

## 不同椎弓根螺钉固定及骨水泥强化方法在骨质疏松骶骨上锚定强度的比较

于滨生, 郑召民, 庄新明, 王泰平, 李泽民, 张加芳

(中山大学附属第一医院脊柱外科 骨科研究所 510700 广州市)

**【摘要】目的:**通过比较不同椎弓根螺钉固定及骨水泥强化方法在骨质疏松骶骨上的锚定强度,探讨骶骨椎弓根螺钉松动后的理想补救技术。**方法:**应用 11 具成人新鲜骶骨标本,经骨密度测试确认为骨质疏松后,在同一骶骨标本上,依次建立 5 种骶骨螺钉固定模型,A 组,单皮质椎弓根螺钉固定(左侧);B 组,双皮质椎弓根螺钉固定(右侧);C 组,PMMA 钉道强化后单皮质椎弓根螺钉固定(建立于 A 组螺钉拔出后);D 组,PMMA 钉道强化后侧翼钉固定(右侧);E 组,后凸成形技术支持下的 PMMA 强化后侧翼钉固定(左侧)。应用 MTS 材料测试机进行轴向拔出测试,记录各种骶骨螺钉固定技术的最大拔出力并进行比较。**结果:**11 具标本的骨密度为  $0.55 \sim 0.79 \text{g/cm}^2$ ,平均  $0.71 \pm 0.08 \text{g/cm}^2$ 。A~E 组最大拔出力分别为  $508 \pm 128 \text{N}$ 、 $685 \pm 126 \text{N}$ 、 $846 \pm 230 \text{N}$ 、 $543 \pm 121 \text{N}$  和  $702 \pm 144 \text{N}$ 。A 组与 D 组间无显著性差异( $P > 0.05$ ),且均显著低于 B、C 和 E 组( $P < 0.05$ );B 组与 E 组间无显著性差异( $P > 0.05$ ),但两组的拔出力均显著低于 C 组( $P < 0.05$ )。**结论:**在骨质疏松患者的骶骨固定中,双皮质骶骨椎弓根钉较单皮质具有更高的锚定强度。骶骨椎弓根钉一旦发生松动,PMMA 钉道强化和后凸成形技术支持下的 PMMA 强化后的侧翼钉固定均可成为理想的补救手段。

**【关键词】**骨质疏松;腰骶融合;骶骨钉;骨水泥强化;生物力学

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2009.12.11

中图分类号:R687.3,R318.01 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2009)-12-0927-04

**Comparison of anchoring strengths in osteoporotic sacrum among different pedicle screws and bone cement augmentation/YU binsheng,ZHENG zhaomin,ZHUANG xinming,et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord,2009,19(12):927-930**

**【Abstract】 Objective:**To compare the maximum pull-out strengths in osteoporotic sacrum among unicortical, bicortical pedicle screws and three salvage methods using polymethylmethacrylate (PMMA) augmentation and determine the most favorable salvage technique for loosened pedicle screw.**Method:**11 fresh human osteoporotic cadaveric sacrum were used in this study.Following sequential establishments of five sacral screw instrumentations on the same sacrum,screw pull-out load tests were conducted on a MTS material testing machine defined as follows,group A,unicortical pedicle screw (on left side),group B,bicortical pedicle screw (on right side),group C,unicortical pedicle screw with traditional PMMA augmentation(secondary to the pull-out test of group A),group D,lateral wing screw with traditional PMMA augmentation(on right side),group E, lateral wing screw with kyphoplasty-assisted PMMA augmentation.The maximum pull-out forces of five screw instrumentations were measured and compared biomechanically.**Result:**The average BMD of 11 specimens was  $0.71 \pm 0.08 \text{g/cm}^2$ ,ranging from 0.55 to  $0.79 \text{g/cm}^2$ .The maximum pull-out strengths for group A to E were  $508 \pm 128 \text{N}$ , $685 \pm 126 \text{N}$ , $846 \pm 230 \text{N}$ , $543 \pm 121 \text{N}$  and  $702 \pm 144 \text{N}$  respectively.No significant difference with respect to pull-out strength was detected between group A and D ( $P > 0.05$ ),however,these two techniques exhibited remarkably lower pull-out strength than that in group B,C and E ( $P < 0.05$ ).Statistical difference on pull-out strength was not evidenced between group B and E ( $P > 0.05$ ),nevertheless,the two instrumentations showed significantly lower pull-out strength than that in group C ( $P < 0.05$ ).**Conclusion:**For sacral screw fixation in osteoporotic patient,bicortical pedicle screw has significantly higher fixation strength than unicortical screw.

基金项目:广东省科技计划重点项目(2008B050100012)

第一作者简介:男(1966-),副主任医师,副教授,医学博士,研究方向:脊柱临床与生物力学

电话:(020)82379597 E-mail:hpyubinsheng@hotmail.com

Once the loosening of pedicle screw occurs, the traditional PMMA augmentation or lateral wing screw with kyphoplasty-assisted PMMA augmentation may serve as a suitable salvage technique.

**【Key words】** Osteoporosis; Lumbosacral fusion; Sacral pedicle screw; Polymethylmethacrylate augmentation; Biomechanics

**【Author's address】** Department of Spinal Surgery, the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510700, China

骶骨椎弓根螺钉常用于腰骶融合以矫正畸形、促进融合和术后早期锻炼。但是,对于长节段固定、畸形矫正和骨质疏松的病例,骶骨螺钉松动具有较高的发生率<sup>[1-3]</sup>。在胸椎和腰椎椎弓根螺钉松动的众多补救技术中,骨水泥(polymethylmethacrylate, PMMA)强化可提供最高的力学稳定性<sup>[4-6]</sup>,但是,传统的钉道内注射 PMMA 或后凸成形技术支持下的 PMMA 强化方式对骶骨椎弓根钉乃至侧翼钉固定强度的影响尚未清楚。因此,本研究的目的是对单皮质椎弓根螺钉、双皮质椎弓根螺钉, PMMA 钉道强化椎弓根螺钉、PMMA 钉道强化侧翼钉和后凸成形 PMMA 强化侧翼钉的固定强度进行比较,以明确何种 PMMA 强化技术可作为骶骨椎弓根螺钉松动后的补救手段。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

取自新鲜成人尸体的 11 个完整骶骨用于实验。其中男 5 个,女 6 个;死亡时年龄为 66~83 岁,平均 74.4 岁。经 X 线摄片排除肿瘤、炎症及解剖学变异,并采用双能 X 线吸收法测量仪测定各标本 L1~L4 骨密度 ( $<0.8\text{g}/\text{cm}^2$  判定为骨质疏松)的平均值后,用双层塑料袋密封标本,置于 $-30^\circ\text{C}$ 的冷冻箱内保存。实验前,将标本在室温下彻底解冻,细致切除附着肌肉和韧带。

### 1.2 5 种骶骨螺钉固定方法

在同一骶骨标本上,使用直径 7mm Moss Miami 骶骨钉 (DePuy 公司提供) 和 PMMA (Stryker 公司提供) 强化,依次建立骶骨钉固定和测试模型如下:A 组,单皮质椎弓根螺钉固定;B 组,双皮质椎弓根螺钉固定;C 组,PMMA 钉道强化后单皮质椎弓根螺钉固定;D 组,PMMA 钉道强化后侧翼钉固定;E 组,后凸成形技术支持下的 PMMA 强化后侧翼钉固定(图 1)。

首先,在骶骨的左和右侧分别置入单皮质和双皮质椎弓根钉。进钉点均选择在 S1 上关节突下缘外侧 5mm 处<sup>[4]</sup>,用开路器刺破皮质,将骨锥平行

于 S1 上终板并与矢状面成角  $25^\circ$  刺入椎体<sup>[4]</sup>。使用直径 6mm 攻丝扩髓,深度达骶骨前方皮质后取出。用探针确认钉道四壁无破损后,测量钉道长度,将椎弓根螺钉置入钉道,并且使单皮质螺钉前端距骶骨前方皮质 2mm 和双皮质螺钉前端穿透前方皮质 2mm(图 2)。

拔出力测试后,取出单皮质和双皮质椎弓根螺钉。将 PMMA 充分搅拌 1min,装入注射管中并等待 2min 至“面团”期后,将 PMMA 注满左侧单皮质骶骨钉道,迅速将相同规格的螺钉再次旋入(C 组)<sup>[4]</sup>。拔出力测试后,将两个椎弓根钉道用松质骨紧密填塞。选择与椎弓根钉相同的进钉点,骨锥平行于骶骨翼上面刺向骶骨耳状面前端,再用直径 7mm 攻丝扩髓至前方皮质处<sup>[4]</sup>。在透视下将长度为 15mm 球囊(龙冠公司提供)置入左侧钉道,并使其前端距离侧翼前方皮质 5mm 处。在骶骨翼松质骨内使球囊扩张至内压为 14Psi,维持 15min 以后,取出球囊。将 PMMA 注满两个侧翼钉道后,置入螺钉,深度为螺钉尖端距前方皮质 2mm(图 2)。

### 1.3 生物力学测试

在 858 型 MTS 材料试验机上,通过自制的拔出力装置,对骶骨钉行轴向拔出力测试。拔出速度为  $0.01\text{mm}/\text{s}$ ,拔出过程中的拉力和位移通过 MTS 内的传感器连续记录到 MTS 专用电脑。实验按螺钉置入的先后顺序进行,在测试中用加湿器使标本始终保持湿润。

### 1.4 数据分析

记录 3 种骶骨钉补救技术的 PMMA 注射量。绘制拔出力-位移曲线,曲线的顶点值定义为螺钉的最大拔出力。各组间的最大拔出力比较采用 SPSS 软件(11.5 版)的单因素方差分析和 LSD- $t$  检验,  $P < 0.05$  作为显著差异的判定标准。

## 2 结果

11 具标本的骨密度值为  $0.55\sim 0.79\text{g}/\text{cm}^2$ , 平均  $0.71\pm 0.08\text{g}/\text{cm}^2$ , 均为骨质疏松标本。各组的

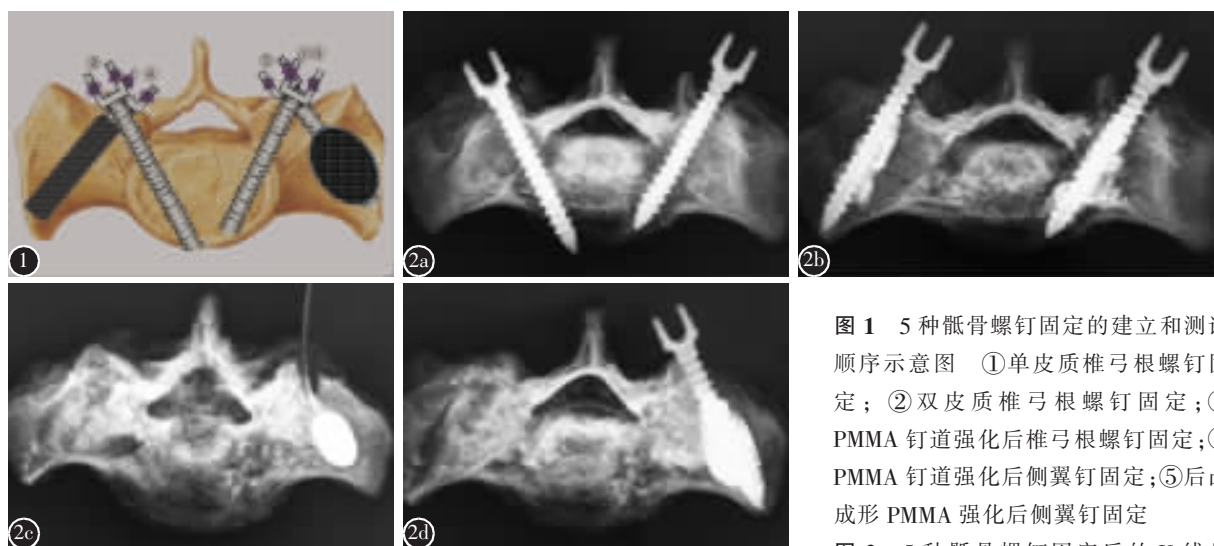


图 1 5 种骶骨螺钉固定的建立和测试顺序示意图 ①单皮质椎弓根螺钉固定; ②双皮质椎弓根螺钉固定; ③ PMMA 钉道强化后椎弓根螺钉固定; ④ PMMA 钉道强化后侧翼钉固定; ⑤后凸成形 PMMA 强化后侧翼钉固定

图 2 5 种骶骨螺钉固定后的 X 线片

a 单皮质与双皮质椎弓根钉 b PMMA 钉道强化的椎弓根钉和侧翼钉 c 骶骨左侧翼行压力为 14 Psi 球囊扩张 d 后凸成形技术支持下的 PMMA 强化侧翼钉

PMMA 注射量及拔出力测定结果见表 1。C 组和 D 组的 PMMA 注射量无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 但是, 两者的 PMMA 注射量均显著低于 E 组 ( $P<0.05$ )。螺钉拔出后的肉眼观察可见三种补救技术的螺钉与 PMMA 结合良好, 其中, 后凸成形 PMMA 强化侧翼钉(E 组)比其他两种补救技术似乎结合更多的 PMMA(图 3)。

A 组与 D 组的拔出力间无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 但两组的拔出力均小于 B、C 和 E 组 ( $P<0.05$ )。B 组和 E 组的拔出力间无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 但此两组的拔出力均显著低于 C 组 ( $P<0.05$ )(表 1)。

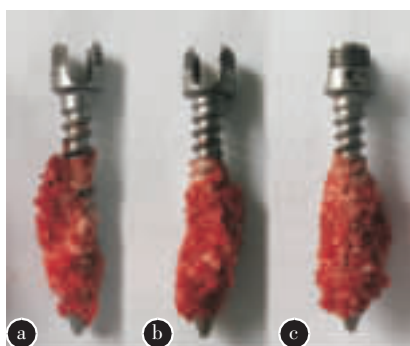


图 3 3 种骶骨螺钉 PMMA 强化固定后拔出的实物照片 (a PMMA 钉道强化椎弓根钉 b PMMA 钉道强化侧翼钉 c 后凸成形 PMMA 强化侧翼钉)

### 3 讨论

#### 3.1 骨质疏松骶骨上螺钉固定方法的选择

根据生物力学观点, 双皮质较单皮质固定的

表 1 各组 PMMA 注射量及骶骨螺钉轴向最大拔出力 ( $\bar{x}\pm s$ )

| 组别                  | n  | PMMA 注射量(ml)           | 最大拔出力(N)              |
|---------------------|----|------------------------|-----------------------|
| A组(单皮质椎弓根钉)         | 11 | /                      | 508±128               |
| B组(双皮质椎弓根钉)         | 11 | /                      | 685±126 <sup>②</sup>  |
| C组(PMMA 钉道强化椎弓根钉)   | 11 | 1.38±0.19              | 846±230 <sup>②③</sup> |
| D组(PMMA 钉道强化侧翼钉)    | 11 | 1.50±0.14              | 543±121               |
| E组(后凸成形 PMMA 强化侧翼钉) | 11 | 2.66±0.23 <sup>①</sup> | 702±144 <sup>②</sup>  |

注: ①与 C 或 D 组比较  $P<0.05$ ; ②与 A 或 D 组比较  $P<0.05$ ; ③与 B 或 E 组比较  $P<0.05$

力学优势不仅在于增加了螺钉的长度, 而且拥有骶骨前方皮质的把持力。本研究使用平均骨密度  $0.71\text{g}/\text{cm}^2$  的骶骨标本证实, 双皮质椎弓根螺钉固定的拔出力显著高于单皮质螺钉固定。但是, Smith 等<sup>[4]</sup>使用骨密度  $0.6\text{g}/\text{cm}^2$  以下的骶骨研究中发现, 两者的最大拔出力并无显著性差异。因此, 对于轻度骨质疏松的患者, 双皮质骶骨椎弓根钉较单皮质仍然具有显著的力学优势, 应优先使用。

#### 3.2 骨质疏松骶骨上螺钉固定失败后的补救技术

##### 3.2.1 PMMA 钉道强化后侧翼钉固定

Zhu 等<sup>[7]</sup>评价了 S1 椎体和侧翼的骨密度以及相应螺钉的固定强度, 结果发现 S1 椎体的骨密度为侧翼的 2 倍以上, 并且骶骨椎弓根钉的固定强度显著高于侧翼钉。本研究表明, PMMA 钉道强化侧翼钉仅能获得与单皮质椎弓根钉同等的固定强度, 并且

其最大拔出力显著低于双皮质骶骨椎弓根钉、PMMA 钉道强化单皮质椎弓根钉和后凸成形 PMMA 强化侧翼钉。这些结果预示,在骨质疏松情况下,PMMA 钉道强化侧翼钉不能获得充足的锚定强度,因此此项技术不能作为骶骨椎弓根钉理想的补救手段。

**3.2.2 PMMA 钉道强化后椎弓根螺钉固定** 在本研究中,PMMA 钉道强化骶骨椎弓根钉在 5 种骶骨钉固定技术中获得最高固定强度。因此,从获得局部稳定和促进融合的需要,原位 PMMA 钉道强化应成为松动的骶骨椎弓根钉的一种重要补救技术。此技术不仅操作简单,而且保持与初次手术基本相同的螺钉置入方向,便于钉-棒的再次连接。但是骶骨椎弓根邻近椎管和第一骶孔,如果因螺钉初次置入位置不良或松动等原因导致钉道与邻近的神经组织相通时,为防止 PMMA 渗漏到神经组织周围,应禁用 PMMA 强化技术。

**3.2.3 后凸成形技术支持下的 PMMA 强化后侧翼钉固定** 虽然后凸成形 PMMA 强化后侧翼钉固定的拔出力显著低于 PMMA 钉道强化椎弓根钉,但是可获得与双皮质椎弓根钉同等的固定强度。Becker 等<sup>[6]</sup>证明提高骨水泥的注射量可使椎弓根钉获得更高的固定强度。本研究进一步证明在骶骨侧翼钉的 PMMA 强化方面,提高 PMMA 注射量的后凸成形技术较单纯 PMMA 钉道强化显著提升螺钉的拔出力。内固定的目的在于给骨性融合提供稳定的生物力学环境。但是没有融合的实现,无论多么坚强的内固定将以失败而告终。由于后凸成形 PMMA 强化侧翼钉可恢复该区域的初始固定强度,因此可作为骶骨椎弓根钉的一种补救技术。但是,由于同等固定强度的再次应用,存在再次发生松动的可能,因此后凸成形 PMMA 强化侧翼钉作为骶骨椎弓根钉补救技术使用时,必须行椎间充分植骨;在骨融合发生前,需佩戴坚强支具以降低内固定的负荷。

据我们所知,本研究首次证实了后凸成形 PMMA 强化侧翼钉的生物力学作用,可为今后临床翻修松动的骶骨钉提供理想的选择。但是,后凸成形侧翼钉需要球囊扩张技术,增加了医疗成本,今后需要在寻求简易 PMMA 注射技术方面进行研究;侧翼钉在矢状面的置入角度大于 S1 椎弓根钉,为降低腰部钉-棒间连接难度,应尽可能使用万向钉以改善钉-棒连接的顺应性,以预防侧

翼钉再次松动。

本研究没有探讨后凸成形 PMMA 强化对椎弓根钉拔出力的影响。近年,虽然出现针对骶骨骨质疏松性压缩骨折而使用 PMMA 强化的骶骨成形(Sacroplasty)技术,但是 PMMA 注射部位通常选择在侧翼或侧翼与椎体的交界部位<sup>[8]</sup>。另外,由于 S1 椎体小,球囊难以在其内充分扩张,换言之,使用球囊技术容易导致 PMMA 渗漏到椎管内;有研究报道 PMMA 在椎体内可导致其周围松质骨坏死<sup>[9]</sup>,通过球囊扩张技术而使大量 PMMA 注入椎体,可能导致坏死区域累及到 S1 终板,进而对 L5/S1 椎体间融合产生不利影响。因此,作者认为后凸成形技术很难用于 S1 椎弓根钉的强化。

#### 4 参考文献

1. Pihlajamäki H, Myllynen P, Böstman O. Complications of transpedicular lumbosacral fixation for non-traumatic disorders [J]. J Bone Joint Surg Br, 1997, 79(2): 183-189.
2. Niu CC, Chen WJ, Chen LH, et al. Reduction-fixation spinal system in spondylolisthesis [J]. Am J Orthop, 1996, 25(6): 418-424.
3. Soini J, Laine T, Pohjolainen T, et al. Spondylodesis augmented by transpedicular fixation in the treatment of olisthetic and degenerative conditions of the lumbar spine [J]. Clin Orthop Relat Res, 1993, 297: 111-116.
4. Smith SA, Abitbol JJ, Carlson GD, et al. The effects of depth of penetration, screw orientation, and bone density on sacral screw fixation [J]. Spine, 1993, 18(8): 1006-1010.
5. Pfeifer BA, Krag MH, Johnson C. Repair of failed transpedicle screw fixation: a biomechanical study comparing polymethylmethacrylate, milled bone, and matchstick bone reconstruction [J]. Spine, 1994, 19(3): 350-353.
6. Becker S, Chavanne A, Spitaler R, et al. Assessment of different screw augmentation techniques and screw designs in osteoporotic spines [J]. Eur Spine J, 2008, 17(3 Suppl): 1462-1469.
7. Zhu Q, Lu WW, Holmes AD, et al. The effects of cyclic loading on pull-out strength of sacral screw fixation: an in vitro biomechanical study [J]. Spine, 2000, 25(9): 1065-1069.
8. Waites MD, Mears SC, Richards AM, et al. A biomechanical comparison of lateral and posterior approaches to sacroplasty [J]. Spine, 2008, 33(20): E735-738.
9. Togawa D, Bauer TW, Lieberman IH, et al. Histologic evaluation of human vertebral bodies after vertebral augmentation with polymethylmethacrylate [J]. Spine, 2003, 28(14): 1521-1527.

(收稿日期: 2009-05-07 修回日期: 2009-10-09)

(英文编审 蒋欣)

(本文编辑 彭向峰)