

下颈椎后路螺钉固定的生物力学研究进展

林华杰¹, 徐荣明², 刘观燚²

(1. 浙江中医药大学, 浙江 杭州 310053; 2. 宁波第六医院脊柱外科)

【摘要】 目前, 下颈椎后路螺钉固定除侧块螺钉和椎弓根螺钉技术已普遍应用外, 经关节螺钉和经椎板螺钉固定技术也逐渐被重视。本文就此介绍下颈椎后路 4 种螺钉固定方式, 并对各自固定技术的生物力学研究现状进行综述。生物力学研究内容包括三维稳定性、抗拔出力、置钉技术和螺钉特点等。侧块螺钉和椎弓根螺钉技术, 因其优越的三维稳定性和较强的抗拔出力, 已经作为下颈椎不稳的一种有效固定方法。经关节螺钉固定作为一种新的下颈椎后路固定方法, 具有广范的手术适应证, 并且该技术相对安全、简易, 临床上也取得了良好的疗效。经椎板螺钉固定技术临床应用不多, 但通过解剖学和生物力学研究证实, 该技术可成为临床上可行的补救技术。上述 4 种下颈椎后路螺钉固定技术, 各有其优劣, 临床应用也各不相同, 通过对这些技术的生物力学研究, 将有助于下颈椎后路螺钉内固定技术的发展, 更有效的指导临床工作。

【关键词】 颈椎; 内固定器; 生物力学; 综述文献

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2011.06.028

Biomechanical study on the posterior screw fixation in the lower cervical spine LIN Hua-jie*, XU Rong-ming, LIU Guan-yi. *Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou 310053, Zhejiang, China

ABSTRACT So far, the fixation in the lower cervical spine through posterior approach technology has commonly been used, besides the lateral screw and pedicle screw techniques, transarticular screw and laminar screw techniques have being paid more attention recently. This article introduced four screw fixation ways in the lower cervical spine through posterior approach and reviewed the recent biomechanics studies of four screw fixation techniques. The biomechanics study includes stabilization, pollout strength, insertion technique, and screw characteristic and so on. Lateral screw and pedicle screw techniques have become an effective internal fixation way for the lower cervical spine instability because of their superior stabilization and higher pollout strength. Transarticular screw fixation has become a new way to fix the lower cervical spine through posterior approach, which has widely surgical indications. Besides, this technique is relatively safe, simple and has achieved favorable curative effect in clinic. Laminar screw fixation technique is rarely used in clinic, but the study of anatomy and biomechanics confirmed that this technique can be applied as a salvage technique in clinic. Above four techniques of the screw fixation in the lower cervical spine through posterior approach have advantages and disadvantages, respectively, and the application in clinic is different. Through the biomechanics study of these techniques will contribute to the development of the techniques of the screw fixation in the lower cervical spine through posterior approach and guide the clinical work effectively.

KEYWORDS Cervical vertebrae; Internal fixators; Biomechanics; Review literature

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2011, 24(6): 530-533 www.zggszz.com

近年来, 下颈椎后路螺钉固定迅速发展, 被广泛用于治疗由各种原因引起的下颈椎不稳。然而, 由于下颈椎周围解剖结构复杂, 操作危险性高, 故选择内固定时应综合考虑, 在结合下颈椎解剖结构、安全性和易操作性等因素外, 也应考虑其内固定的生物力学稳定性, 从而选择恰当的螺钉固定方式。本文就下颈椎后路螺钉固定方式的生物力学研究现状进行综述。

1 侧块螺钉固定

法国学者 Roy-Camille 等^[1]于 1970 年首次报道应用颈椎

后路侧块钢板螺钉内固定技术治疗颈椎骨折和脱位。Rhee 等^[2]就侧块螺钉与椎弓根螺钉的固定强度进行了比较。在后伸时, C₇ 节段置入侧块螺钉的稳定性与椎弓根螺钉无明显差异; 在屈曲、侧弯、旋转时, C₆-C₇ 两节段用侧块螺钉固定后, 显示出与单独 C₇ 椎弓根螺钉固定近似的稳定性。我们认为, 如果 C₇ 椎弓根螺钉固定不理想时, 可以在 C₆-C₇ 两水平进行侧块螺钉固定, 从而达到相当的固定效果。

颈椎侧块有多种螺钉植入技术被临床应用, 每种技术都有惟一的入点和钉道, 螺钉特点也有所不同, 其生物力学效应也会有所差异。

1.1 不同置钉技术间的生物力学比较 临床上应用最多的是 Roy-Camille 法和 Magerl 法。Barrey 等^[3]采用大样本人尸体 (C₃-C₆) 标本, 比较了 Roy-Camille 法和 Magerl 法的拔出力。结果显示: Roy-Camille 法的平均抗拔出力为 (266±124) N,

基金项目: 宁波市科学技术局自然科学基金项目 (编号: 2010A610061)

Fund programs: Natural science foundation of Ningbo Technology Division (No.2010A610061)

通讯作者: 林华杰 E-mail: lhjnbly@126.com

Magerl 法的平均抗拔出为 (231 ± 94) N, $P < 0.025$ 。其中在 C_3-C_4 节段差别最大; Roy-Camille 法和 Magerl 法的抗拔出分别为 (299 ± 114) N 和 (242 ± 97) N。我们认为: 在 C_3-C_4 节段进行侧块螺钉固定时, Roy-Camille 法的抗拔出比 Magerl 法提高了 23%, 而在 C_5-C_6 节段两法差别不明显。接着 Barrey 等^[4]研究发现, 在 C_3-C_4 节段, Roy-Camille 法的安全性也优于 Magerl 法。另外, 吉立新等^[5]指出, C_3-C_7 进钉点靠近侧块的中点内侧, 进钉途径愈趋向于和上关节面最长径平行, 螺钉在侧块内的通道愈长。我们认为, 这种途径可提高固定的生物力学强度。

1.2 不同螺钉固定间生物力学差别 由于置钉技术的不同, 各学者建议使用的螺钉特点也不相同。Heller 等^[6]比较了不同种类螺钉的抗拔出强度, 发现双皮质螺钉固定的抗拔出强度最高, 尤其是在 C_4 水平。并指出, 骨矿物质密度(BMD)对抗拔出没有显著影响。Muffoletto 等^[7]发现, 在椎板没有减压的情况下, 长单皮质螺钉能提供与双皮质螺钉固定相当的结构稳定性; 当椎板减压时, 前者在侧弯上的固定强度低于后者。

2 椎弓根螺钉固定

椎骨中最强硬的部位是椎弓根, 螺钉对其有很好的“握持”力, 所以 Steffee 称它为“力核”, 此外左右椎弓根互成近似直角, 这一立体结构为颈椎椎弓根螺钉固定提供了生物力学基础。研究表明, 椎弓根螺钉固定是治疗下颈椎不稳的一种有效的内固定方法^[8-12]。正确的应用椎弓根螺钉要了解其生物力学, 包括三维稳定性、抗拔出及螺钉特点等。

2.1 三维稳定性 Kothe 等^[8]应用 8 具尸体颈椎(C_2-C_7)建立颈椎多节段间盘韧带失稳模型, 对侧块和椎弓根螺钉固定的稳定性和施加周期性负荷后的稳定性进行了比较。结果显示: 椎弓根螺钉和侧块螺钉在侧向弯曲的活动范围分别为 $(0.86 \pm 0.31)^\circ$ 和 $(1.43 \pm 0.62)^\circ$ 。表明椎弓根螺钉固定在侧向弯曲上的稳定性明显好于侧块螺钉固定; 在施加周期性负荷后, 椎弓根螺钉固定在所有负荷方向上稳定性的降低也小于侧块螺钉固定。此外, 我们还认为, 患者的骨质量对椎弓根螺钉固定的生物力学也有影响, 并且在下颈椎需要多节段固定。

徐饶等^[9]实验证实: 下颈椎椎弓根螺钉固定的前屈、后伸、侧弯、旋转稳定性为完整模型的 2、1、3 和 2 倍, 优于经关节螺钉和侧块螺钉。

2.2 抗拔出 Johnston 等^[10]利用 20 具尸体颈椎(C_3-C_7)标本, 随机置入 3.5 mm 的椎弓根螺钉和侧块螺钉。测得椎弓根螺钉的平均抗拔出为 1 214 N, 侧块螺钉的平均抗拔出则为 332 N; 在施加周期性负荷后, 侧块螺钉的松弛率较大, 而椎弓根螺钉相对恒定。我们认为, 椎弓根螺钉与侧块螺钉的抗拔出存在明显差异; 经疲劳试验显示, 椎弓根螺钉固定强度也高于侧块螺钉; 椎弓根螺钉的抗拔出与插入扭矩、骨矿物质密度(BMD)存在相关性。这些生物力学特点有利于促进椎弓根螺钉内固定技术在临床上的应用。李瑞青等^[11]利用 6 具新鲜颈椎尸体标本(C_3-C_7), 分别用椎弓根螺钉(TPS)、侧块螺钉 Roy-Camille 法(LMS)及经关节螺钉植入法(TAS)拧入螺钉, 就 3 种方法的抗拔出强度进行比较。结果显示: TPS 最大拔出为 (502 ± 42) N, 最大拔出能量为 (7.18 ± 0.67) J; LMS 最大拔出为 (426 ± 38) N, 最大拔出能量为 (5.26 ± 0.39) J; TAS 最大拔出为 (482 ± 40) N, 最大拔出能量为 (6.68 ± 0.47) J。可见, 椎弓根螺钉的抗拔出强度明显高于其他两组。

2.3 其他生物力学影响因素 置入螺钉的长度、直径对抗拔出也有影响^[12]。刘景堂等^[13]比较 2 种长度(28、20 mm)的颈椎椎弓根螺钉和侧块螺钉钛板系统固定的抗拔出, 探讨颈椎椎弓根螺钉的适宜长度。结果表明两种长度的颈椎椎弓根螺钉固定的抗拔出无明显差异, 而长螺钉在置钉时有潜在损伤椎间盘的可能, 因此我们认为颈椎椎弓根内短螺钉固定的设想, 即螺钉的长度为螺钉经椎弓根刚好穿破椎体后缘骨质即可。这种短螺钉固定, 由于螺纹切入椎弓根皮层骨, 其抗拔力应明显高于侧块螺钉固定, 既能提供足够的稳定性, 又可避免螺钉穿入椎间盘, 所以这种短螺钉固定有临床应用价值。对于螺钉直径的选择, 刘景堂等^[14]建议采用 3.5 mm 的螺钉固定, 螺纹可直接切入椎弓根皮层骨内, 即皮层骨对螺钉直接起把持作用, 达到理想固定。此外, 有研究表明^[15], 在胸椎进行螺钉固定时, 增加螺钉抗拔出的条件除增大螺钉外径, 另一重要条件是加深进钉深度。容纳螺钉的骨性路径长度要大于螺钉的长度, 螺钉/骨钉道长度比为 60%~80%为宜^[16]。我们认为, 下颈椎可以借鉴该技术, 但解剖学与生物力学有待进一步研究。

3 经关节螺钉固定

由于患者的局部解剖上可能存在变异, 或者其他因素导致局部解剖发生改变, 从而会不同程度地限制颈椎椎弓根螺钉和侧块螺钉固定技术的应用。在这些情况下, 经关节螺钉可以作为一种新的后路固定方法使用^[17-19]。Takayasu 等^[17]在 25 例患者中应用下颈椎经关节螺钉固定, 取得良好的临床疗效, 并认为这一技术相对安全、简易, 值得临床推广。因此, 对该技术的生物力学研究很有必要。

3.1 三维稳定性 DalCanto 等^[18]在 13 个尸体颈椎 C_2-C_4 、 C_5-C_7 运动节段行侧块钉板或单纯经关节螺钉固定, 结果显示: 较完整状态下, 在屈曲、后伸、侧弯及旋转各方向上行 2 种固定方法都很大程度上减少了颈椎的移动范围, 提高了颈椎的稳定性。Miyajiri 等^[20]研究发现, 经关节螺钉固定具有与侧块螺钉钉棒系统固定相当的稳定性。并且, 经关节螺钉还降低了神经血管损伤的风险。Horn 等^[21]对 C_7 经关节螺钉固定的生物力学进行了研究, 其中一组采用 C_7 经关节螺钉固定和 T_1 椎弓根螺钉固定, 另一组 C_7-T_1 两节段都采用椎弓根螺钉固定, 两组进行活动度比较。结果显示: 2 组提供的结构稳定性无明显差异。笔者认为, C_7 经关节螺钉固定在临床上可作为一种替代技术。

下颈椎的关节突关节形态不同于上颈椎。在冠状面更加倾斜, 术中可以直视, 经关节固定不仅固定可靠, 而且操作简单, 相对安全^[17-19]。经关节固定既可单独螺钉固定, 也可以钉棒形式或钉板形式固定^[22]。

徐荣明等^[22]通过比较下颈椎三柱损伤后单独经关节螺钉固定(TAS)、经关节钉棒系统固定(TRS)和侧块螺钉钉棒系统固定(LRS)的三维稳定性, 实验结果显示: TAS、TRS 在各个方向稳定性明显优于 LRS 组($P < 0.05$)。同时, 还发现: TRS 组较 TAS 组能明显增强颈椎失稳节段的稳定性。其中在后伸、侧弯和旋转 3 个方向运动中, TRS 的运动范围(ROM)和中性区(NZ)与 TAS 组比较均显著减小, 其中在轴向旋转运动中差异最为明显; 在前屈运动中, 两组差异并不显著。这可能是由于棒连接上下节段的螺钉使之成为一个整体, 可以更好地控制颈椎旋转活动。因此, 我们建议, 如果在下颈椎选择经关节固

定时,以钉棒系统固定,既可以满足对置钉角度的需要,又可以获得足够的固定稳定性。此外,刘观焱等^[23]研究下颈椎单独经关节螺钉固定与经关节螺钉钢板固定三维稳定性之间的差异,结果显示:在后伸、左右侧弯和轴向旋转运动中,经关节螺钉钢板固定的稳定性优于单独经关节螺钉固定,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.2 抗拔出 Klekamp 等^[24]收集 10 具新鲜颈椎标本,在颈椎一侧分别对 C₃-C₄、C₅-C₆ 和 C₇-T₁ 节段使用经关节螺钉,另一侧在 C₃、C₅ 和 C₇ 节段分别植入侧块螺钉,植入螺钉均采用 3.5 mm 皮质骨螺钉,固定后进行抗拔出测试。在每个水平,经关节螺钉都显示出比侧块螺钉更大的拔出强度,其中经关节螺钉的平均抗拔出为 467 N(192~1 176 N),而侧块螺钉的平均抗拔出为 360 N(194~750 N),两者差别有统计学意义;其中差别最大的是 C₇-T₁ 节段,侧块螺钉的抗拔出为 373 N,而经关节螺钉为 539 N。下颈椎经关节螺钉显示出比侧块螺钉更大的拔出强度。Liu 等^[25]通过经关节螺钉固定和椎弓根螺钉固定的抗拔出比较,结果显示:经关节螺钉的平均拔出为 694 N,而椎弓根螺钉的平均拔出为 670 N,其中差别最大的是 C₅-C₆ 节段,达到 38 N。经关节螺钉显示出比椎弓根螺钉更大的拔出强度。

另外,刘观焱等^[26]比较两种下颈椎经关节固定的静力学比较,提出下颈椎经关节椎弓根螺钉(transarticular pedicle screw, TPS)固定技术。测得经关节椎弓根螺钉的平均抗拔出为 668 N,经关节螺钉的平均抗拔出为 424 N。我们认为:经关节椎弓根螺钉的静力学拔出强度明显优于经关节螺钉,该技术为临床应用提供了生物力学的可行性。之后,该学者又比较了下颈椎经关节椎弓根螺钉固定与标准椎弓根螺钉固定的拔出强度,测得前者平均最大轴向拔出(694±42) N 大于后者(670±36) N,从生物力学强度方面考虑经关节椎弓根螺钉固定可以作为标准椎弓根螺钉固定的一种补充方法^[27]。

4 经椎板螺钉固定

曹进等^[28]利用 22 具尸体 C₇ 标本,测量 C₇ 椎板的解剖学参数,结果指出:C₇ 后路椎板螺钉固定是可行的,适用于多数患者(73%);与 C₇ 椎弓根螺钉技术相比,椎板螺钉技术更简单,神经血管损伤的可能性更低。

Cardoso 等^[29]收集 9 具尸体 C₇ 标本,探讨椎板螺钉固定的解剖可行性及抗拔出。测得椎板平均宽度(5.1±0.8) mm,椎板最薄处厚度 3.8~6.8 mm。首先在椎体右侧置入椎弓根螺钉,测出拔出,然后从右侧向左侧椎板植入椎板螺钉,测出拔出。结果:椎弓根螺钉平均拔出为(805.3±261.7) N,椎板螺钉的平均拔出为(778.9±161.4) N($P=0.796$)。作者指出,在 C₇ 部位的椎板螺钉和椎弓根螺钉固定的抗拔出强度无明显差别,椎板解剖结构也很理想,可用 3.5 mm 螺钉行颈椎融合;但是,椎板螺钉的平均旋入扭矩峰值明显小于椎弓根螺钉($P=0.012$)。经椎板螺钉固定可成为生物力学上可行的补救技术。

上述 4 种下颈椎螺钉固定方式,各有其优劣,临床应用也各不相同。侧块螺钉固定远离前中柱,对椎间隙动度控制不直接,前屈稳定性尚不能达到正常状态;椎弓根螺钉固定技术要求较高,容易穿出椎弓根损伤血管,可能导致脑缺血,但报道较少;经关节螺钉固定也存在不足之处^[17],如当作为锚钉应用时,要比侧块螺钉或椎弓根多固定一个颈椎节段;经椎板螺钉

固定的并发症还未见相关临床报道。通过对这些技术的生物力学研究,有助于促进下颈椎后路内固定技术的发展,更有效的指导我们临床实践。

参考文献

- [1] Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the unstable cervical spine by a posterior osteosynthesis with plates and screws [M]. The Cervical Spine. 2nd Edit. Philadelphia: JB Lippincott, 1989: 390-404.
- [2] Rhee JM, Kraiwattanapong C, Hutton WC. A comparison of pedicle and lateral mass screw construct stiffnesses at the cervicothoracic junction: a biomechanical study [J]. Spine, 2005, 30(21): 636-640.
- [3] Barrey C, Mertens P, Rumelhart C, et al. Biomechanical evaluation of cervical lateral mass fixation: a comparison of the Roy-Camille and Magerl screw techniques [J]. J Neurosurg, 2004, 100 (3 Suppl Spine): 268-276.
- [4] Barrey C, Mertens P, Jund J, et al. Quantitative anatomic evaluation of cervical lateral mass fixation with a comparison of the Roy-Camille and the Magerl screw techniques [J]. Spine, 2005, 30(6): 140-147.
- [5] 吉立新, 陈仲强, 范明富, 等. 下颈椎侧块安全置钉内固定的解剖学测量 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(4): 286-289. Ji LX, Chen ZQ, Fan MF, et al. The anatomic measurement of cervical lateral mass for safe screw placement [J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2008, 18(4): 286-289. Chinese.
- [6] Heller JG, Estes BT, Zaouali M, et al. Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance [J]. J Bone Joint Surg Am, 1996, 78(9): 1315-1321.
- [7] Muffoletto AJ, Yang J, Vadhva M, et al. Cervical stability with lateral mass plating: unicortical versus bicortical screw purchase [J]. Spine, 2003, 28(8): 778-781.
- [8] Kothe R, Rütther W, Schneider E, et al. Biomechanical analysis of transpedicular screw fixation in the subaxial cervical spine [J]. Spine, 2004, 29(17): 1869-1875.
- [9] 徐饶, 李瑞青, 荆鑫, 等. 三种下颈椎内固定技术稳定性的生物力学比较 [J]. 中国医疗前沿杂志, 2010, 5(1): 13-14. XU R, Li RQ, Jing X, et al. A biomechanical comparison of three kinds of lower cervical stabilization system [J]. Zhongguo Yi liao Qian Yan Za Zhi, 2010, 5(1): 13-14. Chinese.
- [10] Johnston TL, Karaikovic EE, Lautenschlager EP, et al. Cervical pedicle screws vs. lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strength [J]. Spine J, 2006, 6(6): 667-672.
- [11] 李瑞青, 荆鑫, 董献成, 等. 下颈椎后路 3 种固定技术的拔出强度研究 [J]. 临床骨科杂志, 2009, 12(5): 559-561. Li RQ, Jing X, Dong XC, et al. Pull-out strength of posterior lower cervical screws inserted by three fixation techniques [J]. Lin Chuang Gu Ke Za Zhi, 2009, 12(5): 559-561. Chinese.
- [12] Seichi A, Takeshita K, Nakajima S, et al. Revision cervical spine surgery using transarticular or pedicle screws under a computer-assisted image guidance system [J]. J Orthop Sci, 2005, 10: 385-390.
- [13] 刘景堂, 唐天驹, 刘兴炎, 等. 两种长度的颈椎椎弓根螺钉和侧块螺钉钢板系统的稳定性比较 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7(4): 349-352. Liu JT, Tang TS, Liu XY, et al. Biomechanical comparison of stability between two cervical pedicle systems and one lateral mass screw system [J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2005, 7

- (4):349-352. Chinese.
- [14] 刘景堂,唐天驹,刘兴炎,等.两种长度的颈椎椎弓根螺钉与侧块螺钉拔出试验比较[J].中国脊柱脊髓杂志,2005,15(3):177-179.
Liu JT, Tang TS, Liu XY, et al. Pull-out strength of cervical pedicle short screws and pedicle long screws and lateral mass screws, a biomechanical comparison[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2005, 15(3):177-179. Chinese.
- [15] 崔新刚,张佐伦,孙建民,等.胸椎椎弓根根外固定螺钉拔出力的实验研究[J].中国脊柱脊髓杂志,2007,17(7):535-538.
Cui XG, Zhang ZL, Sun JM, et al. Experiment on screw pull-out strength of the extrapedicular fixation methods[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2007, 17(7):535-538. Chinese.
- [16] Balaband L, Gallard E, Skalli W, et al. Biomechanical evaluation of a bipedicular spinal fixation system: a comparative stiffness test [J]. Spine, 2002, 27(17): 1875-1880.
- [17] Takayasu M, Hara M, Yamauchi K, et al. Transarticular screw fixation in the middle and lower cervical spine. Technical note [J]. J Neurosurg Spine, 2003, 99(1 Suppl): 132-136.
- [18] DalCanto RA, Lieberman I, Inceoglu S, et al. Biomechanical comparison of transarticular facet screws to lateral mass plates in two-level instrumentations of the cervical spine[J]. Spine, 2005, 30(8): 897-902.
- [19] 赵刘军,徐荣明.中下颈椎经关节螺钉的基础与临床研究进展[J].中国骨伤,2007,20(6):430-432.
Zhao LJ, Xu RM. Basic and clinical progression of screw fixation through posterior middle-low cervical vertebra[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2007, 20(6):430-432. Chinese with abstract in English.
- [20] Miyajiri F, Mahar A, Oka R, et al. Biomechanical differences between transfacet and lateral mass screw-rod constructs for multilevel posterior cervical spine stabilization[J]. Spine, 2008, 33(23): E865-869.
- [21] Horn EM, Reyes PM, Baek S, et al. Biomechanics of C-7 transfacet screw fixation[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(3): 338-343.
- [22] 徐荣明,刘观焱,马维虎,等.下颈椎经关节螺钉钉棒系统固定的生物力学研究[J].中国脊柱脊髓杂志,2007,17(12):924-927.
Xu RM, Liu GY, Ma WH, et al. Biomechanical study of transarticular screw-rod system fixation in the lower cervical spine[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2007, 17(12): 924-927. Chinese.
- [23] 刘观焱,徐荣明,马维虎,等.下颈椎经关节螺钉钢板固定的生物力学研究[J].中国骨伤,2010,23(6):451-453.
Liu GY, Xu RM, Ma WH, et al. Biomechanical study of transarticular screw and plate fixation system in the lower cervical spine[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2010, 23(6):451-453. Chinese with abstract in English.
- [24] Klekamp JW, Ugbo JL, Heller JG, et al. Cervical transfacet versus lateral mass screws: a biomechanical comparison[J]. J Spinal Disord, 2000, 13(6): 515-518.
- [25] Liu GY, Xu RM, Ma WH, et al. Biomechanical comparison of cervical transfacet pedicle screws versus pedicle screws[J]. Chin Med J (Engl), 2008, 121(15): 1390-1393.
- [26] 刘观焱,徐荣明,马维虎,等.两种下颈椎经关节固定技术的静力学比较[J].中华医学杂志,2007,87(23):1599-1602.
Liu GY, Xu RM, Ma WH, et al. A static mechanical comparison between two transarticular internal fixation techniques in the lower cervical spine[J]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2007, 87(23): 1599-1602. Chinese.
- [27] 刘观焱,徐荣明,马维虎,等.颈椎经关节椎弓根螺钉固定与标准椎弓根螺钉固定的生物力学比较[J].中华骨科杂志,2009,29(10):960-963.
Liu GY, Xu RM, Ma WH, et al. A biomechanical comparison between fixation of cervical transfacet pedicle screws and standard pedicle screws[J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2009, 29(10): 960-963. Chinese.
- [28] 曹进,徐荣明,仲肇平,等.C₇后路椎板螺钉固定解剖学可行性研究[J].中国骨伤,2010,23(4):282-285.
Cao J, Xu RM, Zhong ZP, et al. Anatomic study of the posterior laminar screw fixation on C₇[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2010, 23(4): 282-285. Chinese with abstract in English.
- [29] Cardoso MJ, Dmitriev AE, Helgeson MD, et al. Using lamina screws as a salvage technique at C₇: computed tomography and biomechanical analysis using cadaveric vertebrae. Laboratory investigation[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(1): 28-33.
(收稿日期:2010-10-24 本文编辑:王宏)

本刊关于“通讯作者”有关事宜的声明

本刊要求集体署名的文章必须明确通讯作者。凡文章内注明通讯作者的稿件,与该稿件相关的一切事宜(包括邮寄稿件、收稿通知单、退稿、退修稿件、校样、版面费、赠刊等)均与通信作者联系。如文内未注明通讯作者的文章,按国际惯例,有关稿件的一切事宜均与第一作者联系,特此声明!

《中国骨伤》杂志社