

新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的生物力学性能及在骨质疏松性腰椎退变中的应用

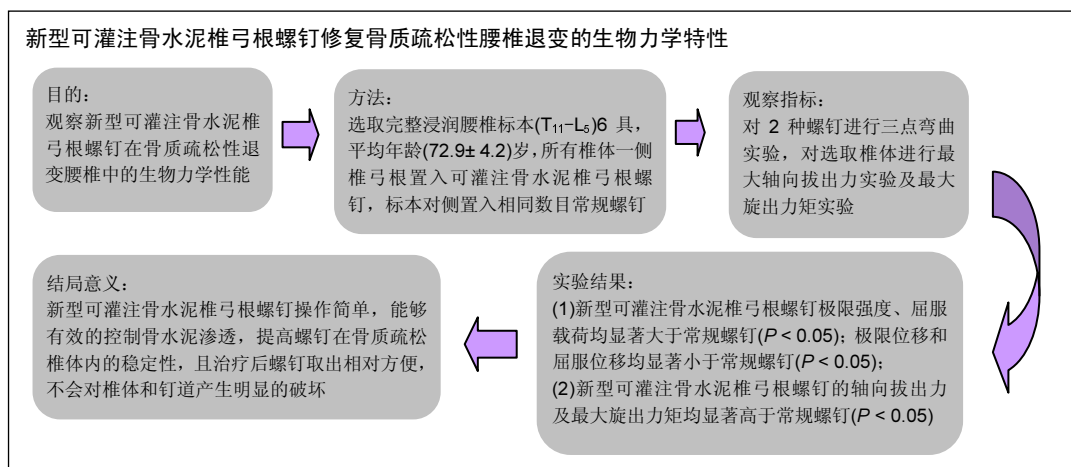
刘 扬, 刘 丹, 肖运祥, 陈海丹, 赵红卫(三峡大学第一临床医学院, 宜昌市中心人民医院脊柱外科, 三峡大学脊柱医学与创伤研究所, 湖北省宜昌市 443000)

引用本文: 刘扬, 刘丹, 肖运祥, 陈海丹, 赵红卫. 新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的生物力学性能及在骨质疏松性腰椎退变中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(31):4671-4676.

DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2016.31.016

ORCID: 0000-0001-7077-0455(刘扬)

文章快速阅读:



刘扬, 男, 1980年生, 湖北省宜昌市人, 2012年武汉大学基础医学院毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱外科、下腰椎退行性病变外科治疗方面的研究。

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2016)31-04671-06

稿件接受: 2016-05-07

文题释义:

椎弓根螺钉: 类同于一般骨螺钉, 需要螺钉周围骨质紧密把持获得稳定性。但是, 对于骨质疏松症患者而言, 钉道周围骨质脆弱, 难以把持椎弓根螺钉, 容易造成椎弓根螺钉的松动或拔出, 导致内固定失效或假关节形成, 部分学者将其视为禁忌证。

新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉: 和常规螺钉相比优势较多, 该螺钉最主要的创新性在于特殊设计的螺钉内部的中空部分和远端螺钉处的侧孔分布, 并且采用相应的配套设计的骨水泥推杆和灌注筒, 保证螺钉和骨水泥的结合时操作更加简单, 具有更强的操作性。

摘要

背景: 老年性骨质疏松患者由于机体骨质的脆弱, 容易造成椎弓根螺钉固定能力得到进一步削弱。因此骨质疏松性腰椎退变患者采用椎弓根螺钉修复时骨水泥渗漏以及螺钉取出量等问题难以解决。

目的: 探讨新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的生物力学性能及在骨质疏松性腰椎退变患者中的应用效果。

方法: 选取完整浸润腰椎标本(T₁₁-L₅)6具, 平均年龄(72.9±4.2)岁, 共42个椎体, 平均骨密度为0.696 g/cm²。所有椎体任意选取一侧椎弓根置入可灌注骨水泥椎弓根螺钉, 采用水泥推杆和灌注筒在X射线透视下灌注2 mL骨水泥; 在椎体标本对侧置入相同数目常规螺钉。对2种螺钉进行三点弯曲实验, 对选取椎体进行最大轴向拔出力实验及最大旋出力矩实验, 观察椎体的破坏情况及螺钉置入效果。

结果与结论: ①新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉极限强度、屈服载荷均显著大于常规螺钉($P < 0.05$); 极限位移和屈服位移均显著小于常规螺钉($P < 0.05$); ②新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的轴向拔出力及最大旋出力矩均显著高于常规螺钉($P < 0.05$); ③综上所述, 新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉操作简单, 能够有效的控制骨水泥渗透, 提高螺钉在骨质疏松椎体内的稳定性, 且治疗后螺钉取出相对方便, 不会对椎体和钉道产生明显的破坏, 促进机体早期恢复。

关键词:

骨科植入物; 脊柱植入物; 骨质疏松; 腰椎退变; 骨水泥; 椎弓根螺钉; 生物力学; 轴向拔出力; 旋出力矩; 稳定性

主题词:

腰椎; 骨质疏松; 生物力学; 组织工程

Liu Yang, Master,
Attending physician, First
Clinical Medical College of
China Three Gorges
University, Department of
Spine Surgery of Yichang
Central People's Hospital,
Institute of Spinal Medicine
and Trauma of China
Three Gorges University,
Yichang 443000, Hubei
Province, China

Biomechanical properties of a novel pourable cement pedicle screw and its application to osteoporotic lumbar degeneration

Liu Yang, Liu Dan, Xiao Yun-xiang, Chen Hai-dan, Zhao Hong-wei (First Clinical Medical College of China Three Gorges University, Department of Spine Surgery of Yichang Central People's Hospital, Institute of Spinal Medicine and Trauma of China Three Gorges University, Yichang 443000, Hubei Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Fragile bone in senile osteoporosis patients easily weakened pedicle screw fixation capacity. Therefore, bone cement leakage and screw removal cannot be solved during pedicle screw repair in osteoporotic patients with degenerative lumbar spine.

OBJECTIVE: To investigate the biomechanical properties of novel pourable pedicle screws and bone cement application effect in osteoporotic patients with degenerative lumbar spine.

METHODS: Six lumbar specimens (T_{11} - L_5) at the mean age of (72.9 ± 4.2) years were selected, totally 42 vertebrae. The average bone density was 0.696 g/cm^2 . Any side of all vertebrae was inserted with pourable pedicle screws. 2 mL of bone cement was perfused under the X-ray fluoroscopy with cement push rod and filling cylinder. The same number of conventional screws was inserted into the opposite side of the samples. Three-point bending test was performed in two kinds of screws. The maximum vertebral axial pullout force test and the maximum spin torque test were conducted in vertebra to observe the destruction of the vertebral body and implanted effect.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) The ultimate strength and yield load of novel pourable cement pedicle screws were significantly more than conventional screws ($P < 0.05$). Ultimate displacement and yield displacement were significantly less in novel pourable cement pedicle screws than in conventional screws ($P < 0.05$). (2) The maximum vertebral axial pullout force and the maximum spin torque were significantly higher in novel pourable pedicle screws than in conventional screws ($P < 0.05$). (3) In summary, novel pourable cement pedicle screw is simple to operate, can effectively control bone cement penetration, and improve screw stability in osteoporotic vertebrae. Moreover, after treatment, the removal of screws is convenient, cannot evidently destroy vertebral body or screw channel, and promote early recovery.

Subject headings: Lumbar Vertebrae; Osteoporosis; Biomechanics; Tissue Engineering

Cite this article: Liu Y, Liu D, Xiao YX, Chen HD, Zhao HW. Biomechanical properties of a novel pourable cement pedicle screw and its application to osteoporotic lumbar degeneration. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2016;20(31):4671-4676.

0 引言 Introduction

骨质疏松是临床上常见的疾病,且近年来该疾病发生率呈现上升趋势,患者发病后临床上主要以疼痛、活动不便等为主,影响患者健康^[1]。腰椎退变包括腰椎滑脱、椎管狭窄以及椎间盘突出,而骨质疏松属于其中一种,以低骨量和骨组织破坏为主,严重者甚至引起脆性增加、全身性疾病,导致椎体形态、生理、力学性能均发生明显的变化,影响患者健康^[2-5]。目前临床上对于骨质性腰椎退变尚缺乏理想的治疗方法,更多的研究集中在骨质疏松和脊柱退行性疾病的关系,导致临床治疗预后较差^[6-7]。椎弓根螺钉类同于一般骨螺钉,需要螺钉周围骨质紧密把持获得稳定性。但是,对于骨质疏松症患者而言,钉道周围骨质脆弱,难以把持椎弓根螺钉,容易造成椎弓根螺钉的松动或拔出,导致内固定失效或假关节形成,部分学者将其视为禁忌证。因此,临床上如何改善、提高骨质疏松椎体内椎弓根螺钉置入的稳定性,减少松动或脱出并发症发

生率成为研究热点。

增强螺钉稳定性研究历史悠久,方法也相对较多。相关学者研究结果显示,圆锥形螺钉的稳定性显著高于圆柱螺钉,其固定强度更高。国外学者采用大直径螺钉、穿透椎体前方皮质,并利用聚甲基丙烯酸甲酯强化的方法的增强螺钉的稳定性^[8-9]。目前,常用的向螺钉成形孔道内添加各种能逐渐凝固的凝胶状骨黏合剂,包括聚甲基丙烯酸甲酯、磷酸钙骨水泥等,均能发挥较好的椎弓根螺钉固定效果^[10]。但是,骨水泥使用时容易出现骨水泥灌注时渗漏、螺钉取出等并发症,导致临床应用存在较大的限制。相关学者通过对螺钉进行创新性设计,并尝试改变骨水泥强化方法,以期待解决上述问题^[11-12]。但是,从结果来看整体的应用效果并不显著,运用于临床上存在诸多问题^[13]。

文章选取完整浸润的腰椎标本(T_{11} - L_5)6具,探讨新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的生物力学性能及其在骨质疏松性腰椎退变患者中的应用效果。

1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 对比观察尸体标本实验。

1.2 时间及地点 于2015年1至11月在三峡大学脊柱医学与创伤研究所完成。

1.3 材料

1.3.1 腰椎标本 文章选取三峡大学脊柱医学与创伤研究所提供的完整浸润腰椎标本(T_{11} - L_5)6具,共有42个椎体;年龄64.6-83.9岁,平均(72.9 ± 4.2)岁;身高169.1-178.2 cm,平均(171.2 ± 2.1) cm;体质量68-72 kg,平均(70.1 ± 1.2) kg;平均骨密度(0.696 ± 0.140) g/cm^2 。

入选腰椎标本均经过X射线检查确诊为骨质疏松性腰椎退变;排除先天性畸形、骨折、肿瘤腰椎。

1.3.2 常规螺钉 螺钉由钛合金组成,直径6.5 mm,钉长40-45 mm。螺钉置入时 L_1 - L_3 螺钉应与矢状面呈 5° - 10° 内倾夹角, L_4 - L_5 螺钉与矢状面呈现 10° - 15° 内倾角, L_1 - L_4 应与水平面平行。由于 L_5 椎体本身倾斜,进针方向应与水平面呈 10° 。

1.3.3 新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉 主要以枢法模CD2型椎弓根螺钉为基础进行设计,该螺钉直径5.5 mm,螺纹段长40 mm,共15圈螺纹。该螺钉尾段为渐起宽浅偏梯形螺纹,从尾向头逐渐锐利,从头部为锐利自攻深偏梯形螺纹,螺纹深度为1 mm,且随着螺钉的不断旋入,把持力得到明显的增加^[14-15]。同时,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉采用中空设计,直径2 mm,U型槽内中空尾端内径得到增加,见图1。

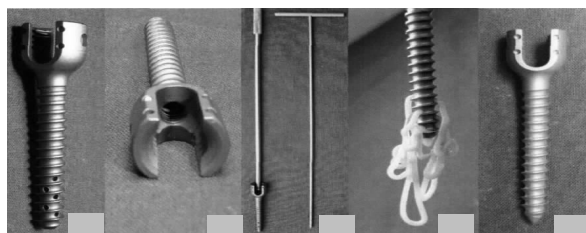


图1 新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉

Figure 1 Novel pourable cement pedicle screw

新型螺钉设计时采用中空设计,中空部分位于螺钉中心部位,直径为2.0 mm,U型槽内中空孔的尾端内径增加,设计成能和灌注筒外径匹配的螺纹结构。螺纹远1/3段前6圈按照十字交叉有4排侧孔,侧孔直径1.3 mm,U型槽方向上下各2个,另两个方向各为3个。

1.4 方法

1.4.1 实验方法 所有椎体任意选取一侧椎弓根置入可灌注骨水泥椎弓根螺钉,采用水泥推杆和灌注筒在X射线透视下灌注2 mL骨水泥(通用(上海)医疗器材有限公司),在脊柱标本对侧置入相同数目常规螺钉,拧入深

度为钉点到椎体前侧皮质距离的80%-90%^[16]。

1.4.2 生物性能测定方法

三点弯曲实验: 分别取10个可灌注骨水泥椎弓根螺钉以及10个常规椎弓根螺钉,将其放置在材料机上(美国BOSE公司)进行三点弯曲实验。将螺钉放置在自制的夹具上,对螺钉椎弓根部开始施加垂直压力,直到螺钉弯曲,记录螺钉弯曲时的最大载荷^[17]。

最大轴向拔出力实验: 取20个椎体将其放在材料机上进行最大轴向拔出力实验。采用自制夹具固定在材料上,待固定后沿着椎弓根长轴方法以10 mm/min的加载速度进行拔出实验,待螺钉破坏后停止,记录破坏时的最大轴向拔出力^[18]。

最大旋出力矩实验: 取22个椎体放入材料机上,采用自制夹具进行固定,在椎弓根螺钉尾端U型部位安置连接器,采用240 ($^\circ$)/min角度进行旋出,待螺钉失效后,记录最大旋出力矩^[19]。

1.5 主要观察指标 对2种螺钉进行三点弯曲实验,对选取椎体进行最大轴向拔出力实验及最大旋出力矩实验,观察椎体的破坏情况及螺钉置入效果。

1.6 统计学分析 采用SPSS 18.0软件对采集到的数据进行分析,其中符合正态分布的数据进行单因素方差分析,存在统计学意义予以LSD法两两比较。 $P < 0.05$ 提示经比较2组数据间差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 实验标本数量分析 纳入6具骨质疏松性腰椎退变标本,全部进入结果分析,中途无不符合要求、损坏标本。

2.2 两种椎弓根螺钉的三点弯曲实验结果比较 新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的极限强度、屈服载荷均显著大于常规螺钉($P < 0.05$),极限位移和屈服位移均显著小于常规螺钉($P < 0.05$),见表1。

从图2可以看出,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉和常规螺钉相比极限强度和屈服强度差异有显著性意义($P < 0.05$);新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉和常规螺钉相比极限位移和屈服位移更短,由此看出,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉更加稳定,生物力学更强。

2.3 两种椎弓根螺钉的轴向拔出力比较 结果显示,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的轴向拔出力显著大于常规螺钉($P < 0.05$),见图3。

2.4 两种椎弓根螺钉的最大旋出力矩比较 结果显示,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的最大旋出力矩显著大于常规螺钉($P < 0.05$),见图4。

表 1 两种椎弓根螺钉的三点弯曲实验指标比较

($\bar{x} \pm s$, $n=10$)

Table 1 Comparison of three-point bending test indexes of two kinds of pedicle screws

螺钉类型	极限强度(N)	极限位移(mm)	屈服载荷(N)	屈服位移(mm)
新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉	3 534.00±321.00	21.12±2.50	2 632.00±170.00	11.25±1.42
常规螺钉	3 082.00±144.00	24.78±2.12	2 342.00±154.00	13.10±53.00
<i>t</i>	20.77	19.88	23.51	21.24
<i>P</i>	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

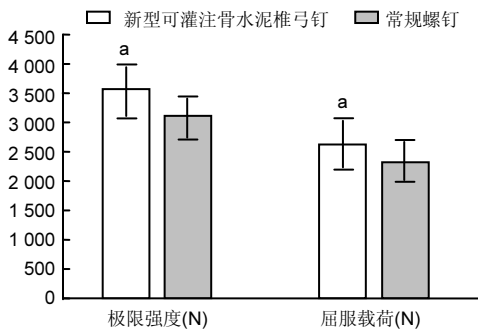


图 3 两种椎弓根螺钉的轴向拔出力比较

Figure 3 Comparison of axial pullout force of two kinds of pedicle screws

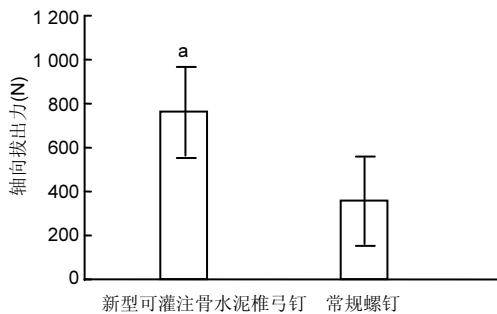
图注: 与常规螺钉比较, $^aP < 0.05$ 。

图 4 两种椎弓根螺钉的最大旋出力矩比较

Figure 4 Comparison of maximum spin torque of two kinds of pedicle screws

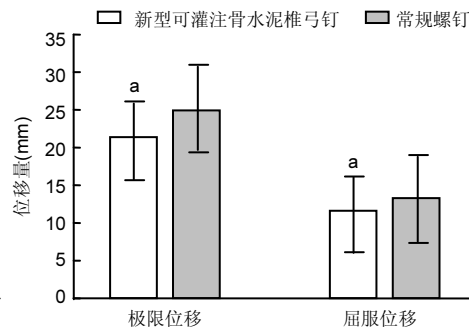
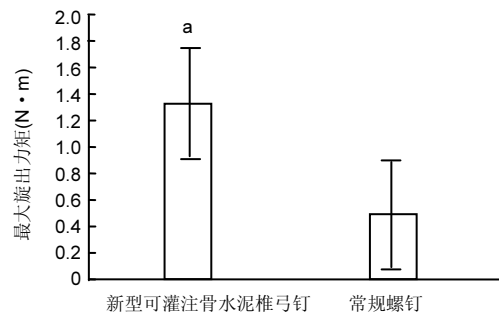
图注: 与常规螺钉比较, $^aP < 0.05$ 。

图 2 两种椎弓根螺钉的三点弯曲实验结果比较

Figure 2 Comparison of three-point bending test results of the two kinds of pedicle screws

图注: 与常规螺钉比较, $^aP < 0.05$ 。新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的极限强度、屈服载荷均显著大于常规螺钉($P < 0.05$), 极限位移和屈服位移均显著小于常规螺钉($P < 0.05$)。

3 讨论 Discussion

老年性骨质疏松合并脊柱退行性变、滑脱、脊柱不稳等疾病患者多数需要进行后路椎弓根螺钉系统进行治疗, 该方法虽然能够改善患者症状, 但是长期疗效欠佳^[20-21]。患者发病后, 由于伴有骨质疏松, 导致机体缺乏足够的骨质把持椎弓根螺钉, 导致螺钉的固定强度得到进一步下降, 增加了患者治疗后并发症风险, 最终引起治疗的失败^[22-23]。目前, 临床上对于老年性骨质疏松合并脊柱退行性变采用椎弓根治疗后采用骨水泥方法进行强化, 利用预先准备好的钉道, 使用注射器向钉道内注入骨水泥, 通过螺钉的挤压使得骨水泥弥散在螺钉周围骨松质, 待骨水泥在机体内凝固后能够保证螺钉、骨水泥以及钉道等相互融合在一起, 从而增强螺钉的稳定性^[24-25]。但是, 该方法在使用过程中容易引起严重的

并发症, 如骨水泥回流渗漏、骨水泥从钉道的返流溢出等, 损伤机体神经, 同时, 该方法治疗时后期取钉也相对比较困难, 从而限制了临床应用^[26-27]。

常用的脊柱内植入材料包括不锈钢、普通纯钛和钛-铝-钒合金, 且合金的标准由美国实验与材料学会(ASTM)制定。常用的不锈钢有 50 多种, 仅有 2 种在骨科内植物中得到广泛的应用。近年来, 新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉在老年性骨质疏松合并脊柱退行性变中得到应用, 且效果理想。

新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉和常规螺钉相比优势较多, 该螺钉最主要的创新性在于特殊设计的螺钉内部的中空部分和远端螺钉处的侧孔分布, 并且采用相应的配套设计的骨水泥推杆和灌注筒, 保证螺钉和骨水泥的结合时操作更加简单, 具有更强的操作性^[28-29]。新型可

灌注骨水泥螺钉在常规螺钉基础上改良设计,在螺钉内部设计由中空部分,在螺钉远端能提供骨水泥弥散的多个侧孔,能提高螺钉机械性和方便骨水泥灌注。相关学者进行了一次实验,实验中在脊柱标本上对相似大小的圆锥形螺钉和圆柱形螺钉进行研究,结果显示,2种螺钉轴向拔出强度差异无显著性意义($P < 0.05$),但是圆锥形螺钉比圆形螺钉能增加螺钉的旋入力矩。同时患者治疗时采用常规螺钉后采用相配套的器械加压灌注在团状的初期骨水泥,保证骨水泥能够置入椎弓根螺钉的中空部分,使得螺钉、经远端测控弥散的骨水泥能够与周围椎体紧密连接在一起,从而能够进一步提高螺钉的稳定性^[30-31]。此外,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉还能够有效的控制骨水泥的渗漏,具有强化作用^[32]。而生物力学实验分析显示,当椎弓根螺钉拧入椎体并连接固定杆后,其尾端承受压力及其他应力,椎体的顶杆部分承受约束力,金属屈服点便能集中在螺钉的椎弓根钻孔区即螺钉颈部。螺钉颈部直径越小,越容易发生变形、疲劳断裂。因此,增加螺钉颈部的直径将会进一步提高其刚度和强度。

相关学者对螺钉进行改进,首次提出了柱状锥形螺钉的概念,即螺钉外直径不变,内直径为锥形,使得整个钉部的强度均匀增加,能有效的克服螺钉颈部强度突变情况,能获得更大的旋入力和抗拔出力,更可靠的稳定性。文章中新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉极限强度、屈服载荷显著大于常规螺钉($P < 0.05$);新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉极限位移和屈服位移显著小于常规螺钉($P < 0.05$)。由此看出,三点弯曲实验更加符合椎弓根螺钉置入机体后的受力状态。椎弓根螺钉置入机体后,能够在螺钉的钉棒/板结合部、螺钉椎弓根部等产生应力集中^[33-34]。从生物力学性能可以看出,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉和常规螺钉相比极限强度和屈服强度差异有显著性意义($P < 0.05$);新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉和常规螺钉相比极限位移和屈服位移更短,由此看出,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉更加稳定,生物力学更强。新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉在设计过程中,在螺钉容易发生断裂的部位保留较多的金属材质,如螺钉近端为宽梯形螺纹、侧孔仅位于螺钉远端、中空直径小等。文章中新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉轴向拔出力显著大于常规螺钉($P < 0.05$)。由此看出,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉能够较好的配合骨水泥的灌注,能够更好的满足机械性能。文章中新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉的最大旋出力矩显著大于常规螺钉($P < 0.05$)。

综上所述,新型可灌注骨水泥椎弓根螺钉操作简单,能够有效的控制骨水泥渗透,提高螺钉在骨质疏松椎体内的稳定性,且治疗后螺钉取出相对方便,不会对椎体和钉道产生明显的破坏,从而促进机体早期恢复,具有较高的临床应用价值。

致谢: 感谢三峡大学解剖教研室的大力支持与帮助。

作者贡献: 所有的作者均参与文章的设计,实施和评估。

利益冲突: 所有作者共同认可文章内容不涉及相关利益冲突。

伦理问题: 尸体标本实验方案获医院伦理委员会批准。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 文章经国内小同行外审专家双盲外审,符合本刊发稿宗旨。

作者声明: 第一作者刘扬对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁,可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

4 参考文献 References

- [1] 张春文.肌肉运动协调性训练与推拿治疗腰椎退行性骨关节病的疗效观察[J].中国医药指南,2013,24(36): 451-452.
- [2] Whedon JM, Song Y, Davis MA, et al. Use of chiropractic spinal manipulation in older adults is strongly correlated with supply. Spine (Phila Pa 1976). 2012; 37(20):1771-1777.
- [3] 高群兴,张盛强,朱干.推拿配合调曲牵引治疗腰椎间盘突出症疗效与腰椎生理曲度的相关性[J].按摩与康复医学, 2014,32(8):35-37.
- [4] 赵立胜.针灸推拿治疗腰椎间盘突出症68例临床观察[J].临床合理用药杂志,2013,24(32):565-568.
- [5] Kubinyi M, Kreibich O, Neuzil J, et al. EMAT noise suppression using information fusion in stationary wavelet packets. IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control. 2011;58(5): 1027-1036.
- [6] 麦胡强.切开复位胫骨远端解剖钢板内固定术治疗胫骨 Pilon骨折的临床效果[J].实用医学杂志,2014,30(14): 2256-2257.
- [7] 林焱斌,林伟,林任,等.改良组合术式治疗复杂胫骨平台骨折的疗效分析[J].中华创伤骨科杂志,2014,16(7): 632-635.

- [8] Zou J,Zhang W,Zhang CQ. Comparison of minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis with open reduction and internal fixation for treatment of extra-articular distal tibia fractures.Injury.2013; 44(8): 1102-1106.
- [9] Ponnusamy KE,Iyer S,Gupta G,et al. Instrumentation of the osteoporotic spine: biomechanical and clinical considerations.Spine J. 2011; 11(1): 54-63.
- [10] Xavier F,Goldwyn E,Hayes W,et al. A comparison of the compressive strength of various distal locking screw options in the treatment of tibia fractures with intramedullary nails. J Long Term Eff Med Implants. 2011;21(3):185-192.
- [11] Shim VB,Boshme J,Vaitl P,et al. An efficient and accurate prediction of the stability of percutaneous fixation of acetabular fractureswith finite element simulation.J Biomech Eng. 2011;133(9): 094501.
- [12] Liu D,Wu ZX,Pan XM,et al. Biomechanical comparison of different techniques in primary spinal surgery in osteoporotic cadaveric lumbar vertebrae: expansive pedicle screw versus polymethylmethacrylate-augmented pedicle screw. Arch Orthop Trauma Surg. 2011;131(9):1227-1232.
- [13] 李伟,张宏,曹丽君,等. 脊柱腰段正常及骨质疏松三维有限元数字模型的建立[J]. 中国组织工程研究,2013,17(9): 1521-1526.
- [14] 张国栋,毛文玉,廖维靖,等. 基于三维重建技术及有限元分析的脊柱骨密度测量及其意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2010,28(1):78-84.
- [15] Gong HS,Oh WS,Chung MS,et al. Patients with wrist fractures are less likely to be evaluated and managed for osteoporosis.J Bone Joint Surg(Am). 2009;91(10): 2376-2380.
- [16] 陈志文,丁真奇,黄哲元,等. 椎弓根钉固定在骨质疏松椎体压缩骨折中的应用[J]. 实用骨科杂志,2009,15(3): 205-206.
- [17] 梁天龙,蒋礼源,郑小春,等. 经椎旁肌间隙入路伤椎植骨内固定治疗胸腰椎爆裂性骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2010,18(14):1212-1214.
- [18] Klazen CA,Lohle PN,de Vries J,et al. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos III):an open-label randomised trial. Lancet.2010;376(9746): 1085-1092.
- [19] 刘保新,王力平,徐敏,等. 骨质疏松性胸腰椎骨折 PVP术后残余腰背痛的诊治[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2010, 25(9):852-853.
- [20] Cagli S,Isik HS,Zileli M. Vertebroplasty and kyphoplasty under local anesthesia:review of 91 patients. Turk Neurosurg. 2010;20(4):464-469.
- [21] Rollinghoff M,Zarghooni K,Dargel J,et al. The present role of vertebroplasty and kyphoplasty in the treatment of fresh vertebral compression fractures. Minerva Chir. 2010;65(4):429-437.
- [22] 李宁,李霞,邓桂,等. 下关节突切除椎管有限减压治疗退行性腰椎管狭窄症[J]. 医学综述,2012,18(22): 3899-3901.
- [23] Smorgick Y,Park DK,Baker KC,et al. Single-versus multilevel fusion for single-level degenerative spondylolisthesis and multilevel lumbarstenosis: four-year results of the spine patient outcomes research trial. Spine (Phila Pa 1976). 2013;38(10):797-805.
- [24] Wong WH.Mild interlaminar decompression for the treatment of lumbar spinal stenosis: procedure description and case series with 1-year follow-up. Clin J Pain. 2012;28(6): 534-538.
- [25] 张功林,葛宝丰. 有限减压治疗腰椎管狭窄症进展[J]. 生物骨科材料与临床研究,2009,6(6):35-37.
- [26] 金格勒,吴超,哈巴西·卡肯,等. 有限椎板切除减压内固定治疗退行性腰椎管狭窄症的疗效分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2008,18(12):905-909.
- [27] 赵为民. 壮腰健肾丸对老年骨质疏松性腰椎压缩性骨折愈合的影响[J]. 时珍国医国药,2011;22(11):2811-2812.
- [28] 郑开达,李俊豪. 补肾壮骨活血汤治疗原发性骨质疏松症合并胸腰椎压缩性骨折的疗效观察[J]. 按摩与康复医学 (下旬刊),2012;3(9): 182-183.
- [29] 柯良骏,徐杰. 健腰壮骨汤辅助治疗老年骨质疏松性腰椎压缩性骨折临床观察[J]. 中国中医急症,2014;23(6): 1138-1139.
- [30] 肖进飞,张阳,李放,等. Dynesys动态内固定与融合术治疗 L4/5单节段退变疾病的疗效对比[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014,24(10):873-878.
- [31] 卫沛然,邹德威,陈晓明,等. 后路减压Dynesys动态固定与后路减压融合内固定治疗单节段腰椎退行性疾病的临床疗效的比较[J]. 颈腰痛杂志,2014,35(2):90-95.
- [32] 张阳,李放,单建林,等. Dynesys动态内固定与融合术治疗腰椎退变疾病的对比研究[J]. 脊柱外科杂志,2014,12(1): 19-24.
- [33] Sangiorgio S,Sheikh H,Borkowski SL,et al. Comparison of three posterior dynamic stabilization devices. Spine. 2011;36(19): 1251-1258.
- [34] Li HP,Li F,Guan K,et al. Dynesys dynamic stabilization system for the lumbar degenerative disease: a preliminary report from China. Chin Med J. 2013; 126(22): 4265-4269.