质固定同时也加大了螺钉的长度,这说明,钉道长度即进钉深度也是影响拔出力的重要因素<sup>[8]</sup>。

Gorek 等<sup>[9]</sup>在寰枢椎固定中采用枢椎椎板螺钉固定,既避免损伤椎动脉的危险,同时提供了椎弓根螺钉固定相当的生物力学效应。枢椎椎板螺钉固定技术生物力学性能在抵抗颈

椎屈伸和轴向旋转方面可比得上后路关节突螺钉固定和 C<sub>1</sub>侧块-C<sub>2</sub>椎弓根结合钢缆固定技术。但在抵抗颈椎侧屈强度不够<sup>[9-10]</sup>。国外学者最近比较了 C<sub>1</sub>侧块-C<sub>2</sub>椎弓根固定技术和 C<sub>1</sub>侧块-C<sub>2</sub>椎板螺钉固定技术,认为这两种组合固定技术在 C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>固定复合组合中可提供相等的稳定性<sup>[9-10]</sup>。因此,枢椎椎板螺钉固定不仅解剖上可行,而且具有可靠的力学固定

强度,可作为枢椎椎弓根螺钉的补充固定技术。

本实验结果表明,枢椎椎弓根螺钉进行双皮质固定时的抗拔出力量最大,明显大于单皮质固定,与马向阳等<sup>[5-6]</sup>研究的结果一致。但临床应用中,枢椎椎弓根螺钉基本上进行单皮质固定<sup>[2]</sup>,均取得了可靠的力学固定效果和良好的临床疗效,提示枢椎椎弓根螺钉仅需单皮质固定即可。研究结果还表明,枢椎单皮质椎弓根螺钉的抗拔出强度虽然大于枢椎双皮质侧块螺钉和双皮质椎板螺钉,但三者两两比较差异并无统计学意义,提示枢椎双皮质侧块螺钉、双皮质椎板螺钉和单皮质椎弓根螺钉这 3 种固定方式固定强度相当。单皮质椎板螺钉的拔出力量最小,单皮质侧块螺钉的拔出力量次之,其测量值分别仅及枢椎单皮质椎弓根螺钉的 1/3 和 1/2 左右,因此本实验结果提示在进行枢椎侧块螺钉和椎板螺钉固定时,最好采用双皮质固定。

**3.2 枢椎后路 3 种螺钉固定的临床应用** Matsubara 等<sup>[11]</sup>报道在单侧椎动脉闭塞的患者采用枢椎椎板螺钉进行寰枢椎固定,术中和术后无并发症发生并获得稳定的生物力学效应,并主张即使枢椎椎弓根螺钉固定没有解剖因素的限制,对于有单侧椎动脉闭塞或双侧椎动脉不对称的患者宜采用枢椎椎板螺钉固定。虽然椎动脉闭塞发生率很低,但是研究表明双侧椎动脉不对称或椎动脉发育不全的发生率高达 15%<sup>[12]</sup>。损伤这些患者血流占优势侧的椎动脉将导致脑干缺血,导致高达 75%~86% 的死亡率。一旦致命性并发症发生,再坚强的内固定都是毫无意义的。这提示在临床工作中,术前除了行椎弓根薄层 CT 外,不能忽视对椎动脉状况进行评价。

枢椎后路 3 种螺钉固定在临床应用中究竟如何选择,结合文献<sup>[11-12]</sup>笔者认为:①从螺钉的钉道路径来看,枢椎椎弓根螺钉是从枢椎下关节突表面的内上象限进钉,经枢椎椎弓的峡部和侧块内侧进入椎体,螺钉经枢椎的后、中、前三柱实现固定;枢椎侧块螺钉是从枢椎下关节突表面的内下象限进钉,由枢椎峡部与侧块的连接处,即枢椎侧块上关节面的后缘处出钉,未经枢椎峡部进入椎体,主要固定枢椎的后、中柱;而枢椎的椎板螺钉是从棘突和椎板的交界处进钉,在对侧椎板内走行,由对侧下关节突中心点穿出,钉道途径完全位于枢椎的后柱,仅固定了后方的结构。理论上枢椎椎弓根螺钉的固定强度是最大的,侧块螺钉次之,椎板螺钉最小。本研究中枢椎单皮质椎弓根螺钉、双皮质侧块螺钉和双皮质椎板螺钉固定强度以体现上述趋势,但是三者无统计学意义。可能和单、双皮质固定力学强度差异和样本量不够大有关。在没有椎弓根解剖因素限制和椎动脉异常的情况下,宜首选枢椎椎弓根螺钉固定。②对于椎弓根峡部的尺寸在 3.5~5.0 mm 之间者,宜进行侧块螺钉固定,对于小于 3.5 mm 者,可采用椎板螺钉固定。③枢椎椎板螺钉的进钉点过于靠近中线,与其头侧或尾侧颈椎的螺钉进钉点在冠状面上相距甚远,使得在 3 个以上节段

固定时连接棒的放置变得困难。因此,在 3 个以上节段固定时不宜采用枢椎椎板螺钉固定。在应用枢椎椎板螺钉固定技术时最好选用万向螺钉。④双侧椎动脉不对称或椎动脉发育不全甚至椎动脉闭塞的患者宜选用枢椎椎板螺钉固定。⑤在小儿患者,由于骨骼未完全发育,椎弓根普遍细小,在椎弓根进行螺钉固定就更为困难,危险性更大,为这部分患者在枢椎提供螺钉锚点显得尤为必要。当然具体选择哪一种固定方式,则需根据患者具体的病情和术者对不同固定技术掌握的熟练程度而定。

参考文献

- [1] Harms J, Melcher RP. Posterior C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine*, 2001, 26(22): 2467-2471.
- [2] 王超, 尹绍猛, 阎明, 等. 使用枢椎椎弓根螺钉和枕颈固定板的枕颈融合术. *中华外科杂志*, 2004, 42(12): 707-711.
- [3] 胡勇, 谢辉, 杨述华. 寰枢椎复合体解剖学研究及临床意义. *中国骨伤*, 2007, 20(3): 208-210.
- [4] 胡勇, 杨述华, 杨操, 等. 枢椎后路 3 种螺钉固定技术的定量解剖. *解剖学杂志*, 2007, 30(1): 73-76.
- [5] 马向阳, 尹庆水, 吴增晖, 等. 枢椎椎板螺钉与椎弓根螺钉抗拔出强度的比较. *中国脊柱脊髓杂志*, 2007, 17(2): 137-139.
- [6] 马向阳, 尹庆水, 吴增晖, 等. 枢椎后路侧块螺钉与椎弓根螺钉固定强度的生物力学评价. *中华创伤杂志*, 2006, 22(5): 345-347.
- [7] Wright NM. Posterior C<sub>2</sub> fixation using bilateral, crossing C<sub>2</sub> laminar screws; case series and technical note. *J Spinal Disord Tech*, 2004, 17(2): 158-62.
- [8] 胡勇, 谢辉, 杨述华, 等. 寰枢椎后路两种螺钉固定的解剖学测量和生物力学测试对比研究. *医用生物力学杂志*, 2007, 22(1): 88-93.
- [9] Gorek J, Acaroglu E, Berven S, et al. Constructs incorporating intralaminar C<sub>2</sub> screws provide rigid stability for atlantoaxial fixation. *Spine*, 2005, 30(13): 1513-1518.
- [10] Lapsiwala SB, Anderson PA, Oza A, et al. Biomechanical comparison of four C<sub>1</sub> to C<sub>2</sub> rigid fixative techniques: Anterior transarticular, posterior transarticular, C<sub>1</sub> to C<sub>2</sub> pedicle, and C<sub>1</sub> to C<sub>2</sub> intralaminar screws. *Neurosurgery*, 2006, 58: 516-521.
- [11] Matsubara T, Mizutani J, Fukuoka M, et al. Safe atlantoaxial fixation using a laminar screw (intralaminar screw) in a patient with unilateral occlusion of vertebral artery: case report. *Spine*, 2007, 32(1): E30-33.
- [12] Taneichi H, Suda K, Kajino T, et al. Traumatically induced vertebral artery occlusion associated with cervical spine injuries: prospective study using magnetic resonance angiography. *Spine*, 2005, 30(17): 1955-1962.

(收稿日期:2008-08-26 本文编辑:王玉蔓)