

椎间植骨融合效果与腰椎前柱组织结构及生物力学的关系*

谢鸿儒, 王欢

Relationship of lumbar interbody fusion with anterior column structure and biomechanics

Xie Hong-ru, Wang Huan

Abstract

BACKGROUND: Lumbar spine fusion is one of the most common operations for low back pain in spinal surgeons, but the clinical spine fusion rate is still low-level. How to availably promote spine fusion, raise fusion rate and clinical effect, and decrease complications is a problem for the spinal surgeon to work out.

OBJECTIVE: To summarize the relation between lumbar interbody fusion and anterior column, and to analyze the influence of structural and biomechanical changes on fusion rate.

METHODS: A computer online retrieval of CBM/CNKI/Medline for articles and reviews about lumbar interbody fusion published 1995-2009 was performed.

RESULTS AND CONCLUSION: The stability and integrality of the anterior column have notable effects on interbody fusion. In anterior lumbar interbody fusion and the fixations of anterior column fracture, we would better protect the structure and blood supply of the anterior column, and resume the integrality and stability of the anterior column to maintain the biomechanics environment of the lumbar, aiming to achieve the better fusion effect.

Xie HR, Wang H. Relationship of lumbar interbody fusion with anterior column structure and biomechanics. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(35):6611-6614. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 腰椎融合后, 椎间植骨融合率低, 是临床上亟待解决的问题。

目的: 阐述椎间植骨融合效果与腰椎前柱的关系, 分析其组织结构及生物力学发生改变后对椎体间植骨融合效果的影响。

方法: 电子检索 CBM/CNKI(2000/2010)和计算机 Medline 数据库(1995/2010)收录的腰椎椎间植骨融合的相关综述和论文报告, 找出并分析其中与前柱结构及生物力学相关的研究进展。

结果与结论: 腰椎前柱的完整性及生物力学的稳定性对椎间植骨融合的效果有显著的影响。在腰椎前路间盘切除及腰椎前柱爆裂骨折撑开内固定中, 应该着重保护好椎体前柱结构及血运, 尽量恢复腰椎前柱结构的完整性及稳定性, 维持腰椎正常的生物力学环境, 以期达到理想的椎间融合效果。

关键词: 腰椎前柱, 椎间植骨, 生物力学, 脊柱融合, 融合率

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.35.036

谢鸿儒, 王欢. 椎间植骨融合效果与腰椎前柱组织结构及生物力学的关系[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(35):6611-6614. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

Department of Spinal Trauma, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, Liaoning Province, China

Xie Hong-ru★, Studying for master's degree, Department of Spinal Trauma, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, Liaoning Province, China xiehongruspine@163.com

Correspondence to: Wang Huan, Professor, Department of Spinal Trauma, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, Liaoning Province, China spinewh@sj-hospital.org

Received: 2011-04-28
Accepted: 2011-05-09

0 引言

腰椎融合技术已有近百年历史。随着手术器械及内植物材料的不断改进, 手术理念的不断更新, 现在腰椎融合技术已成为治疗腰椎创伤骨折、脊柱肿瘤、腰椎退行性病变及脊柱发育畸形的常规技术^[1-4]。腰椎融合能使腰椎的植骨融合节段达到坚固的骨性固定, 又可撑开和维持正常的椎间融合高度^[5]。大量的临床观察表明目前所进行的腰椎融合, 有近 20% 不能达到有效的融合, 从而出现术后疼痛等并发症^[6]。由此可见, 如何有效地促进脊柱融合, 提高融合率和临床疗效, 减少并发症, 一直是脊柱外科医生亟待解决的问题。本综述从腰椎前柱结构出发, 阐述其结构的变化对腰椎椎间植骨融合效果的影响。

1 资料和方法

1.1 资料来源

检索人及检索时间: 由第一作者于 2010-09/2010-11 检索。

检索文献时间范围: 英文资料的检索时间范围为 1995/2010, 中文文献的检索时间范围为 2000/2010。

检索数据库: PubMed 数据库、中国生物医学文献数据库(CBM)、中国知识资源总库(CNKI)。

检索关键词: 英文关键词为“anterior column of lumbar, interbody fusion, biomechanics, spine fusion, fusion rate”。中文关键词为“腰椎前柱, 椎间植骨, 生物力学, 脊柱融合, 融合率”。

中国医科大学附属盛京医院脊柱创伤外科, 辽宁省沈阳市 110004

谢鸿儒★, 男, 1984 年生, 山西省运城市人, 中国医科大学在读硕士, 主要从事脊柱外科方面的研究。xiehongruspine@163.com

通讯作者: 王欢, 教授, 中国医科大学附属盛京医院脊柱创伤外科, 辽宁省沈阳市 110004 spinewh@sj-hospital.org

中图分类号: R318
文献标识码: A
文章编号: 1673-8225 (2011)35-06611-04

收稿日期: 2011-04-28
修回日期: 2011-05-09
(20101207009/YJ·W)

检索文献类型: 论著, 综述, 实验研究。

1.2 入选标准

纳入标准: ①文章内容与腰椎椎间植骨融合相关。②纳入研究对象为腰椎创伤骨折、脊柱肿瘤、腰椎退行性病变、腰椎先天发育畸形腰椎椎间植骨融合术的患者, 不限定患者年龄, 性别, 种族及地域。③比较前柱稳定性良好与前柱失稳的椎间植骨融合效果。④同一领域选择近期发表或在权威杂志上发表的文章。

排除标准: ①重复研究。②内容及数据不完整。

1.3 质量评估 对每组随机临床资料统一入选标准, 对不符合者除外, 使用原文资料, 除外重复资料、文献、资料不全者及来源于国外的资料。

1.4 数据的提取 初检得到 372 篇文献, 中文 331 篇, 英文 41 篇。阅读标题和摘要进行初筛, 排除因研究目的与此文无关的 193 篇, 内容重复性的研究 125 篇, 共保留 25 篇中英文文献做进一步分析。

2 结果

2.1 腰椎融合技术的现状及发展

2.1.1 腰椎融合技术目前的瓶颈 Fritzell 等^[7]通过对仔细选择的慢性下腰痛病例施行腰椎融合和非手术治疗进行对照研究, 发现融合治疗效果明显优于非手术治疗。然而, 在大量的腰椎融合随访后, 发现患者的预后及远期临床效果却未达到术前的预想, 出现了诸多问题。在这些问题中, 争议最多最主要就是脊柱融合率较低、融合时间较长, 临床疗效不佳。如果融合的节段达不到有效的融合, 植骨的不愈合势必造成融合节段的不稳定, 从而使异常活动增加而引起临床症状, 同时, 植骨间隙的不愈合会引起植骨块逐渐被吸收, 进而导致椎间隙的狭窄, 对神经根和脊髓产生压迫, 出现临床症状。目前, 脊柱融合中骨移植融合成骨的机制尚不明确, 现有的手术方法虽然可以达到对脊柱坚强的内固定, 但始终不能完全避免融合失败的发生, 脊柱融合失败及假关节的发生率始终较高(5%~35%)^[8]。

2.1.2 植骨融合成骨条件的研究 Brukus^[9]认为, 特定部位骨组织的生成要求 5 个基本条件: ①成骨细胞的存在。②骨传导基质。③有利的生物力学环境。④移植物的进行性血管化。⑤骨诱导刺激物的存在。由 Brukus 的骨生长理论, 可以分析出腰椎融合的影响因素: ①植骨床的构建: 植骨的成功需要经过受区骨缓慢的爬行替代过程。植骨床的血供丰富, 有利于受区有血运的骨与无血运的移植骨密切接触, 使有活性的血管肉芽组织长入移植骨。②移植骨块的大小和质量: 松质骨的成骨诱导能力优于皮质骨, 在应用皮质骨和松质骨混合移植时, 把松质骨放在外围, 使之与周围组织相接触, 骨形成快^[10]。③脊柱内固定器械的应用: 骨移植后, 脊柱的

固定很重要, 尤其是开始的 3 周。④物理因素的影响: 骨块游离后应尽快植入受区, 生理盐水、手术室的灯光、温度(超过 42 ℃)、抗生素浸泡都会影响植骨块中细胞的存活。⑤生物因素的影响: 脊柱融合的发展趋势即生物材料、组织物质的应用。

2.2 维持椎体前缘血运对椎间植骨融合的影响

2.2.1 腰椎椎间融合成骨的血供机制 椎体的血供主要有脊动脉发出的分支自椎体后正中进入椎体, 腰动脉、肋间动脉发出的分支自椎体的左、右前外侧进入椎体^[11-12]。进入椎体的血管先呈水平位向椎体中心分布, 相互吻合后以放射状向上、下发出树枝样分支, 分别伸向椎体两端, 进而在终板及终板下吻合成血管网撑, 而后伸入软骨终板内形成血管芽状结构。椎间结构的营养途径主要有纤维环途径和经椎体终板-软骨终板-椎间盘途径, 而后者对椎间结构的营养供应更为重要^[13-14]。

2.2.2 维持椎体前柱的完整性和稳定性对椎间血运的影响 腰椎爆裂骨折所致的前柱塌陷, 即使恢复了融合节段的稳定性, 椎间植骨融合效果往往较差, 可能为前柱的骨性结构的改变, 终板完整性的失去及骨折过程中出现的血管受损, 使植入物失去了理想的成骨环境, 降低了植骨融合效果^[15]。提供椎间供血的血管有可能在骨折当时, 因为前柱的压缩破坏而断裂, 使椎间血运减少, 植入物血管化延迟, 无法融合。

2.2.3 维持椎体前缘血运对椎间植骨融合的重要作用之前对脊柱融合的影响因素的研究已知在脊柱融合自体骨及异体骨移植后, 移植血液供应及新生血管的长入是影响脊柱植骨融合的重要因素^[16]。骨移植的成功需要经过受区骨缓慢的爬行替代过程, 植骨床的血供丰富, 有利于受区有血运的骨与无血运的移植骨密切接触, 使有活性的血管肉芽组织长于移植骨。因此, 在植骨时应创建理想的植骨床。椎体前柱的破坏, 使椎间血运途径遭到破坏, 植入骨成骨环境破坏, 植骨融合效果下降^[17]。

2.3 前纵韧带对椎间植骨融合的影响

2.3.1 前纵韧带的结构及作用 前纵韧带是从枕骨底部向下延伸至骶骨, 贯穿脊柱全长, 是脊柱附着韧带中最宽的, 它附着于椎间盘前面, 最窄最厚的地方是椎体前凹处。前纵韧带附着于椎间盘的附着力将明显地影响它加强椎间盘的能力, 如果此韧带很弱地附着于椎间盘的前面, 那它抵抗椎间盘前突出的能力是很有限的, 若前纵韧带对椎体缘附着减弱, 将产生一个潜在的空间, 因而, 骨赘可以在此形成。

2.3.2 前纵韧带对椎间植骨融合稳定性的影响 前纵韧带纤维是分层排列的, 最浅层伸展超过三四个椎体水平, 而较深层伸展仅超过一两个椎体水平。由于脊柱胸腰段的前纵韧带宽约 2 cm, 能有效防止植骨块向前滑出, 也起了稳定植骨块的作用。

2.3.3 前纵韧带的生物力学作用 目前, 腰椎前路植骨融合或髓核摘除均要不同程度地切断前纵韧带, 然而这并没有广泛的引起临床医生的重视。一部分术后腰痛并未缓解或复发, 其原因尚不清楚。但可以肯定有一部分是由于手术损伤前纵韧带而造成的。故腰椎前路手术时, 把对前纵韧带的损伤减少到最低限度是极为重要的。从单纯的生物力学观点看, 从脊柱的稳定性出发, 前纵韧带不应轻易破坏。Gurr 等^[18]曾比较前纵韧带断裂的单纯椎体间植骨与完整态脊柱的稳定性, 发现单纯椎体间植骨在轴压、前屈、旋转运动的稳定性明显低于完整态脊柱。尽管他没有测试后伸等运动, 但前纵韧带断裂对脊柱后伸的影响比前屈更大, 因此也不可能维持后伸的稳定性。

脊柱各运动单元的运动中心位于椎间盘内, 脊柱运动时, 越靠近运动中心的质点位移越小, 而对植骨而言, 植骨部位受运动影响越小则越有利于骨融合。保留前纵韧带植骨加内固定治疗脊柱爆裂骨折稳定性分析脊柱的瞬时转动轴位于椎体前方, 恢复了正常腰椎转动轴, 植入物在腰椎活动时有可能产生的位移较小, 有助于植入骨融合^[19]。

2.4 椎体前柱生物力学特点对椎间植骨融合的影响

2.4.1 生物力学对骨生长影响的相关研究 根据 Wolff 定律: 外部应力可以影响骨骼的形状和结构。骨的机械强度取决于骨的结构, 成熟板骨经成骨细胞和破骨细胞相互作用, 在应力轴线上成骨细胞相对活跃, 有更多的新骨使之形成坚强的板层骨; 而在应力轴线以外破骨细胞相对活跃, 使多余的骨痂逐渐被吸收而清除^[20]。在生理状况下, 骨骼的结构和功能在很大程度上依赖于其所处的力学环境, 大量的实验均表明骨生长与载荷二者之间存在相关关系; 当骨处于最佳应力环境中, 骨吸收与骨形成之间维持一种动态平衡; 当骨的力学环境改变时, 骨组织细胞也发生相应改变, 在新的基础上达到平衡^[21]。

可见应力是影响这种动态平衡的重要因素。骨小梁沿着运动所引起的骨的主应变线规则排列, 随骨生长中受力变化而改建^[22]。胶原纤维承受压应力时与骨轴线平行排列, 承受剪应力时与骨轴线垂直排列, 承受大载荷时纤维排列密集。生理应力消除或病理应力都会引起骨小梁排列紊乱, 骨质生成和吸收比例失调, 引起骨单位中胶原纤维的蚀损、断裂和排列异常, 造成骨的力学强度下降。

2.4.2 腰椎融合的生物力学研究 因为椎间融合凭借椎间隙的“撑开-压缩”原理获得初始稳定性以及融合所必须的力学环境, 所以前柱的支撑在椎间融合中十分重要。理想的前柱支撑能够恢复脊柱矢状面的平衡, 纠正冠状面上的畸形以及传导轴向的荷载并与后方的内固定一起形成合适的的应力分布以形成一个良好的融合环境。反之前柱支撑的失败会出现植入物陷入椎体,

椎间隙狭窄, 脊柱进行性的后凸畸形, 假关节的形成以及内固定物的断裂等并最终导致融合的失败。

2.4.3 前柱结构的完整性对椎间植骨融合的影响 脊柱手术入路选择的原则从生物力学观点上讲, 应选择稳定性较差的一侧, 多数为伤侧, 这有利于保护脊柱残存的稳定结构。另外, 与融合同侧行内固定可充分利用残存脊柱结构的支撑作用。伴随稳定结构的破坏, 瞬间旋转轴发生移动, 基本规律是瞬间旋转轴移向损伤侧的相反方向, 即向无损伤处的脊椎稳定结构移动^[23]。脊柱后方不稳为主时, 例如, 胸椎的屈曲牵拉损伤或颈椎的后方减压术后, 瞬间旋转轴向前方移动; 以前方不稳为主的椎体爆裂骨折瞬间旋转轴移向后方。根据生物力学观点, 脊柱融合建立在远离瞬间旋转轴的一侧比较有利。实际上, 保留残存稳定结构的手术入路侧融合与在远离瞬间旋转轴侧融合同义^[24]。

生物力学研究表明, 除上颈椎外, 中下段颈椎后方结构的载荷分担率大于前方; 有胸廓支撑的胸椎其前后方结构的垂直载荷分担率尚未明确; 在胸腰椎移行部, 其前方结构的载荷分担率在所有脊椎节段中最高; Yu^[25]证实腰椎前后方结构的垂直载荷分担率为 7 : 3, 胸腰段脊柱的前柱和中柱承受人体 80% 的质量负荷, 而后柱结构仅分担 20%。因此, 在胸腰段至腰骶椎区域的脊柱重建中, 获得脊柱前方承载能力的重要性较其他脊椎节段尤为重要。因此, 尽早的在术中恢复前柱结构, 从生物力学上讲更有助于脊柱稳定性的恢复, 减少植入物的活动及维持正常椎间高度, 有助于植骨融合。

3 讨论

腰椎前柱的完整性和稳定性对椎间植骨融合的效果有显著的影响。椎体前柱结构中的前纵韧带及前路的血运在其中发挥了至关重要的作用, 因此, 无论是在腰椎前路间盘切除手术中, 还是腰椎前柱爆裂骨折撑开内固定术中, 都应该着重保护好前纵韧带及椎体前缘的血运, 尽量恢复腰椎前柱结构的完整性及稳定性, 维持腰椎正常的生物力学环境, 以期达到理想的椎间融合效果, 减少术后并发症的出现。

4 参考文献

- [1] Feiertag MA, Boden SD, Schimandle JH, et al. A rabbit model for nonunion of lumbar intertransverse process spine arthrodesis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(1):27-31.
- [2] Delawi D, Dhert WJ, Castelein RM, et al. The incidence of donor site pain after bone graft harvesting from the posterior iliac crest may be overestimated: a study on spine fracture patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(17):1865-1868.
- [3] Hanley EN Jr, David SM. Lumbar arthrodesis for the treatment of back pain. *J Bone Joint Surg Am*. 1999;81(5):716-730.
- [4] 王大伟, 韩士章. 腰椎后外侧融合术[J]. 中国矫形外科杂志, 2004, 12(5):374-376.
- [5] Kozak JA, Heilman AE, O'Brien JP. Anterior lumbar fusion options. Technique and graft materials. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(300):45-51.

- [6] Ekman P, Möller H, Tullberg T, et al. Posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(20):2178-2183.
- [7] Fritzell P, Hägg O, Wessberg P, et al. 2001 Volvo Award Winner in Clinical Studies: Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: a multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(23):2521-2534.
- [8] 李忠伟, 金格勒, 唐周舟, 等. 外源性重组人骨形态发生蛋白-2应用于兔腰椎植骨融合中细胞增殖的实验研究[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2009, 12(5):464-469.
- [9] Burkus JK. Surgical treatment of the painful motion segment: matching technology with indications. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(16 Suppl):S7-15.
- [10] 胥少汀, 葛宝丰, 徐印坎. *实用骨科学*[M]. 2版. 北京: 人民军医出版社, 1999:1673.
- [11] Bridwell KH, Lenke LG, McEnery KW, et al. Anterior fresh frozen structural allografts in the thoracic and lumbar spine. Do they work if combined with posterior fusion and instrumentation in adult patients with kyphosis or anterior column defects? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(12):1410-1418.
- [12] Buttermann GR, Glazer PA, Hu SS, et al. Revision of failed lumbar fusions. A comparison of anterior autograft and allograft. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(23):2748-2755.
- [13] Crock HV, Bedbrook G. *Practice of Spinal Surgery*. New York: Springer Verlag, 1983.
- [14] Buttermann GR, Glazer PA, Bradford DS. The use of bone allografts in the spine. *Clin Orthop Relat Res*. 1996;(324):75-85.
- [15] Tezzer G, Bulut O, Tukenmez M, et al. Long segment instrumentation of thoracolumbar burst fracture: fusion versus nonfusion. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2009;22(2):107-112.
- [16] 初同伟, 王正国, 朱佩芳, 等. 血管内皮生长因子对骨折愈合相关因子表达的调控[J]. *中华骨科杂志*, 2003, 23(4):235-238.
- [17] 胡有谷, 党耕町, 唐天驰. *脊柱外科学*[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000: 2211.
- [18] Gurr KR, McAfee PC, Shih CM. Biomechanical analysis of anterior and posterior instrumentation systems after corpectomy. A calf-spine model. *J Bone Joint Surg Am*. 1988;70(8):1182-1191.
- [19] 戴力扬. 胸腰椎爆裂性骨折损伤机理的生物力学研究[J]. *医用生物力学*, 2000, 15(1):19.
- [20] 苏宝金, 贝抗胜. 骨膜细胞在骨组织工程中的应用[J]. *中国组织工程与临床康复*, 2009, 13(2):349-353.
- [21] 戴克戎, 郑诚功. *骨科生物力学暨大学生物学*[M]. 3版. 济南: 山东科学技术出版社, 2009:256-267.
- [22] 裘世静. 接骨板内固定后骨胶原纤维的变化[J]. *上海第二医科大学学报*, 1991(1):5.
- [23] Oxland TR, Panjabi MM, Lin RM. Axes of motion of thoracolumbar burst fractures. *J Spinal Disord*. 1994;7(2):130-138.
- [24] Pal GP, Routal RV, Saggi SK. The orientation of the articular facets of the zygapophyseal joints at the cervical and upper thoracic region. *J Anat*. 2001;198(Pt 4):431-441.
- [25] Yu BS. Biomechanical comparison of the posterolateral fusion and posterior lumbar interbody fusion using pedicle screw fixation system for unstable lumbar spine. *Hokkaido Igaku Zasshi*. 2003; 78(3):211-218.

关于作者: 第一作者构思并设计本综述, 第一作者解析相关数据, 经 4 次修改 2 次审校, 所有作者共同起草, 第一作者对本文负责。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

此问题的已知信息: 目前腰椎融合研究的热点集中在植骨融合材料的改进, 内固定器械的等改进方面, 但文献显示所有上述技术改进对融合率和临床疗效均无显著影响。

本综述增加的新信息: 在上述实验研究的基础上, 本文以腰椎前柱自身结构改变时产生的稳定性和完整性的变化为切入点, 从植入物的血供及融合节段生物力学的变化出发, 阐述其对椎间植骨融合效果的影响。



本刊已出版 “脊柱外科植入物的生物力学” 热点文章题录: 学术部

骶2椎弓根钉内进钉固定拧紧力与骶骨的应变分布规律

【关键词】 骶2椎弓根固定; 拧紧力; 应变电测量; 应变分布规律

Spine 2000 脊柱三维运动分析系统评估腰椎椎弓崩裂后4种植人体内固定的生物力学

【关键词】 腰椎; 脊柱损伤; 内固定器; 生物力学; 组织构建

记忆合金加压钉置入对幼年山羊胸椎生长方向的影响

【关键词】 脊柱前凸; 山羊; 记忆合金; 加压钉; 医学植入体; 生物力学

自制椎板钩分散椎弓根螺钉系统应力作用的有限元分析

【基金】 2002年度广东省科技计划重点项目资

助(2002C30206)

【关键词】 椎弓根螺钉; 椎板钩; 有限元分析

腰椎新型动态固定系统腰椎后路固定融合的生物力学性能

【关键词】 腰椎; 椎间融合术; 动态固定; 内固定; 生物力学

三维CT测量在髋膝关节个体化置钉中的应用

【基金】 邯郸市科学技术研究与发展计划项目(0823108064)

【关键词】 螺旋CT; 髋膝关节; 内固定

伤椎传统短节段椎弓根螺钉固定与附加椎弓根螺钉固定后椎体生物力学稳定性的比较

【基金】 广东省自然科学基金团队项目(200230010)

【关键词】 椎弓根螺钉; 生物力学; 运动范围

后路4椎6钉置入治疗胸腰椎相邻两节段骨折的生物力学特点

【关键词】 相邻型; 胸腰椎骨折; 手术治疗

不同外倾角脊柱椎弓根螺钉置入机体后的内固定效果:生物力学评价

【关键词】 外倾角; 椎弓根螺钉; 横向牵引装置; 内固定; 生物力学; 把持力

以三维有限元模型分析短节段腰椎椎弓根螺钉系统固定后螺钉应力的分布

【关键词】 腰椎; 椎弓根螺钉固定; 生物力学; 有限元分析

经皮椎弓根植器械与新型脊柱外固定联合应用的力学评价

【关键词】 胸腰椎; 椎体骨折; 经椎弓根植骨; 外固定; 生物力学