

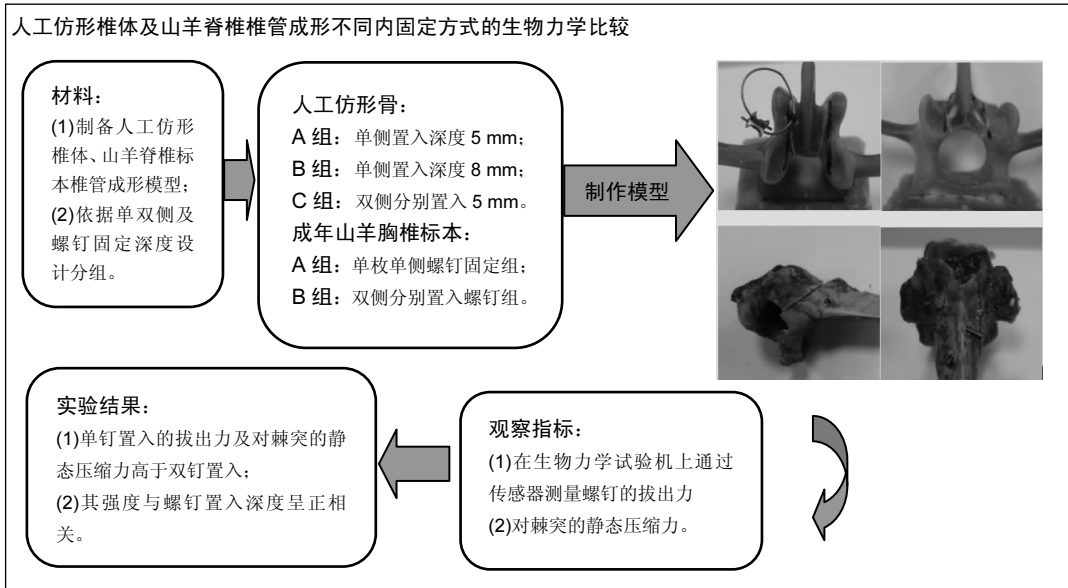
# 脊椎椎管成形结合螺钉不同内固定方式的生物力学性质分析

王林锋, 陆成武, 叶宏, 陈小杰, 邱必成(福建医科大学附属南平市第一医院脊柱外科, 福建省南平市 353000)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0227

ORCID: 0000-0003-3542-1377(王林锋)

文章快速阅读:



王林锋, 男, 1983 年生, 福建省政和县人, 汉族, 2010 年吉林大学白求恩医学部毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱外科方面的研究。

通讯作者: 陈小杰, 硕士, 主任医师, 福建医科大学附属南平市第一医院脊柱外科, 福建省南平市 353000

中图分类号:R318

文献标识码:A

稿件接受: 2017-12-20



文题释义:

**棘突椎板复合体回植:** 对于椎管内肿瘤患者, 完整摘除椎管内肿瘤和保护脊柱解剖结构与功能是手术的基本原则。肿瘤摘除后采用空心钉重建棘突椎板复合体结构, 可提供即刻的力学支持, 维持脊柱结构的完整性。该研究通过制作人工仿生椎体、山羊脊椎标本椎管成形术标本, 依据单双侧及螺钉固定深度设计分组, 测量分析生物力学性质。

**空心钉技术:** 采用单侧单枚空心钉技术对棘突椎板复合体进行重建, 因空心钉固定有一定的加压作用, 可对截骨面产生即刻稳定性, 可提供足够力学稳定性及促进骨愈合。

摘要

**背景:** 脊柱椎板回植辅助空心钉椎管成形已取得良好临床疗效; 检索文献发现目前国内外尚无关于单侧与双侧空心钉固定椎管成形生物力学特性的研究实验。

**目的:** 测试人工椎体及山羊椎体椎管成形结合螺钉不同内固定方式的生物力学性质。

**方法:** 人工仿生骨常规棘突椎板复合体回植辅助螺钉原位回植内固定实验分成 3 组, A 组单枚螺钉置入深度 5 mm, B 组单枚螺钉置入深度 8 mm, C 组双侧分别置入螺钉 5 mm。成年山羊胸椎标本椎管成形结合螺钉内固定实验分成 2 组, A 组为单枚螺钉固定加压组, B 组为双侧置入螺钉组。在生物力学试验机上通过传感器测出固定螺钉的最大拔出力及对棘突的静态压缩力。

**结果与结论:** ①在人工仿生骨的拔出测试实验中, 单钉置入 8 mm 的拔出力值约为单钉置入 5 mm 失效力值的 2 倍( $P < 0.01$ ); 而置入双钉 5 mm 的拔出力值远低于单侧置入 8 mm 的拔出力值( $P < 0.01$ ), 且低于单钉置入 5 mm 的拔出力值( $P < 0.05$ )。静态压缩测试实验中, 2 个单钉置入组的结果相近, 差异无显著性意义; 双钉置入的静态压缩力值低于 2 个组单钉置入组, 且差异有显著性意义( $P < 0.01$ ); ②成年羊骨单钉置入的拔出力值及静态压缩力均高于双钉置入组, 且差异有显著性意义( $P < 0.05$ ); ③结果表明, 与双钉置入相比, 脊柱椎板回植结合单枚螺钉内固定加压可以提供更大的生物力学稳定性, 其强度与螺钉置入深度呈正相关。

**关键词:**

人工椎体; 山羊椎体; 椎管成形术; 空心螺钉; 生物力学; 拔出力; 静态压缩力

**主题词:**

椎体成形术; 骨钉; 生物力学; 组织工程

**基金资助:**

福建省南平市科技项目基金项目(N2015Y03)

Wang Lin-feng, Master, Attending physician, Department of Spine Surgery, Nanping First Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Nanping 353000, Fujian Province, China

Corresponding author: Chen Xiao-jie, Master, Chief physician, Department of Spine Surgery, Nanping First Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Nanping 353000, Fujian Province, China

## Biomechanical study of different fixation with hollow screws in spinal laminoplasty

Wang Lin-feng, Lu Cheng-wu, Ye Hong, Chen Xiao-jie, Qiu Bi-cheng (Department of Spine Surgery, Nanping First Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Nanping 353000, Fujian Province, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** Spinal lamina reimplantation assisted hollow screw laminoplasty has achieved good clinical efficacy. The search literature found that there is no research at home and abroad on the biomechanical properties of unilateral and bilateral hollow screw fixation.

**OBJECTIVE:** To evaluate the biomechanical property of different fixation with hollow screws in artificial and goat vertebrate laminoplasty.

**METHODS:** A laminoplasty was conducted by using hollow screws. Based on the artificial vertebrate laminoplasty model, new models were generated by simulating unilateral screws fixation with a depth of screw insertion 5 mm (A group), unilateral screw fixation with a depth of screw insertion 8 mm (B group) and bilateral screw fixation with a depth of screw insertion 5 mm (C group). Based on the goat vertebrate laminoplasty model, new models were generated by simulating unilateral screws fixation (A group) and bilateral screw fixation (B group). The pull-out strength and static pressure were tested in the biomechanical testing machine with a sensor.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) In the artificial vertebrate model, the average pull-out strength of the group B was stronger than that of the groups A and C ( $P < 0.01$ ); the average pull-out strength of the group A was stronger than that of group C ( $P < 0.01$ ), the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). However, the average static compression of the group A and group B was similar; the average static compression of the group C was lower than that of the groups A and B, and the difference was statistically significant ( $P < 0.01$ ). (2) In the goat vertebrate model, the average pull-out strength and static compression of the group A were stronger than that of the group B, and the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). (3) Results suggest that unilateral screw fixation in the artificial and goat vertebrate laminoplasty can provide sufficient pull-out strength and static compression, and the biomechanical strength is positively related to the depth of the screw.

**Subject headings:** Vertebroplasty; Bone Nails; Biomechanics; Tissue Engineering

**Funding:** the Science and Technology Project Foundation of Nanping City of Fujian Province, No. N2015Y03

## 0 引言 Introduction

目前临床上对于胸腰椎椎管内肿瘤患者通常采用椎管成形手术, 常规的辅助细线及钢丝固定棘突椎板复合体因较多的并发症已较少使用<sup>[1-2]</sup>。椎板切除结合微型钛板固定棘突椎板复合体可以有效维持椎管形状, 预防后期脊柱失稳、后突畸形及医源性硬膜外瘢痕形成<sup>[3-4]</sup>; 然而, 该术式依然存在钛板断裂、移位及复合体不愈合等风险。鉴于此, 国外学者通过影像研究胸腰椎的椎板解剖结构特点, 采用双侧椎板螺钉原位固定棘突椎板复合体, 取得良好的临床效果<sup>[5-6]</sup>。本文作者尝试使用单侧空心钉固定维持椎管形状, 临床疗效良好, 作者认为空心钉在椎管成形术中不仅可以增强后柱的稳定性, 而且可以提高截骨处的愈合率, 是椎管成形手术一种不错的选择<sup>[7]</sup>。然而, 对于螺钉不同固定方式的生物力学性质究竟如何? 目前尚不清楚。

文章通过制作人工及成年山羊脊椎的椎管成形术模型, 分析单枚、双枚螺钉及不同置钉深度的生物力学特性, 可以在理论上筛选出较为合理的螺钉置入方式, 为临床医师提供参考。

## 1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 生物力学对比实验。

1.2 时间及地点 于2017-02-21/2017-02-28在厦门医疗器械研发检测中心生物力学实验室完成。

1.3 材料 实验选用人工仿形骨(Sawbones)和成年羊骨标本, 研究单枚、双枚螺钉及不同置钉深度原位固定棘突椎板复合体的力学性能。人工仿形骨外层为皮质骨(1.64 g/cm<sup>3</sup>), 内部为松质骨(10 pcf, 0.16 g/cm<sup>3</sup>)。羊骨挑选椎体结构比较明显的节段, 剔除所有组织和肌肉, 保留明显的骨架。

置入的螺钉选用大博医疗科技股份有限公司的金属空

心接骨螺钉, 具有稳定的加压效果。

### 1.4 方法

1.4.1 实验模型制作 置入螺钉时采用常规椎板切除方式, 即使用微型磨锯或骨凿(器械由大博医疗提供)将两侧关节突关节内侧椎板切开, 切骨方向与棘突矢状面呈15°-30°, 将整块棘突椎板复合体取下; 原位回植棘突椎板复合体, 人工仿形骨单枚螺钉置入骨切面5 mm和8 mm, 双枚螺钉置入骨切面5 mm制成椎管成形术模型; 成年羊骨单枚螺钉和双枚螺钉分别置入骨切面固定良好, 制成椎管成形术模型; 置钉深度通过游标卡尺测量螺钉外露部分的尺寸来进行确认, 置钉完成后的模型如图1-4所示。所有样品置钉完成后, 将制备好的模型放入到预先配制的骨水泥中进行包埋固定以便于夹持。

1.4.2 测试方法 包括螺钉的拔出测试和对棘突的静态压缩测试。螺钉的拔出测试可直接反映置入部位对螺钉的把持力, 对棘突的静态压缩是模拟韧带对棘突的拉伸, 通过对整个椎体复合体的压缩测试间接测量螺钉的把持力。两种测试均选用MTS Bionix858液压测试系统(由厦门医疗器械研发检测中心提供), 该测试系统可实现拉伸、压缩及扭转测试, 静态载荷范围为0-25 kN, 静态扭转范围为0-250 N·m。

**拔出测试:** 将固定好的样品放置在可自由旋转90°的夹具上, 并将夹具下端固定于底座上, 通过旋转夹具和调整样品位置, 使螺钉的纵轴线与水平面保持垂直, 以保证螺钉的受力点与试验机的加载点在同一轴线上。拔出测试过程采用位移控制模式, 拉伸载荷以3 mm/min的速率进行拉伸直至螺钉松动或椎体复合体的其他部位失效。实验过程中, 测试系统能够实时采集载荷和位移数据, 并同时监控载荷-位移的变化情况。实验装置图如图5所示。

**静态压缩:** 将固定好的样品放置在可自由旋转90°的夹具上, 并将夹具下端固定于底座上, 通过旋转夹具和调整

样品位置,以保证棘突方向与试验机的加载方向相互垂直。静态压缩过程采用位移控制模式,压缩载荷以3mm/min的速率进行轴向压缩直至螺钉松动或椎体复合体其他部位失效。试验过程中,测试系统能够实时采集载荷和位移数据,并同时监控载荷-位移的变化情况。实验装置图如图6所示。

**1.5 主要观察指标** 采用生物力学测试系统测试螺钉的拔出力及对棘突的静态压缩力。

**1.6 统计学分析** 使用SPSS Statistic 23进行统计学分析,评价测试结果的显著性水平和统计学意义,3组人工仿形骨测试结果运用单因素方差分析进行两两比较;2组成成年羊骨测试结果运用独立样本 $t$ 检验比较。

## 2 结果 Results

**2.1 人工仿形骨拔出测试及静态压缩测试结果** 在人工仿形骨的拔出测试结果中,单钉置入8 mm的失效力值约为单钉置入5 mm失效力值的2倍,且差异有显著性意义( $P < 0.01$ )。而置入双钉5 mm的失效力值远低于单侧置入8 mm的失效力值,差异有显著性意义( $P < 0.01$ );且低于单钉置入5 mm的失效力值约12%,差异有显著性意义( $P < 0.05$ )。

在人工仿形骨的静态压缩测试中,2个单钉置入组的结果相近,差异无显著性意义( $P > 0.05$ );双钉置入的失效力值低于2个单钉置入组的失效力值,且差异有显著性意义( $P < 0.01$ ),分别相差约22%和29%,见表1及图7,8。

表1 人工仿形骨拔出测试及静态压缩测试结果和统计学分析 ( $\bar{x} \pm s, N$ )

Table 1 Artificial prototyping bone extraction test and static compression test results and statistical analysis

置入方式	拔出力值	静态压缩力值
单钉置入 5 mm	397.74±37.08 <sup>ab</sup>	293.79±26.08 <sup>c</sup>
单钉置入 8 mm	744.65±25.58	318.22±26.21
双钉置入 5 mm	353.06±25.08 <sup>a</sup>	240.82±61.03 <sup>a</sup>

表注:与单钉置入8 mm相比,<sup>a</sup> $P < 0.01$ ;与双钉置入5 mm相比,<sup>b</sup> $P < 0.05$ ,<sup>c</sup> $P < 0.01$ 。

**2.2 成年羊骨拔出测试及静态压缩测试结果** 在成年羊骨的拔出测试结果中,单钉置入的失效力值较双钉置入的失效力值高约15%,且差异有显著性意义( $P < 0.05$ )。

静态压缩测试中,单钉置入的失效力值比双钉置入的失效力值略高,差异有显著性意义( $P < 0.05$ ),见表2及图9,10。

表2 成年羊骨拔出测试及静态压缩测试结果和统计学分析 ( $\bar{x} \pm s, N$ )

Table 2 Adult sheep bone extraction test and static compression test results and statistical analysis

置入方式	拔出力值	静态压缩力值
单钉置入	280.93±16.90	36.96±4.03
双钉置入	244.55±25.11	28.35±3.82
$P$ 值	$< 0.05$	$< 0.05$

## 3 讨论 Discussion

胸腰椎椎管内肿瘤是脊柱外科常见疾患,对于此类疾病的手术治疗有两项基本原则,即肿瘤的完整彻底切除和脊柱稳定性的重建<sup>[3]</sup>。传统的椎板切除术由于后方韧带复合体的丢失,容易导致术后硬膜粘连、脊柱失稳、后凸畸形等相关并发症,部分患者甚至需要接受二次手术治疗,严重影响患者的临床疗效<sup>[1-2, 8]</sup>。鉴于此,自Raimondi等<sup>[9]</sup>在1976年首先提出椎板棘突复合体回植椎管成形术以来,椎管成形结合相关装置固定术成为治疗胸腰椎椎管内肿瘤的经典手术方式,相较于传统的椎板切除术,该术式具有恢复脊柱稳定性,防止后期脊柱失稳及医源性椎管内硬膜瘢痕形成等优势,大量的临床随访疗效良好<sup>[3-4, 10-11]</sup>。

然而,针对椎板切除术后棘突椎板复合体原位回植的固定方式仍有较多争议<sup>[12-19]</sup>。传统的粗线和钢丝等材料固定棘突椎板复合体固定强度不足及较长的术后卧床时间,容易因复合体不愈合导致术后“浮棘”现象或因棘突椎板复合体沉降而引发医源性椎管狭窄<sup>[8]</sup>。近年来,随着脊柱外科医生手术操作技术的提升、内固定器械的改进,有学者报道棘突椎板复合体回植辅助椎弓根螺钉固定术取得较好的临床疗效,但由于该术式是将横连杆横向穿过棘突与对侧椎弓根螺钉进行单平面固定,术中操作复杂且融合率不高,对于需要行多节段椎弓根固定的患者将导致脊柱活动度丧失,远期加速临近节段退变<sup>[20]</sup>。新型的微型钛板内固定法可以恢复脊柱解剖结构、有效维持椎管容积、改善临床症状,因此,椎板切除结合钛板固定方式是治疗胸腰椎椎管内肿瘤的常用手术方式,大量的临床随访显示了优良的远期疗效;同时,辅助的钛板固定无法提供骨折块之间的即刻加压作用,远期存在棘突椎板复合体不愈合、并发钛板断裂、移位等风险。能否通过螺钉有效固定回植的复合体,重建椎管形态的同时对复合体进行力学加压、促进临床愈合?针对以上问题,韩国学者通过CT影像研究胸腰椎的椎板解剖结构特点<sup>[5-6]</sup>,采用双侧椎板螺钉原位固定棘突椎板复合体,临床效果良好,67.5%的随访患者所有固定节段都能达到骨性愈合,作者认为辅助椎板螺钉固定在骨性愈合或纤维性愈合之前可以提供良好的生物力学稳定性;本文作者尝试使用单侧空心钉固定回植的棘突椎板复合体,临床随访显示该术式可以有效维持椎管形状、促进骨性愈合及改善临床预后,作者认为单侧空心钉在椎管成形术中不仅可以增强后柱的稳定性,而且可以对骨折面进行加压,提供即刻力学稳定性,提高截骨处的愈合率,是椎管成形手术一种有效的选择。

后路椎板切除结合空心钉固定回植复合体已经在临床初步应用中取得了良好效果。作者认为常规的椎板切除术采用磨钻及骨凿打开椎管不可避免导致骨质缺损。理论上,采用双侧螺钉固定无法对棘突椎板复合体进行有效的加压,使之达到真正意义的原位回植,强行进行加压反而导致加压失效;创伤骨科常用的空心加压螺钉具有良好的韧

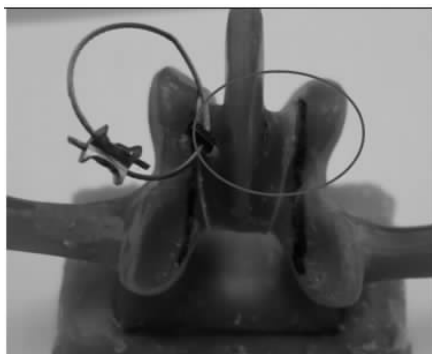


图 1 人工仿形骨单钉置入  
Figure 1  
Implantation of artificial bone with single screw

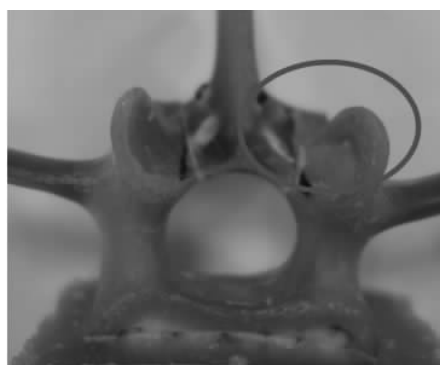


图 2 人工仿形骨双钉置入  
Figure 2  
Implantation of artificial bone with double screws



图 3 成年羊骨单钉置入  
Figure 3  
Implantation of adult sheep bone with single screw

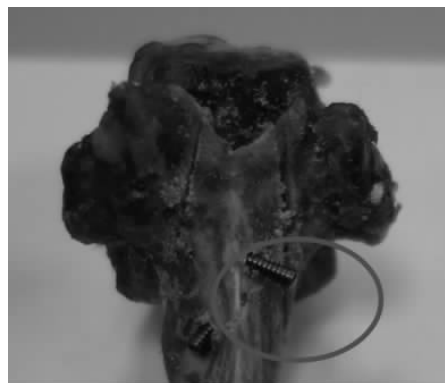


图 4 成年羊骨双钉置入  
Figure 4  
Implantation of adult sheep bone with double screws



图 5 拔出试验装置图  
Figure 5 Extraction test device

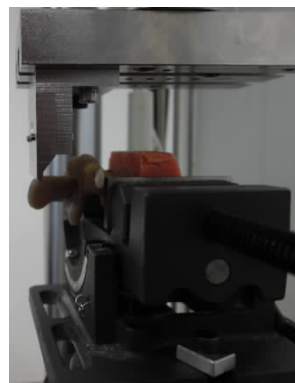


图 6 静态压缩测试装置图  
Figure 6 Static compression test device

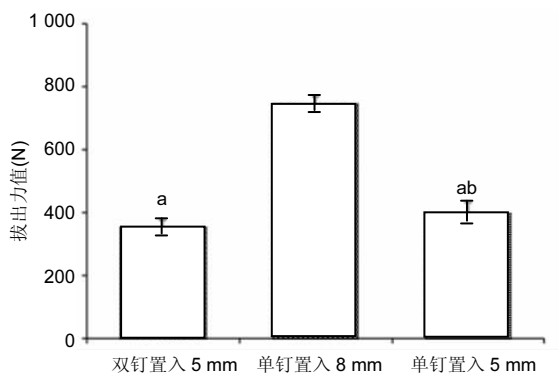


图 7 人工仿形骨拔出测试对比柱状图  
Figure 7 Contrast histogram of artificial prototyping bone extraction test

图注: 与单钉置入 8 mm 相比, <sup>a</sup> $P < 0.01$ ; 与双钉置入 5 mm 相比, <sup>b</sup> $P < 0.05$ 。

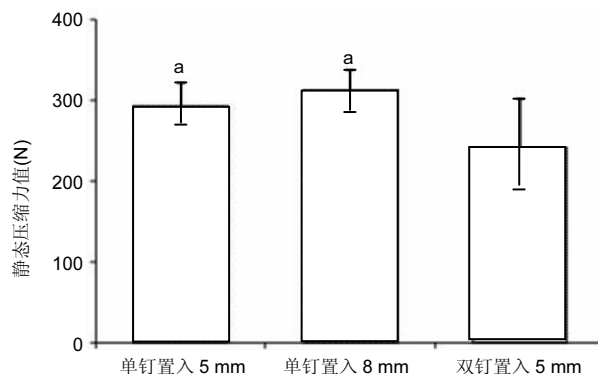


图 8 人工仿形骨静态压缩测试对比柱状图  
Figure 8 Contrast histogram of artificial prototyping bone static compression test

图注: 与双钉置入 5 mm 相比, <sup>a</sup> $P < 0.01$ 。

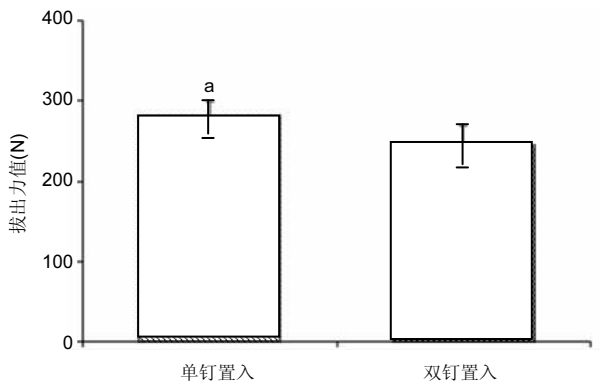


图9 成年羊骨拔出测试对比柱状图  
Figure 9 Adult sheep bone extraction test contrast histogram  
图注: 与双钉置入相比, <sup>a</sup> $P < 0.05$ 。

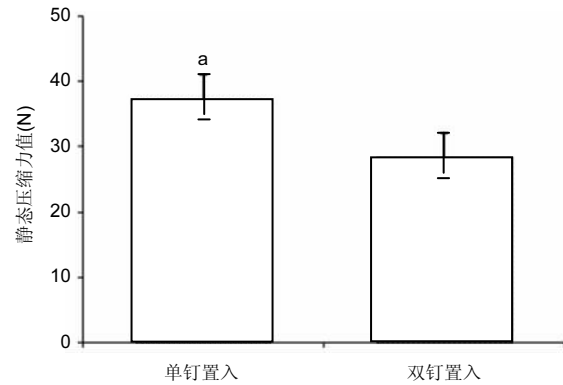


图10 成年羊骨静态压缩测试对比柱状图  
Figure 10 Adult sheep bone static compression test contrast histogram  
图注: 与双钉置入相比, <sup>a</sup> $P < 0.05$ 。

性及强度, 考虑到空心钉的钉头细螺纹设计, 作者认为对复合体进行单侧固定可以对门轴侧起到加压作用, 提供术后即刻的生物力学稳定性, 促进骨质愈合, 有效避免后期的螺钉断裂、松动及椎板塌陷等现象; 与此同时, 对于大部分的胸腰椎椎管内肿瘤患者而言, 椎板切除通常累及2个或以上节段, 上下节段采用不同侧的空心钉进行加压固定可以形成“三角形”锚定效应, 产生更好的力学稳定性。理论上, 较之双侧螺钉固定, 单枚螺钉固定应该具有相似甚至更为有效的力学强度, 单枚螺钉原位轴向加压可以获得足够的抗拔力, 同时也在一定程度上提供了纵向的静态压力。因此, 本研究通过制作人工及成年山羊脊椎的椎管成形手术模型, 分析单枚、双枚螺钉及不同置钉深度生物力学特性。

从测试结果及统计学分析可知, 拔出测试和静态压缩测试中, 人工仿形骨单钉置入5 mm的固定效果优于双侧置入5 mm的固定效果, 差异有显著性意义, 同时成年羊骨的单钉置入的失效力值也高于双钉置入; 通过对螺钉不同置入深度进行统计分析, 人工仿形骨单钉置入8 mm在拔出测试和静态压缩测试中明显优于单钉置入5 mm和双钉置入5 mm的固定效果。说明单钉置入的固定效果优于双钉置入的固定效果, 且螺钉的固定效果随着置钉深度的增加而显著增强。分析原因可得人工仿形骨及山羊测试模型在制作过程中由于磨钻和骨凿的应用, 导致骨质的大量丢失, 实际椎板复合体回植无法达到理论上的原位回植固定, 因此双钉置入无法实现有效的加压, 强行加压反而会导致固定失效; 而单钉置入可以实现真正意义上的加压, 且加压强度与螺钉置入深度呈正相关。检索文献发现, 对于棘突椎板复合体进行回植固定术, 目前应用最广泛的是使用微型钢板或椎弓根螺钉, 其生物力学稳定性得到普遍的共识。通过普通螺钉对该复合体进行重建的文献罕见, Yang等<sup>[6]</sup>报道了通过螺钉对棘突椎板复合体进行双侧交叉固定具有

良好的生物力学稳定性, 临床随访发现, 椎体节段骨愈合率达到75.3%, 临床疗效良好。毫无疑问, 从常规上进行分析, 双侧固定应该具有更好的力学稳定性, 尤其是在抗旋转方面。本文作者对既往胸腰椎肿瘤患者行肿瘤摘除后对棘突椎板复合体回植术, 所有节段采用单侧单枚螺钉进行固定, 对于2个及以上节段的患者, 上下节段螺钉置入方向采用不同方向置入, 以产生类似于“三角固定”的锚定效应, 同时胸腰部肌肉等组织的合页作用, 可有效对抗旋转、剪切应力产生的拔钉、断钉效应, 中期随访发现椎体节段愈合率达到81.8%, 具有良好的临床效果<sup>[21]</sup>。

本研究采用的人工仿形骨具备较好的皮质骨及松质骨条件, 仿真度较高, 目前广泛应用于生物力学测试; 同样, 羊骨也普遍存在于已进行的各种研究的生物力学测试中。但本研究测量指标仅有螺钉拔出力及棘突静态压力, 对于旋转应力、剪切应力的忽略可能影响试验的完整性及准确性; 另一方面, 常规的棘突椎板复合体回植术通常累及2个节段或以上, 且该模型未对韧带、肌肉等软组织的合页作用加以考虑, 无法模拟体内实际受力情况, 势必影响模型的准确性及有效性。未来需要进一步的人体标本模型研究分析单侧螺钉固定重建脊柱稳定性的生物力学性质。

**致谢:** 感谢厦门医疗器械研发检测中心生物力学实验室为实验提供仪器及试验场所, 感谢厦门大博医疗科技股份有限公司为实验提供金属空心接骨螺钉。

**作者贡献:** 所有作者均参与实验的设计、实施和评估, 均经过正规培训。

**经费支持:** 该文章接受了“福建省南平市科技项目基金项目(N2015Y03)”的基金资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**利益冲突:** 实验过程中采用厦门大博医疗科技股份有限公司提供的金属空心接骨螺钉, 但文章的全部作者声明, 没有接受该器械的任何资助, 在课题研究和文章撰写过程, 不存在利益冲突。

**伦理问题:** 研究用动物组织的实验方案符合相关伦理学要求, 文章的撰写与编辑修改后文章遵守了国际医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。

**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。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享3.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

#### 4 参考文献 References

- [1] Iida Y, Kataoka O, Sho T, et al. Postoperative lumbar spinal instability occurring or progressing secondary to laminectomy. Spine. 1990;15(11):1186-1189.
- [2] Yasuoka S, et al. Incidence of spinal column deformity after multilevel laminectomy in children and adults. J Neurosurg. 1982;57(4):441-445.
- [3] Wiedemayer H, Sandalcioğlu IE, Aalders M, et al. Reconstruction of the laminar roof with miniplates for a posterior approach in intraspinal surgery: technical considerations and critical evaluation of follow-up results. Spine. 2004;29(16):E333-E342.
- [4] Matsui H, Kanamori M, Miaki K. Expansive laminoplasty for lumbar intra dural lipoma. Int Orthop. 1997; 21(3):185-187.
- [5] Park SB, Jahng TA, Kim CH, et al. Thoracic and lumbar laminoplasty using a translaminar screw: morphometric study and technique. J Neurosurg Spine. 2009;10(6):603-609.
- [6] Yang SH, Kim CH, Chung CK, et al. Bone fusion rate in the thoracic and lumbar spine after laminoplasty with laminar screws. Spine. 2014;39(22):E1325-1330.
- [7] 王林锋, 叶宏, 陈小杰, 等. 空心钉置入内固定在椎管成形治疗中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(48):7758-7764.
- [8] Yeh JS, Sgouros S, Walsh AR, et al. Spinal sagittal malalignment following surgery for primary intramedullary tumours in children. Pediatr Neurosurg. 2001;35(6):318-324.
- [9] Raimondi AJ, Gutierrez FA, Di Rocco C. Laminotomy and total reconstruction of the posterior spinal arch for spinal canal surgery in childhood. J Neurosurg. 1976; 45(5): 555-569.
- [10] Hara M, Takayasu M, Takagi T, et al. En bloc laminoplasty performed with threadwire saw. Neurosurgery. 2001;48(1): 235-239.
- [11] Zhou D, Nong LM, Gao GM, et al. Application of lamina reattachment with ARCH plate fixation in thoracic and lumbar intraspinal tumors. Exp Ther Med. 2013;6(2):596-600.
- [12] Ahsan MK, Awwal MA, Khan SI, et al. Open-door laminoplasty for multilevel cervical spondylotic myelopathy and ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL) using titanium reconstruction miniplate and screws. Mymensingh Med J. 2017;26(3):558-568.
- [13] Zhou H, Liu ZJ, Wang SB, et al. Laminoplasty with lateral mass screw fixation for cervical spondylotic myelopathy in patients with athetoid cerebral palsy: A retrospective study. Medicine (Baltimore). 2016;95(39):e5033.
- [14] Kim SW, Lee JH, Lee HW, et al. New technique for C1 double-door laminoplasty using allograft spacers and titanium miniplate screw fixation: Technical Report. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg. 2016;77(2):155-160.
- [15] Schmeiser G, Schilling C, Grupp TM, et al. Unilateral laminoplasty with lateral mass screw fixation for less invasive decompression of the cervical spine: a biomechanical investigation. Eur Spine J. 2015;24(12):2781-2787.
- [16] Yang SH, Kim CH, Chung CK, et al. Bone fusion rate in the thoracic and lumbar spine after laminoplasty with laminar screws. Spine (Phila Pa 1976). 2014;39(22):E1325-1330.
- [17] Chen H, Liu H, Li T, et al. Effect of penetration of mini-plate lateral mass screws into facet joint on axial symptoms in cervical laminoplasty. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi. 2013;27(11):1324-1330.
- [18] Liu YK, Liu YH, Hua CF. Analysis of postoperative complication and its preventive measure of cervical open-door expansive laminoplasty with lateral mass screw fixation. Zhongguo Gu Shang. 2013;26(3):201-204.
- [19] Son S, Lee SG, Park CW, et al. Combined open door laminoplasty with unilateral screw fixation for unstable multi-level cervical stenosis: a preliminary report. J Korean Neurosurg Soc. 2013;53(2):83-88.
- [20] 张远征, 潘隆盛, 乔光宇, 等. 髓内肿瘤切除术中的解剖学复位技术[J]. 中华神经外科杂志, 2009, 25(9):855-856.
- [21] 王林锋, 陆成武, 陈小杰, 等. 棘突椎板复合体回植联合空心螺钉固定在胸腰椎椎管内肿瘤切除术中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(9):795-799.