

## · 基础研究 ·

## 下颈椎经关节螺钉钢板固定的生物力学研究

刘观燚<sup>1</sup>, 徐荣明<sup>1</sup>, 马维虎<sup>1</sup>, 孙韶华<sup>1</sup>, 冯建翔<sup>1</sup>, 王以进<sup>2</sup>

(1. 宁波市第六医院骨科, 浙江 宁波 315040; 2. 上海大学上海生物力学工程研究所)

**【摘要】**目的: 研究下颈椎单独经关节螺钉固定与经关节螺钉钢板固定的三维稳定性之间的差异。方法: 12 具新鲜人体颈椎标本, 制成 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 节段三柱损伤模型。随机选取 6 具标本在 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 行单独经关节螺钉固定, 另 6 具标本在 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 行经关节螺钉钢板固定。在非限制性和非破坏性的试验条件下测试它们在前屈、后伸、左右侧弯和轴向旋转运动状态的稳定性, 分别测试标本损伤模型制作前完整标本组(A 组)、单独经关节螺钉固定组(B 组)和螺钉钢板组(C 组)3 组数据。结果: 单独经关节螺钉固定组和经关节螺钉钢板固定组在各方向的运动范围(ROM)和中性区(NZ)的均数均小于完整标本组, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。经关节螺钉钢板固定在前屈运动中的 ROM 和 NZ 与单独经关节螺钉固定比较, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 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( $P < 0.05$ )。结论: 下颈椎经关节螺钉钢板固定的稳定性优于单独经关节螺钉固定, 在使用下颈椎经关节螺钉时, 相对于单独螺钉固定, 建议以螺钉钢板形式固定。

**【关键词】** 颈椎; 内固定器; 生物力学; 创伤和损伤

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2010.06.018

**Biomechanical study on transarticular screw and plate fixation system in the lower cervical spine** LIU Guan-yi\*, XU Rong-ming, MA Wei-hu, SUN Shao-hua, FENG Jian-xiang, WANG Yi-jin. \*Department of Orthopaedics, the Sixth Hospital of Ningbo, Ningbo 315040, Zhejiang, China

**ABSTRACT Objective:** To compare the cervical stabilities of transarticular screw fixation alone, and transarticular screw and plate fixation system. **Methods:** Twelve specimens of cervical vertebra containing C<sub>2</sub>-T<sub>1</sub> were obtained from human cadaver. The three-column instability model was made at C<sub>4,5</sub> and C<sub>5,6</sub> levels. The specimens were stabilized with transarticular screw fixation alone, and transarticular screw and plate fixation system respectively. The ranges of motion of segments including intact group, transarticular screw fixation alone group and transarticular screw and plate fixation system group were measured under the torque of 2.0 N·m in flexion, extension, lateral bending, and torsion respectively under nonrestrictive and nondestructive condition. **Results:** The range of motion (ROM) and neutral zone (NZ) of both transarticular screw fixation alone and transarticular screw and plate fixation system group were significantly smaller than those of intact group in all directions ( $P < 0.05$ ). The transarticular screw and plate fixation system group allowed a very smaller ROM and NZ than transarticular screw fixation alone during extension, lateral bending and axial rotation except flexion ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Cervical transarticular screw and plate fixation system provides better stability than transarticular screw fixation alone. If the transarticular fixation technique is preferred, transarticular screw and plate fixation system will be beneficial.

**Key words** Cervical vertebrae; Internal fixators; Biomechanics; Wounds and injuries

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2010, 23(6): 451-453 www.zggszz.com

颈椎椎弓根螺钉和侧块螺钉技术是目前主流的固定方法, 但前者有较高的血管神经损伤风险, 而后者在生物力学上又有所欠缺, 使下颈椎后路固定方法的使用仍有一定的争议<sup>[1-2]</sup>。经关节螺钉固定是目前下颈椎后路固定技术的一个研究热点<sup>[3-8]</sup>。2003 年 Takayasu 等<sup>[9]</sup>报道了 25 例下颈椎(包括 C<sub>2,3</sub>)应用经关节螺钉固定技术治疗各种原因引起的颈椎不稳, 未出现任何并发症。下颈椎经关节螺钉固定不仅固

定可靠, 而且操作简单, 相对安全<sup>[3-9]</sup>。生物力学研究发现下颈椎经关节螺钉钉道穿过上、下关节突 4 层皮质骨, 具有侧块螺钉更好的生物力学稳定性<sup>[10-11]</sup>。但经关节螺钉既可单独螺钉固定, 也可以螺钉钢板形式固定, 为临床选择固定形式提供参考。我们在系列下颈椎经关节螺钉基础和临床研究的基础上<sup>[3-7]</sup>, 进一步拟通过本试验探讨经关节螺钉钢板系统固定的生物力学稳定性。

## 1 材料与方法

**1.1 标本准备与内固定器械** 新鲜人体颈椎 C<sub>2</sub>-T<sub>1</sub> 节段标本 12 具, X 线正侧位摄片显示为正常标本。

截取标本时注意保留骨结构连接韧带及关节囊的完整,保留部分椎旁肌原位附丽完整,防止过度屈伸及扭转。双层塑料袋封装,置于-20℃低温冰箱内保存。测试前取出,室温下(20~25℃)解冻 8~12 h。颈椎经关节螺钉内固定系统均采用枢法模颈椎后路 Axis 钢板系统(美国 Sofamor Danek 公司),螺钉直径均为 3.5 mm。

**1.2 模型制作** ①完整标本组制作:试验前将解冻的标本仔细剔除颈部附丽肌肉,保留并避免损伤颈椎主要韧带及后关节囊等结构的完整性,此为生理状态的颈部标本,从 12 具标本中随机选取 6 具颈椎标本为完整标本组(A 组),在三柱损伤模型制作前进行生物力学测试。②单独经关节螺钉内固定组和螺钉钢板系统固定组制作:通过切断 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 之间的棘上、棘间韧带、双侧关节囊、黄韧带、后纵韧带,切除椎间盘中后部,仅保留前纵韧带的完整,制成颈椎两个水平三柱不稳定损伤模型。再从 12 具标本中随机选取 6 具标本在 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 行经关节螺钉技术固定,此为单独经关节螺钉内固定组(B 组);6 具标本在 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 行经关节螺钉钢板固定,此为经关节螺钉钢板系统固定组(C 组)。

经关节螺钉置钉技术以上位节段侧块中心点内侧 1 mm 为进钉点,进钉角度为在矢状面上尾倾 40°,在冠状面上外倾 20°,螺钉向前下方固定关节突关节复合体,钉尖 1~2 个螺纹穿下位椎骨上关节突腹侧皮质,形成四层皮质固定<sup>[4]</sup>。

**1.3 生物力学测试** 在脊柱三维运动试验机上依次进行完整标本组和对不稳模型行两种不同内固定组的 4 种状态(前屈、后伸、左右侧弯、轴向旋转)下的颈椎 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub> 运动范围(ranges of motion,ROM)测定。用线锯水平截除 C<sub>2</sub> 齿状突,用聚甲基丙烯酸甲脂(自凝型,上海齿科材料厂)将 C<sub>2</sub> 上部和 T<sub>1</sub> 下部包埋,放于试验台上。在颈椎上制作标记点,仿 Panjabi 等<sup>[12]</sup>方法在试验机上进行测试。通过加载盘对标本

施加 2.0 N·m 的纯力偶矩,使标本产生前屈(后伸)、左(右)侧弯和左(右)轴向旋转 6 种生理运动,由激光扫描仪(测试精度 0.1%)摄取在零载荷和最大载荷时的脊柱运动图像,并用 GeomagicStudio 图像处理软件系统进行图像分析,计算出标本的三维运动范围(ROM)。对颈椎施加的力偶矩为 2.0 N·m,该载荷为颈椎扭转破坏力矩的 20%,足以产生颈椎的生理运动范围,又不致于对颈椎产生任何损伤,即到达非限制性和非破坏性的试验条件。施加载荷以循环加载、卸载,以便将颈椎的黏弹性时间效应影响降低到最低程度,即消除颈椎的松弛、蠕变影响。计算中性区(neutral zone,NZ)和 ROM。试验过程中用生理盐水保持标本的湿度。

**1.4 观察项目** 在生物力学测试中,完整标本组、单独经关节螺钉内固定组和螺钉钢板系统固定组 3 种不同试验组的观察项目为:①中性区(NZ);②运动范围(ROM)。

**1.5 统计学处理** 采用 SPSS 11.0 统计软件,测量值用均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用协方差分析对数据进行统计学分析, $P<0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

颈椎标本的前屈、后伸、侧弯和旋转运动的测试结果见表 1。

从试验结果可见,经关节固定的两组(B、C 组)在各方向的 ROM 和 NZ 数值均小于完整标本组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

C 组在前屈运动中的 ROM 和 NZ 与 B 组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );在后伸、侧弯和旋转运动中,C 组的 ROM 和 NZ 与 B 组比较均减小,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),其中差异最大表现在轴向旋转运动中。

**3 讨论**

**3.1 下颈椎经关节螺钉钢板固定生物力学研究的必要性** 2000 年 Klekamp 等<sup>[10]</sup>直接对比颈椎侧块

表 1 各内固定组在载荷下的运动范围和中性区( $n=6, \bar{x}\pm s, ^\circ$ )

Tab.1 The ROM and NZ of each internal fixation group under load ( $n=6, \bar{x}\pm s, \text{degree}$ )

组别	前屈		后伸		侧弯		轴向旋转	
	ROM	NZ	ROM	NZ	ROM	NZ	ROM	NZ
完整标本组(A)	13.42±0.75 <sup>*1</sup>	10.34±0.44 <sup>*2</sup>	9.76±0.26 <sup>*3</sup>	7.10±0.22 <sup>*4</sup>	13.22±0.66 <sup>*5</sup>	9.80±0.52 <sup>*6</sup>	9.02±0.56 <sup>*7</sup>	7.67±0.42 <sup>*8</sup>
单独螺钉组(B)	3.46±0.21 <sup>a1</sup>	2.68±0.23 <sup>a2</sup>	4.32±0.14 <sup>a3</sup>	3.62±0.15 <sup>a4</sup>	6.27±0.32 <sup>a5</sup>	4.86±0.29 <sup>a6</sup>	6.86±0.42 <sup>a7</sup>	5.52±0.38 <sup>a8</sup>
螺钉钢板组(C)	1.88±0.18	1.50±0.14	2.84±0.21	2.18±0.16	4.22±0.30	3.35±0.25	4.26±0.30	3.52±0.25

注:与 B、C 组比较, <sup>\*1</sup>F=6.31,  $P<0.05$ ; <sup>\*2</sup>F=8.16,  $P<0.05$ ; <sup>\*3</sup>F=11.72,  $P<0.05$ ; <sup>\*4</sup>F=12.53,  $P<0.05$ ; <sup>\*5</sup>F=9.18,  $P<0.05$ ; <sup>\*6</sup>F=8.56,  $P<0.05$ ; <sup>\*7</sup>F=7.06,  $P<0.05$ ; <sup>\*8</sup>F=6.23,  $P<0.05$ 。与 C 组比较, <sup>a1</sup>q=1.93,  $P>0.05$ ; <sup>a2</sup>q=1.71,  $P>0.05$ ; <sup>a3</sup>q=5.47,  $P<0.05$ ; <sup>a4</sup>q=5.24,  $P<0.05$ ; <sup>a5</sup>q=6.32,  $P<0.05$ ; <sup>a6</sup>q=5.97,  $P<0.05$ ; <sup>a7</sup>q=5.32,  $P<0.05$ ; <sup>a8</sup>q=4.21,  $P<0.05$

Note: Compared with group B and C, <sup>\*1</sup>F=6.31,  $P<0.05$ ; <sup>\*2</sup>F=8.16,  $P<0.05$ ; <sup>\*3</sup>F=11.72,  $P<0.05$ ; <sup>\*4</sup>F=12.53,  $P<0.05$ ; <sup>\*5</sup>F=9.18,  $P<0.05$ ; <sup>\*6</sup>F=8.56,  $P<0.05$ ; <sup>\*7</sup>F=7.06,  $P<0.05$ ; <sup>\*8</sup>F=6.23,  $P<0.05$ 。Compared with group C, <sup>a1</sup>q=1.93,  $P>0.05$ ; <sup>a2</sup>q=1.71,  $P>0.05$ ; <sup>a3</sup>q=5.47,  $P<0.05$ ; <sup>a4</sup>q=5.24,  $P<0.05$ ; <sup>a5</sup>q=6.32,  $P<0.05$ ; <sup>a6</sup>q=5.97,  $P<0.05$ ; <sup>a7</sup>q=5.32,  $P<0.05$ ; <sup>a8</sup>q=4.21,  $P<0.05$

螺钉与经关节螺钉的拔出强度 (pullout strength), 该研究使用 10 具尸体脊柱标本, 在颈椎一侧, 分别对 C<sub>3,4</sub>、C<sub>5,6</sub> 和 C<sub>7</sub>T<sub>1</sub> 用经关节螺钉固定; 在另一侧, 则分别在 C<sub>3</sub>、C<sub>5</sub> 和 C<sub>7</sub> 行侧块螺钉固定, 然后对螺钉进行轴向拔出试验。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拔出强度为 467 N, 而侧块螺钉只有 360 N ( $P=0.008$ )。这可能是由于经关节螺钉固定颈椎关节突关节复合体, 螺钉握持上位椎骨的下关节突尾侧的皮质骨, 上、下关节突的软骨下骨, 下位椎骨的上关节突腹侧皮质骨, 可以达到四层皮质固定的稳定性, 而侧块螺钉仅为双皮质固定。DalCanto 等<sup>[11]</sup>做了进一步研究, 在 13 个尸体颈椎 C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>-C<sub>7</sub> 运动节段行侧块钉板或单纯经关节螺钉固定, 结果发现单纯经关节螺钉固定与侧块钉板固定具有同等的生物力学稳定性。临床上下颈椎经关节螺钉既可以进行单独螺钉固定, 也可以进行螺钉钢板固定<sup>[3,7]</sup>。然而尚缺乏对下颈椎经关节螺钉单独螺钉固定和螺钉钢板固定的生物力学稳定性区别的了解。

**3.2 经关节螺钉钢板固定与单独螺钉固定生物力学区别** Takayasu 等<sup>[9]</sup>率先成功将经关节螺钉以钉板和单独螺钉形式应用于临床, 其中螺钉钢板形式以美国枢法模公司颈椎后路钢板 Axis 内固定系统, 本项研究也采用这一内固定系统进行固定。本试验在分别测试经关节螺钉单独螺钉固定和以螺钉钢板形式固定的生物力学稳定性, 以了解经关节单独螺钉固定与钢板系统固定的区别。试验发现经关节螺钉钢板固定组较单独螺钉固定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, 经关节螺钉钢板固定的 ROM 和 NZ 与单独螺钉固定组比较均减小, 其中在轴向旋转运动中差异最为明显。然而在前屈运动中, 螺钉钢板系统固定的颈椎 ROM 和 NZ 与单独螺钉固定组比较无明显差异, 这可能是由于与单独螺钉比较, 螺钉钢板固定系统使螺钉钢板成为一个整体, 具有一种类似“夹板”样作用, 可以更好地控制颈椎旋转活动。

虽然单独经关节螺钉固定相当经济, 可以提供侧块螺钉更好的固定强度<sup>[10-13]</sup>, 但与螺钉钢板固定比较则生物力学强度相对不足, 这对临床应用经关

节螺钉固定形式的选择提供重要的参考价值。如果在下颈椎选择经关节固定, 建议以螺钉钢板形式固定, 以获得足够的固定稳定性。

**3.3 本研究不足之处** 本研究关于脊柱三维稳定性的影响存在着一定局限性。像其他体外标本试验一样, 本试验用的颈椎标本都去除了肌肉组织, 所以本研究不能很好地显示出肌肉组织和头颅重量可能带来的影响。我们的模型没有应用融合技术, 而植骨融合会显著增加脊柱的稳定性。

#### 参考文献

- [1] 徐荣明, 马维虎, 刘观葵, 等. 椎弓根螺钉技术在下颈椎不稳的安全使用方法. 中华创伤杂志, 2007, 23(1): 21-20.
- [2] 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. Spine, 2005, 30(6): E140-147.
- [3] 刘观葵, 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. 中华医学杂志, 2007, 87(23): 1599-1602.
- [4] 刘观葵, 徐荣明, 马维虎, 等. 下颈椎后路经关节螺钉内固定的解剖学研究. 中华骨科杂志, 2007, 27(9): 677-681.
- [5] 刘观葵, 徐荣明, 马维虎, 等. 下颈椎经关节椎弓根螺钉与椎弓根螺钉固定生物力学比较. 中华骨科杂志, 2009, 29(10): 960-963.
- [6] 刘观葵, 徐荣明, 马维虎, 等. 下颈椎经关节螺钉和 Magerl 侧块螺钉与脊神经关系的解剖学比较. 中华创伤骨科杂志, 2006, 8(10): 965-969.
- [7] 刘观葵, 徐荣明, 马维虎, 等. 下颈椎经关节螺钉固定的生物力学研究. 中华实验外科杂志, 2007, 24(6): 675-676.
- [8] 赵刘军, 徐荣明, 夏华杰, 等. 两种下颈椎经关节螺钉植入方法的比较研究. 中国骨伤, 2009, 22(8): 590-592.
- [9] Takayasu M, Hara M, Yamauchi K, et al. Transarticular screw fixation in the middle and lower cervical spine. Technical note. J Neurosurg, 2003, 99(1 Suppl): 132-136.
- [10] Klekamp JW, Ugbo JL, Heller JG, et al. Cervical transfacet versus lateral mass screws: a biomechanical comparison. J Spinal Disord, 2000, 13(6): 515-518.
- [11] 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. Spine, 2005, 30(8): 897-902.
- [12] Panjabi M, Dvorak J, Duranceau J, et al. Three-dimensional movements of the upper cervical spine. Spine, 1988, 13(7): 726-730.
- [13] 徐荣明, 刘观葵, 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. 中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(12): 924-927.

(收稿日期: 2010-01-24 本文编辑: 王宏)

## 本刊关于作者姓名排序的声明

凡投稿本刊的论文, 其作者姓名及排序一旦在投稿时确定, 在编排过程中不再作改动, 特此告知。

《中国骨伤》杂志社