

## · 基础研究 ·

# 山羊腰椎内固定术中椎弓根螺钉植入深度对邻椎的影响

顾军<sup>1</sup>, 王以进<sup>2</sup>, 端木群力<sup>3</sup>, 伍峻松<sup>4</sup>, 韩贵和<sup>1</sup>, 吴永方<sup>2</sup>, 魏威<sup>1</sup>

(1. 杭州市红十字会医院骨科, 浙江 杭州 310006; 2. 上海大学生物力学研究所; 3. 杭州市第三医院骨科; 4. 浙江大学附属第二医院骨科)

**【摘要】** 目的: 观察脊柱内固定术中不同椎弓根螺钉植入深度对邻椎生物力学环境和退行性变的影响, 探讨椎体内固定强度与邻椎病发生的关系。方法: 雄性 10 月龄玻尔杂交山羊 16 只, 体重为 25~30 kg, 随机分为对照组(N 组)和 3 组内固定组, 每组 4 只。内固定组建立 L<sub>4</sub> 脊柱不稳定骨折病理模型, 以椎弓根螺钉内固定脊柱 L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub> 节段, 按螺钉长度不同分为: 长钉组(L 组), 内固定螺钉长度为 25 mm; 中钉组(M 组), 螺钉长度为 20 mm; 短钉组(S 组), 螺钉长度为 15 mm, 内固定后进行后路小关节融合; 对照组不作任何处理。术后 24 周, 制备对照组与内固定组 L<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> 腰椎标本, 测量上位未融合椎体(L<sub>2</sub>)和椎间盘应变和应力, 进行影像学、组织学观察, 计算 MRI 指数。结果: 与 N 组相比, L 组标本 L<sub>2</sub> 节段椎体、椎间盘的活动和应力均增加 ( $P < 0.05$ ), MRI 指数未见显著改变 ( $P > 0.05$ ), 髓核中出现多数退变细胞。M、S 组标本上位邻椎受力和髓核退行性改变发生情况不显著 ( $P > 0.05$ )。结论: 在山羊腰椎内固定融合术中, 局部坚强固定可能增加上位未融合节段的活动和承受的应力, 促进椎间盘退行性变, 导致邻椎病的发生。

**【关键词】** 腰椎; 脊柱融合术; 内固定器; 生物力学; 山羊

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2010.11.015

**Influence of pedicle screws with different insertion depth on neighboring unfused segments in a goat lumbar spinal fusion model** GU Jun\*, WANG Yi-jin, DUANMU Qun-li, WU Jun-song, HAN Gui-he, WU Yong-fang, WEI Wei.  
\*Orthopaedics of Hangzhou Red Cross Hospital, Hangzhou 310006, Zhejiang, China

**ABSTRACT Objective:** To observe the influences of pedicle screws in various insertion depth on the adjacent segment disc degeneration following lumbar spinal fusion. To explore the relationship between the internal fixation rigidity and incidence of adjacent segment disease. **Methods:** Sixteen hybrid male Bohr goats of 10 months old, weighting between 25 and 30 kg, were randomly divided into a control group (N group), and 3 experimental groups, each group had 4 goats. The L<sub>4</sub> vertebra of each goat in the experimental groups was fractured, L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub> segments were internal fixed with pedicle screws followed by intervertebral joint fusion by a posterior approach. Three experimental groups were divided according to the length of pedicle screws applied, vertebrae of goats in L group were internal fixed by the screws at the length of 25 mm, for M group and S group, 20 mm and 15 mm, accordingly. The goats in the control group were treated without any operation. Biomechanical changes and MRI index of upper unfused segment (L<sub>2</sub>) were measured 24 weeks after operation, and histological changes were observed as well. **Results:** The pressure and straining of L<sub>2</sub> vertebral body and intervertebral disc of L group increased more than N group ( $P < 0.05$ ), and degenerated cell counting in nucleus pulposus increased as well ( $P < 0.05$ ). However, MRI index remain unchanged ( $P > 0.05$ ).

**Conclusions:** Rigid internal fixation increases the pressure and straining of vertebral body and intervertebral disc of upper adjacent segment, accelerating the degeneration process following lumbar spinal fusion in goats.

**KEYWORDS** Lumbar vertebrae; Spinal fusion; Internal fixators; Biomechanics; Goats

Zhongguo Gushang/China J Orthop Trauma, 2010, 23(11): 845-848 www.zggszz.com

椎体融合术后邻近节段的退行性改变可以导致邻椎病(adjacent segment disease, ASD)的发生。术后 5 年的随访结果表明, 42.6% 的椎体融合患者均可显示邻椎的影像学异常, 其中 30.3% 的患者出现邻椎病的临床表现。术后 10 年, 100% 的患者均可显示邻椎的影像学异常<sup>[1]</sup>。邻椎病发病因素复杂, 一般认

为, 椎体融合术后邻椎病的发生与邻椎应力增加及邻椎本身存在的退行性改变有关<sup>[2]</sup>, 其中邻椎应力增加是造成退行性改变, 导致邻椎病发生的原发因素<sup>[3]</sup>。椎弓根螺钉内固定治疗不稳定性椎体骨折是近年来脊柱骨折较常用的方法。但目前认为坚强固定可能改变邻近节段的生物力学环境, 加速邻椎退变, 内固定的强度越大, 邻近节段越易出现不稳<sup>[4]</sup>。据统计, 不用内固定的腰椎融合患者出现邻近节段

退变的时间约 10 年, 使用内固定后缩短至 3 年<sup>[5]</sup>。然而, 对 32 例腰椎后外侧融合患者 4 年以上的随访发现, 内固定物的强度对邻近节段退变的影响无显著差异<sup>[6]</sup>。但这一结论仍缺乏足够的证据支持。我们曾经报道, 与较浅的固定深度相比, 椎弓根螺钉内固定深度接近于椎体前缘骨皮质可以使病椎获得坚强固定, 然而该固定深度对术后未融合节段生物力学环境及退行性变发生的影响仍待论证。本文建立山羊脊柱骨折的内固定融合模型, 观察 3 种不同长度的椎弓根螺钉固定对上位未融合节段生物力学和退行性改变的影响。

### 1 材料与方法

**1.1 动物模型与分组** 10 月龄玻尔杂交山羊 16 只, 雄性, 体重 25~30 kg。参照无公害国家标准, 饲养于放牧加补饲环境。随机分为对照组(N 组)和 3 个内固定组。每组 4 只, N 组不作任何处理; 内固定组按长节段单椎体压缩型骨折动物模型<sup>[7]</sup>方法, 制成脊柱 L<sub>4</sub> 节段压缩性不稳定性骨折模型, L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub> 节段椎弓根螺钉内固定, 根据固定螺钉长度分为: 长钉组(L 组), 螺钉长度为 25 mm; 中钉组(M 组), 螺钉长度为 20 mm; 短钉组(S 组), 螺钉长度为 15 mm。所有椎弓根螺钉直径均为 5.0 mm。内固定后进行后路小关节融合, 方法为: 保留 L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub> 小关节的关节囊、韧带组织, 自内上向外下用骨刀或薄锯于关节表面皮质下切开, 根据小关节形态、走向, 制造植骨通道和植骨床, 留取部分椎板骨条和碎骨屑嵌于上述区域, 然后将翻向外侧的软组织-骨瓣缝回原位。术后当天经 X 线摄片观察, 标本均为正常, 手术固定质量优良。

**1.2 山羊脊椎标本制备** 术后 24 周对各组山羊行核磁共振(MRI)检查, 宰杀后制备 L<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> 脊椎标本, 剔除标本上肌肉, 保留韧带和关节囊, 保存于-30℃用于生物力学测试, 测试时逐级解冻, 两端用骨水泥浇灌固定, 并测量几何尺寸。标本置于标准自然位, 防止过伸或过屈, 尤其避免旋转。

### 1.3 观察项目与方法

**1.3.1 生物力学测试** 所有山羊腰椎实验力学模型在结构模拟、载荷、材料力学性质、截取节段、手术方法、高度等均保持一致。实验前应用生物力学方法预先测定山羊腰椎的材料力学性质<sup>[8]</sup>。将标本安装在力学试验机上(WDW2100B 微机控制力学实验机, 红山试验机厂), 载荷采用 100 N 分级加载, 实现 0~500 N 生理载荷加载, 加载速率控制在 1.4 mm/min 的速率。腰椎加载模拟人体生理运动状况, 即轴向中心压缩(AC)、前屈(Flex)、后伸(EXT)和侧屈(LB)状态。相应加载时椎体的应变用高精度电阻应变片测量, 微动位移用 KG101 光栅数显高精度测微仪测

量。在正式测试前先给予载荷 100 N 3 次, 以消除骨的松弛、蠕变等时间效应影响。测试主要力学指标为上位腰椎(L<sub>2</sub>)椎体及椎间盘的应变、应力。

**1.3.2 影像学观察** 常规行矢状位及水平位 MRI 检查, T1 及 T2 加权像扫描。观察腰椎间盘退行性变程度。MRI 图像输入专业图像分析系统(Centricity Radiology Web, GE Medical Systems, Milwaukee, WI), 选取髓核区域, 由系统自动计算区域面积和信号强度, MRI 指数=髓核表面积×平均信号强度<sup>[9]</sup>。

为校正不同扫描条件的影响, 每次摄片时同步扫描水标准样, MRI 指数以样本信号强度对水标准样信号强度的百分数表示。

**1.3.3 组织学观察** 山羊处死后即刻将病椎相邻上位节段(L<sub>2</sub>)腰椎间盘组织切开, 取样, 经 10% 甲醛溶液固定, 脱钙、石蜡包埋, 以融合块矢状面为切面, 以组织切片器(Leica 2135)切成 5 μm 切片, HE 染色后光镜下观察。

**1.4 统计学处理** 实验数据用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 以 SPSS 10.0 统计软件进行统计分析, 计量资料均数比较采用单因素方差分析, 设定 P<0.05 为显著性水平。

## 2 结果

### 2.1 生物力学测试结果

**2.1.1 螺钉植入深度对 L<sub>2</sub> 节段椎间盘和椎体应变的影响** 在正常生理载荷 500 N 作用下, N 组标本 L<sub>2</sub> 节段的椎间盘的平均应变为 830 με, 椎弓根螺钉植入后, L、M、S 组平均应变能力增加(分别为 1055、1010 和 982 με), 见表 1。与 N 组相比, L 组邻近椎间盘的应变增加 21%, 差异有统计学意义(P<0.05), M、S 组标本椎间盘的平均应变与 N 组相比均无统计学意义(P>0.05)。

N 组椎体平均应变能力为 470 με, L、M、S 组椎体平均应变能力分别为 425、454 和 467 με, 与 N 组相比差异均无统计学意义(P>0.05)(表 1)。

**2.1.2 螺钉植入深度对邻近节段椎间盘和椎体应力的影响** N 组标本椎间盘的平均应力强度为 1.67 MPa, L、M、S 组平均应力强度分别为 3.62、2.14、2.06 Mpa, 其中, L 组比正常椎间盘的应力增加了 54%, 差异有统计学意义(F=4.944, P<0.05), 长期的应力集中必然引起邻近节段椎间盘的退变加剧。

正常生理载荷<500 N, 腰椎椎体的平均应力强度是 3.98 MPa, 长螺短钉固定后邻近节段椎体的应力仅为 1.26 MPa, 与正常相比相差达 68%, 差异有统计学意义(F=4.098, P<0.05, 而 M、S 组标本上位椎体的应力分别为 2.52 Mpa 和 3.46 Mpa, 与正常相比差异均无统计学意义(F=2.961, P>0.05)。

表 1 不同椎弓根螺钉植入深度 L<sub>2</sub> 节段椎间盘和椎体应变变化 ( $\bar{x} \pm s, \mu\epsilon$ )

Tab.1 The straining of vertebral body and intervertebral disc of L<sub>2</sub> segment internal fixed by pedicle screws with different length ( $\bar{x} \pm s, \mu\epsilon$ )

组别	AC		Flex		EXT		LB	
	椎体	椎间盘	椎体	椎间盘	椎体	椎间盘	椎体	椎间盘
N 组	432±18	725±11	514±19	901±21	320±19	637±22	612±29	1058±27
L 组	391±17	934±25*	421±16	1199±21Δ	302±20	824±22	585±28	1262±32*
M 组	417±23	890±21	501±23	1142±26	302±33	876±32	594±41	1132±53
S 组	420±26	872±13	502±35	1028±41	469±56	761±51	478±76	1267±65**

注:与 N 组比较: \*F=3.726, P<0.05; ΔF=4.975, ΔP<0.05; \*\*F=6.493, P<0.05

Note: As compared with N group: \*F=3.726, P<0.05; ΔF=4.975, ΔP<0.05; \*\*F=6.493, P<0.05

**2.2 影像学观察结果** MRI 指数越高,表明椎间盘发生退行性变的程度越小。MRI 指数 N 组为 (16.23±1.41)%, L、M、S 组 MRI 指数分别为 (8.45±2.33)%, (14.61±2.76)%, (13.86±3.02)%, N 组与其他组比较未见统计学差异 (F=2.762, P>0.05)。X 线检查可见各内固定组有不同程度邻近椎间隙变窄、终板硬化和骨赘形成。

**2.3 组织学观察结果** 术后 24 周,各内固定组标本 L<sub>2</sub> 节段椎间盘的环状板层胶原束的平行排列结构紊乱;部分标本中可见 L<sub>2</sub> 节段椎间盘失去了板层结构特征,被紊乱的纤维组织所替代,并可见纤维环的撕裂。除 N 组外,各实验组髓核标本均可见少量退变细胞,退变细胞胞核浓缩,核膜皱缩,异染色质靠边;胞浆浓缩,线粒体轻度扩张。以 L 组最为明显, M 组次之, S 组较轻(见图 1)。表明 L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub> 固定后,生物力学环境改变使腰椎动力平衡失调,导致 L<sub>2</sub> 节段应力集中,腰椎间盘髓核组织内细胞退变、坏死。

**3 讨论**

**3.1 腰椎融合术中椎弓根螺钉植入深度影响术后邻**

椎生物力学进而诱发退变 脊柱间融合术是治疗脊柱骨折,腰椎失稳症等脊椎疾病最有效的方法,但融合术后面临最主要的问题是邻近节段的退行性改变,对腰椎融合术后远期有腰痛者采用 SPECT 检查,邻近节段表现异常者达 62.5%,其中后融合者高达 87.5%。腰椎融合术后,邻近节段活动度的增加以上方为明显,也最易发生退变<sup>[10]</sup>。本研究结果表明,深度至椎体前缘皮质下的长螺钉 (5.0 mm×25 mm) 固定显著增加上位邻近节段椎体所受应力,降低其应变能力,并促进髓核退行性改变。而深度至椎体中部中等螺钉 (5.0 mm×20 mm) 和短钉 (5.0 mm×15 mm) 固定时,上位邻椎受力接近原有的解剖力学结构,髓核退行性改变发生情况不显著。该结果提示,病椎上位节段椎体和椎间盘的应变能力、所受应力以及退变发生情况均与椎弓根螺钉内固定深度有关。

作者以往的研究表明,采用椎弓根钉治疗腰椎不稳定骨折,螺钉植入深度对脊柱力学性能会产生重要影响,长螺钉 (5.0 mm×25 mm) 固定的脊柱在强度、刚度、稳定性方面及有效应力、有效刚度方面,显

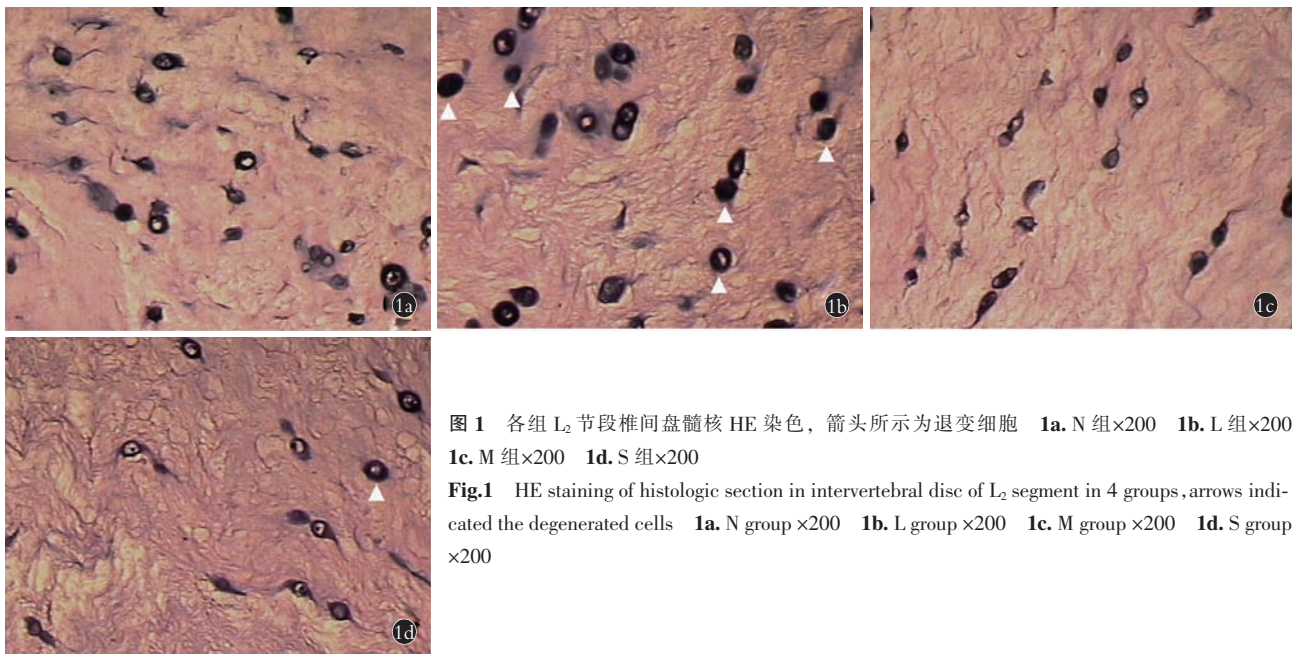


图 1 各组 L<sub>2</sub> 节段椎间盘髓核 HE 染色, 箭头所示为退变细胞 1a. N 组×200 1b. L 组×200 1c. M 组×200 1d. S 组×200

Fig.1 HE staining of histologic section in intervertebral disc of L<sub>2</sub> segment in 4 groups, arrows indicated the degenerated cells 1a. N group ×200 1b. L group ×200 1c. M group ×200 1d. S group ×200



著优于中螺钉(5.0 mm×20 mm)和短螺钉(5.0 mm×15 mm)内固定组。而本文的研究结果则提示,虽然长螺钉坚强内固定可使病椎获得即刻稳定性,但隐含了术后邻近未融合节段活动和受力增加的可能,加速了邻椎的退变。临床实践也发现:通过坚强内固定器械获得融合的节段与不用内固定融合的节段相比,其邻近节段退变发生率高,而椎弓根钉内固定可能是增加退变的原因。坚强内固定促进邻椎退变的原因主要与内固定导致的邻椎生物力学环境改变有关,脊柱固定术后,内固定器械使固定节段刚度增加,活动幅度明显下降或消失,而脊柱节段活动度将发生重分配固定节段的活动度会转移到剩余的运动节段。研究还发现<sup>[11]</sup>,内固定器械强度是影响退变的因素,器械强度越大,应力越集中,造成邻近节段椎间盘退变加速,关节软骨变性增生,同时由于局部坚强内固定,邻近节段活动度代偿性增加,腰椎旋转中心改变,邻近节段退变加速。

**3.2 脊柱内固定术后邻椎病的发生与长螺钉固定有关** 脊柱内固定术中椎弓根螺钉植入深度对固定的稳定性十分重要,植入深度不足在临床上往往导致椎弓根螺钉的轴向脱出、松动、倾斜而导致固定失效。目前,对于椎弓根螺钉植入深度占据骨-螺钉通道长度的比例,由于不同的作者在研究中所使用的参数不同,尚未形成定论。对骨-螺钉通道的 50%、80%和 100%进行生物力学测定表明<sup>[12]</sup>,80%的深度较 50%的深度抵抗负载强度增加 32.5%,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。100%的深度较 80%的深度差异无统计学意义( $P>0.05$ )。而且冲破椎体皮质存在损伤神经、血管和脏器等重要结构的危险,因此,有文献以 80%的骨-螺钉通道长度为植入深度。一般临床上也采用超过椎弓根长轴及椎体 2/3,但不破出椎体前壁的椎弓根螺钉植入深度(即本文长螺钉组植入深度)。然而本文的结果提示,这样的螺钉植入深度可能促进了内固定术后未融合节段退变的发生。

综上,脊柱内固定术中椎弓根螺钉植入深度主要与固定的生物力学稳定性有关,长螺钉较中、短螺钉更易获得固定的即刻稳定性,但也带来了促进未融合节段退变,引发邻椎病的问题,提示临床上应严格把握该类手术适应证:对于胸腰椎不稳定性骨折,使用长螺钉固定至椎体前缘皮质下,有利于脊柱骨折稳定性重建,并建议在达到临床愈合标准后拆除

置入物,以减少和避免邻椎病发生;而对于其他诸如腰椎失稳症,脊柱后柱结构破坏较大需进行椎间融合椎弓根螺钉永久内固定治疗的患者,采用长度至椎体中部的中等螺钉固定,既可以获得固定的即刻稳定性,也有利于减轻邻椎退行性变,延缓邻椎病的发生。

参考文献

[1] Cheh G, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up [J]. Spine, 2007, 32 (20): 2253-2257.

[2] Jae Chul Lee, Jae-Wan Soh, Yon-Il Kim, et al. Analysis of risk factors of adjacent segment degeneration after fusion using pedicle screws for degenerative lumbar disease, Proceedings of the NASS 23rd Annual meeting [J]. Spine J, 2008, 8(5): 20S-21S.

[3] Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: Review of the literature [J]. Spine, 2004, 29(17): 1938-1944.

[4] Rahm MD, Hall BB. Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation: a retrospective study [J]. J Spinal Disord, 1996, 9(5): 392-400.

[5] Etebar S, Cahill DW. Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability [J]. J Neurosurg, 1999, 90(2 Suppl): 163-169.

[6] Chou WY, Hsu CJ, Chang WN, et al. Adjacent segment degeneration after lumbar spinal posterolateral fusion with instrumentation in elderly patients [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2002, 122(1): 39-43.

[7] 陈劲松, 赵卫东, 林欣, 等. 长节段椎体压缩性骨折动力模型的建立 [J]. 临床生物力学, 2007, 25(1): 88-91.

[8] 王以进, 王介麟. 骨科生物力学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 1989: 156.

[9] Sobajima S, Kompel JF, Kim JS, et al. A slowly progressive and reproducible animal model of intervertebral disc degeneration characterized by MRI, X-ray, and histology [J]. Spine, 2005, 30 (1): 15-24.

[10] Bastian L, Lange U, Knop C, et al. Evaluation of the mobility of adjacent segments after posterior thoracolumbar fixation: a biomechanical study [J]. Eur Spine J, 2001, 10(4): 295-300.

[11] 陈君生, 包健, 朱大成, 等. 脊柱融合术后邻近节段的加速退变(附 107 例报告) [J]. 中国矫形外科杂志, 2002, 10(2): 1437-1438.

[12] Krag MH, Beynon BD, Pope MH, et al. An internal fixation for posterior application to short segments of the thoracic, lumbar or lumbosacral Spine. Design and testing [J]. Clin Orthop Relat Res, 1986, (203): 75-98.

(收稿日期: 2010-05-10 本文编辑: 王宏)