

# 成人颈椎椎弓根螺钉在儿童腰椎应用的可行性\*\*

李现令<sup>1</sup>, 张钦明<sup>1</sup>, 李现今<sup>2</sup>, 张学军<sup>1</sup>, 李承鑫<sup>1</sup>, 孙琳<sup>1</sup>, 鲁守彦<sup>3</sup>, 张昆亚<sup>4</sup>, 于凤章<sup>1</sup>, 祈新禹<sup>1</sup>, 孙保胜<sup>1</sup>

## Feasibility of adult cervical pedicle screw in the lumbar spine of young children

Li Xian-ling<sup>1</sup>, Zhang Qin-ming<sup>1</sup>, Li Xian-jin<sup>2</sup>, Zhang Xue-jun<sup>1</sup>, Li Cheng-xin<sup>1</sup>, Sun Lin<sup>1</sup>, Lu Shou-yan<sup>3</sup>, Zhang Kun-ya<sup>4</sup>, Yu Feng-zhang<sup>1</sup>, Qi Xin-yu<sup>1</sup>, Sun Bao-sheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopedics, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China;  
<sup>2</sup>Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;  
<sup>3</sup>Beijing Zhongguancun Hospital, Beijing 100090, China;  
<sup>4</sup>Biomechanics Laboratory, College of Bioengineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China

Li Xian-ling★, Master, Physician, Department of Orthopedics, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China  
lixianling20002000@yahoo.com.cn

Correspondence to: Zhang Xue-jun, Chief physician, Department of Orthopedics, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China  
zhang-X-J04@163.com

Correspondence to: Zhang Qin-ming, Department of Orthopedics, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, Beijing 100045, China

Supported by: Beijing Personal Project for Excellent Talents Culture, No. 20081B0300800085\*

Received: 2011-02-12  
Accepted: 2011-03-16

### Abstract

**BACKGROUND:** Because the vertebrae of children aged 1 to 3 years are not fully mature, there is no specific pedicle screw for children. At present, the existing pedicle screw with the smallest diameter is for adult cervical lateral mass or pedicle screw fixation.

**OBJECTIVE:** To compare the biomechanical changes of adult cervical pedicle screw used in cervical pedicle fixation of adult pigs and lumbar pedicle fixation of young pigs.

**METHODS:** C<sub>3-6</sub> segments for six fresh adult pigs and lumbar spinal specimens from six 8-week-old young pigs were selected to prepare 54 single vertebrae with 108 pedicles. Adult cervical pedicle screw was placed into the prepared pedicles, and the maximum axial pull-out strength was detected using biomechanical methods.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The maximum axial pull-out strength of the cervical specimen was lower than that of the lumbar specimen, but there was no significant difference ( $P > 0.05$ ). The mean pull-out strength of L<sub>1</sub> was significantly lower than that of L<sub>3</sub> ( $P < 0.05$ ). The mean pull-out strength of C<sub>5</sub> was significantly higher than that of C<sub>3</sub> ( $P < 0.05$ ). There was a significant difference between the bone marrow density of the cervical and lumbar specimens ( $P < 0.01$ ). From this study, we got the preliminary experimental foundation about applying adult cervical pedicle screw to the lumbar spine of young children from the viewpoint of axial pull-out strength.

Li XL, Zhang QM, Li XJ, Zhang XJ, Li CX, Sun L, Lu SY, Zhang KY, Yu FZ, Qi XY, Sun BS. Feasibility of adult cervical pedicle screw in the lumbar spine of young children. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(26): 4798-4803. <http://www.crter.cn> <http://en.zglckf.com>

### 摘要

**背景:** 由于1~3岁幼年儿童椎体发育未完全成熟, 各种解剖径线相对较成人小得多, 尚无幼儿专用的椎弓根螺钉固定器械, 现有能够利用的直径最小的椎弓根螺钉是用于成人颈椎侧块或椎弓根固定的钉棒系统。

**目的:** 观察将成人颈椎椎弓根螺钉应用到成年猪颈椎与幼猪腰椎固定后的生物力学对比。

**方法:** 将6具完整新鲜成年猪颈段C<sub>3</sub>~C<sub>6</sub>脊椎标本和6具完整8周龄新鲜幼猪腰段脊柱标本自椎间盘及关节处离断, 游离成单个椎体, 共54个椎体108侧椎弓根。按照标准操作将成人颈椎椎弓根螺钉分别安置在成年猪颈椎标本和幼猪腰椎标本的椎弓根上, 应用生物力学方法测试螺钉的最大轴向拔出力。

**结果与结论:** 颈椎标本最大轴向拔出力高于腰椎标本, 但差异无显著性意义( $P > 0.05$ ); L<sub>1</sub>椎弓根螺钉的拔出力均值明显小于L<sub>3</sub>椎弓根螺钉的拔出力均值( $P < 0.05$ ); C<sub>5</sub>椎弓根螺钉的拔出力均值明显大于C<sub>3</sub>椎弓根螺钉的拔出力均值( $P < 0.05$ ); 颈椎和腰椎标本的骨密度差异有显著性意义( $P < 0.01$ ), 椎体椎弓根力学数值与椎体骨密度之间存在线性正相关。说明取得了成人颈椎椎弓根螺钉在轴向拉力方面适应于幼儿腰椎的初步实验依据。

**关键词:** 椎弓根螺钉; 成人; 颈椎; 幼儿; 腰椎; 可行性

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.26.013

李现令, 张钦明, 李现今, 张学军, 李承鑫, 孙琳, 鲁守彦, 张昆亚, 于凤章, 祈新禹, 孙保胜. 成人颈椎椎弓根螺钉在儿童腰椎应用的可行性[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(26):4798-4803.

<http://www.crter.org> <http://cn.zglckf.com>

## 0 引言

脊柱侧凸是指脊柱的一个或数个节段在冠状面上偏离中线向侧方弯曲, 在脊柱前后位X射线照片上有超过10°的侧方弯曲<sup>[1]</sup>, 形成带有弧度的脊柱畸形, 通常伴有脊柱的旋转和矢状面上生理性前凸和后凸的增加或减少, 它可由多种病因引起<sup>[2]</sup>。自20世纪80年代初至今20年来, 中国脊柱侧凸的治疗取得了长足的进步, 包括治疗原则的确定、支具设计的改进、手术

器械的创新及手术方法的改良等<sup>[3]</sup>。故经椎弓根固定成为脊柱侧凸手术治疗的常用方法。但对于儿童的脊柱侧凸治疗中, 由于成人的椎弓根相对比较粗大, 手术安全性较高, 但儿童的椎弓根发育尚未成熟, 椎弓根比较细小。现有的很多固定器械会出现断棍、脱钩等并发症, 甚至还会由于儿童的生长发育而产生更严重的“曲轴效应”。为此很多人都研究开发了新型的脊柱侧凸固定器械, 如可延长椎弓根钉棒系统、脊柱侧弯板棍矫正装置等<sup>[4-5]</sup>。但直至今日对于1~3岁幼年儿童来说, 他们的椎体发育未完

全成熟, 各种解剖径线相对较成人小得多, 尚无幼儿专用的椎弓根螺钉固定器械, 现有能够利用的直径最小的椎弓根螺钉是用于成人颈椎侧块或椎弓根固定的钉棒系统其螺钉直径为 3.2, 3.5, 4.0 mm。作者(本院及兄弟医院)已经尝试将成人颈椎椎弓根螺钉应用到1~3岁幼年儿童胸腰椎畸形矫正手术中, 术后拍片、做CT检查及随访, 家长及患儿对治疗感到满意。但目前没有相关的动物实验依据。现通过生物力学的相关测试为成人颈椎椎弓根螺钉应用到幼儿腰椎畸形的内固定技术奠定初步实验基础, 并通过实验为临床提供一定的指导, 也为新的内固定器械的研发提供一定的参考数据。

## 1 材料和方法

**设计:** 观察实验。

**时间及地点:** 于北京儿童医院动物实验室、中科院力学研究所、首都医科大学生物工程学院生物力学实验室、北大人民医院骨密度室完成。

**材料:**

**椎弓根螺钉:** 选择由山东威高骨科材料有限公司生产的脊柱内固定系统的成人颈椎椎弓根螺钉。选用的椎弓根螺钉直径是根据椎弓根径线的测量来决定, 且考虑为排除椎弓根螺钉直径大小对提拉力的影响, 故选择同一直径的椎弓根螺钉, 即直径选取为3.2 mm; 椎弓根螺钉长度根据测量的径线选择长度的80%为置入深度。

**置入椎弓根螺钉所使用器械:** 由山东威高骨科材料有限公司生产的脊柱内固定系统植入器械: 破骨锥、丝攻、持钉器、扳手以及自制探针。

**固定置入椎弓根螺钉的材料:** 义齿基托树脂(II型)(自凝牙托粉)100 g/瓶, 上海医疗器械股份有限公司齿科材料厂生产, 国食药监械(准)字2006第3631086。

义齿基托树脂(自凝牙托水)500 mL/瓶, 天津市瑞尔齿科生物材料厂生产, 许可证2004第0501号。

**游标卡尺:** 精度0.02 mm, 黑制: 23010167, ISO9001, 哈尔滨量具刀具集团有限公司。

**实验仪器:** WDW4100型微机控制电子万能试验机长春科新试验仪器有限公司制造。程序控制为中科院科新试验仪器研究所试验程序。美国HOLOGIC公司生产双能X射线吸收骨密度仪由北京大学人民医院核医学科骨密度室提

供。

**标本制备:** 标本来自中国农业科学院实验动物饲养基地喂养的实验用猪。

**实验方法:**

**标本分组:** 分为两组: 一组为12月龄成年猪颈段脊椎标本组(选取C<sub>3</sub>~C<sub>6</sub>阶段), 共24个游离椎体48侧椎弓根; 另一组为完整新鲜8周龄幼猪腰段脊柱标本组, 30个游离椎体60侧椎弓根。

切除两组标本所附软组织, 摄正侧位X射线片排除先天性畸形、骨折或肿瘤等病变, 运用双能X射线吸收骨密度仪测试每个椎体的骨密度并逐一记录, 将标本的所有椎体自椎间盘及关节处离断, 游离成单个椎体, 成年猪制成24个椎体标本48侧椎弓根。幼猪同法制成30个椎体标本60侧椎弓根。游离过程中注意用生理盐水纱布包裹保持椎体新鲜湿润。并将各个游离椎体标本分别装在泡沫塑料上, 并给予编号(如P1: L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>; P7: C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>等), 编号和做骨密度检查时编号对应, 并注明标本制作时间, 外面以保鲜膜密封, 以保持游离椎体的新鲜湿润。共54个椎体108侧椎弓根, 包裹密封后置于-70 °C冰箱保存。

**解冻:** 测试前24 h取出, 20 °C室温下自然解冻。

**骨密度测定:** 应用双能X射线吸收骨密度仪测量每个椎体的骨密度并记录(常规行3次测量, 并取其3次平均值)。测定部位为椎体前后位。因猪颈椎较人颈椎弯曲度大得多, 故不容易单个椎体测量, 因此做3次整体扫描后取其平均值。具体数值见表1, 2。

表1 成年猪颈椎骨密度测量值  
Table 1 The measurements of adult porcine spine bone mineral density

Sample	Area1 (cm <sup>2</sup> )	BMC1 (g)	BMD1 (g/cm <sup>2</sup> )	Area2 (cm <sup>2</sup> )	BMC2 (g)
P7	20.96	15.93	0.760	20.61	15.67
P8	22.16	15.96	0.720	21.09	15.23
P9	20.23	13.98	0.689	20.25	13.96
P10	15.46	9.47	0.612	15.41	9.28
P11	15.09	10.39	0.689	15.09	10.41
P12	13.24	8.22	0.621	15.17	8.66
Sample	BMD2 (g/cm <sup>2</sup> )	Area3 (cm <sup>2</sup> )	BMC3 (g)	BMD3 (g/cm <sup>2</sup> )	Mean BMD (g/cm <sup>2</sup> )
P7	0.761	20.44	15.34	0.751	0.757
P8	0.722	21.88	15.71	0.718	0.720
P9	0.689	20.31	13.94	0.686	0.688
P10	0.602	15.57	9.42	0.605	0.606
P11	0.690	15.08	10.36	0.687	0.689
P12	0.571	15.11	8.65	0.573	0.588

<sup>1</sup>首都医科大学附属北京儿童医院骨科, 北京市100045; <sup>2</sup>中国科学院力学研究所, 北京市100190; <sup>3</sup>北京市中关村医院, 北京市100090; <sup>4</sup>首都医科大学生物工程学院生物力学实验室, 北京市100069

李现今★, 男, 1978年生, 山东省临沂市人, 汉族, 2009年首都医科大学毕业, 硕士, 医师, 主要从事小儿骨科学研究。  
lixianling20002000@yahoo.com.cn

通讯作者: 张学军, 主任医师, 首都医科大学附属北京儿童医院骨科, 北京市100045  
zhang-X-J04@163.com

并列通讯作者: 张钦明, 首都医科大学附属北京儿童医院骨科, 北京市100045

中图分类号: R318  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-8225 (2011)26-04798-06

收稿日期: 2011-02-12  
修回日期: 2011-03-16  
(20110212010/GW-W)

表2 幼猪腰椎椎体骨密度测量值  
Table 2 The measurements of lumbar vertebral bone mineral density (BMD) in young pigs

Sequence	Young pig	Area1 (cm <sup>2</sup> )	BMC1 (g)	BMD1 (g/cm <sup>2</sup> )	Area2 (cm <sup>2</sup> )	BMC2 (g)	BMD2 (g/cm <sup>2</sup> )	Area3 (cm <sup>2</sup> )	BMC3 (g)	BMD3 (g/cm <sup>2</sup> )	Mean BMD (g/cm <sup>2</sup> )	Mean value (g/cm <sup>2</sup> )
L <sub>1</sub>	P1	4.20	1.79	0.426	3.97	1.72	0.433	4.25	1.81	0.426	0.428	0.439
	P2	3.63	1.48	0.408	2.44	1.14	0.467	2.54	1.16	0.457	0.444	
	P3	2.24	0.99	0.442	2.22	0.98	0.441	2.13	0.96	0.451	0.445	
	P4	3.09	1.53	0.495	4.24	1.90	0.448	3.09	1.55	0.502	0.482	
	P5	2.52	1.19	0.472	2.55	1.20	0.471	2.54	1.18	0.465	0.469	
	P6	3.76	1.31	0.348	2.20	0.87	0.395	3.55	1.23	0.346	0.363	
L <sub>2</sub>	P1	4.23	1.79	0.423	4.21	1.77	0.420	4.40	1.83	0.416	0.420	0.414
	P2	4.23	1.64	0.388	3.12	1.32	0.423	3.04	1.30	0.428	0.413	
	P3	2.68	1.12	0.418	2.60	1.08	0.415	2.69	1.11	0.413	0.415	
	P4	3.39	1.60	0.472	4.36	1.90	0.436	3.44	1.63	0.474	0.461	
	P5	3.13	1.32	0.422	3.27	1.37	0.419	3.27	1.36	0.416	0.419	
	P6	4.04	1.40	0.347	2.62	0.99	0.378	4.21	1.45	0.344	0.356	
L <sub>3</sub>	P1	4.50	1.83	0.407	4.66	1.84	0.395	4.31	1.75	0.406	0.403	0.400
	P2	4.17	1.62	0.388	3.20	1.34	0.419	3.20	1.35	0.422	0.410	
	P3	2.92	1.14	0.390	2.78	1.09	0.392	2.65	1.07	0.404	0.395	
	P4	3.68	1.62	0.440	4.85	1.97	0.406	3.74	1.65	0.441	0.429	
	P5	3.46	1.41	0.408	3.39	1.38	0.407	3.45	1.41	0.409	0.408	
	P6	4.33	1.44	0.333	3.39	1.38	0.407	4.40	1.47	0.334	0.358	
L <sub>4</sub>	P1	4.78	1.85	0.387	4.80	1.84	0.383	4.95	1.88	0.380	0.383	0.387
	P2	4.95	1.75	0.354	2.97	1.19	0.401	2.97	1.20	0.404	0.386	
	P3	2.47	0.96	0.389	2.57	1.01	0.393	2.41	0.96	0.398	0.393	
	P4	3.53	1.51	0.428	5.23	2.04	0.390	3.67	1.60	0.436	0.418	
	P5	3.58	1.45	0.405	3.50	1.41	0.403	3.52	1.43	0.406	0.405	
	P6	4.50	1.48	0.329	3.06	1.09	0.356	4.58	1.52	0.332	0.339	
L <sub>5</sub>	P1	4.53	1.75	0.386	4.42	1.72	0.389	4.60	1.76	0.383	0.386	0.382
	P2	4.28	1.53	0.357	2.00	0.94	0.470	2.93	1.14	0.389	0.406	
	P3	2.24	0.86	0.384	2.35	0.90	0.383	2.20	0.86	0.391	0.386	
	P4	3.67	1.54	0.420	5.32	2.04	0.383	3.73	1.58	0.424	0.409	
	P5	3.22	1.29	0.401	3.48	1.40	0.402	3.33	1.33	0.399	0.401	
	P6	4.15	1.25	0.301	4.25	1.28	0.301	4.14	1.26	0.304	0.302	

椎弓根相关径线的测量：长度，沿椎弓根矢状径方向的进钉点至椎体前缘的距离，见图1；椎弓根的宽度，椎弓根的前后径，见图2；椎弓根的厚度，椎弓根的横径，见图3。



Figure 1 Pedicle length measurement  
图1 椎弓根长度测量



Figure 3 Pedicle thickness measurement  
图3 椎弓根厚度测量



Figure 2 Pedicle width measurement  
图2 椎弓根宽度测量

置入椎弓根螺钉：根据测量的上述椎弓根的径线数据，选择由山东威高骨科材料有限公司生产的脊柱内固定系统的成人颈椎椎弓根螺钉，且考虑为排除椎弓根螺钉直径的大小对提拉力的影响，故选择同一直径的椎弓根螺钉，即直径选取为3.2 mm；椎弓根螺钉的长度根据测量的径线选择长度的80%为置入深度。

然后将之按照标准置入，方法：①腰椎按照Weinstein法：横突的水平中线与通过椎体上关节突的外侧缘的垂直线的交点，针体与终板平行且与脊柱的矢状面成10°~15°角，见图4。②颈椎进钉点水平线上经上关节突关节面下缘上方2 mm，垂直线为如关节间隙呈矢状则经关节间隙最外缘，如呈额状则取关节突外1/3。进钉方向为与脊突矢状轴向外侧、向后侧呈5°~10°置入椎弓根螺钉。

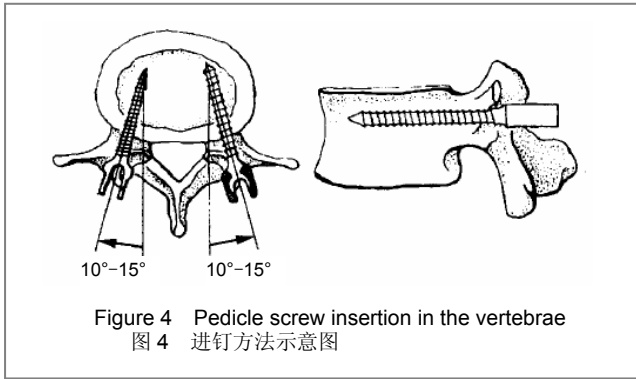


Figure 4 Pedicle screw insertion in the vertebrae  
图4 进钉方法示意图

测量的数据见表3, 4。

表3 幼猪腰椎椎弓根测量值  
Table 3 Lumbar pedicle measurement in young pigs (cm)

Item	L <sub>1</sub> (R/L)	L <sub>2</sub> (R/L)	L <sub>3</sub> (R/L)	L <sub>4</sub> (R/L)	L <sub>5</sub> (R/L)
P1 L	1.500/1.500	1.480/1.500	1.450/1.480	1.500/1.520	1.500/1.502
W	1.100/1.080	1.100/1.084	1.010/1.000	1.000/1.010	0.820/0.824
T	0.480/0.500	0.500/0.510	0.510/0.530	0.492/0.460	0.492/0.500
P2 L	1.500/1.500	1.480/1.490	1.452/1.500	1.540/1.570	1.432/1.452
W	1.180/1.170	1.100/1.082	0.972/0.982	0.922/0.922	0.982/0.922
T	0.460/0.530	0.500/0.510	0.500/0.530	0.492/0.452	0.540/0.580
P3 L	1.460/1.452	1.422/1.420	1.410/1.324	1.400/1.412	1.400/1.400
Wt	0.900/0.952	0.900/0.900	0.860/0.942	0.880/0.900	0.700/0.700
T	0.500/0.500	0.510/0.500	0.500/0.550	0.500/0.530	0.500/0.520
P4 L	1.472/1.470	1.374/1.400	1.500/1.450	1.472/1.500	1.510/1.500
W	1.160/1.100	1.140/1.000	1.050/1.060	1.010/1.010	0.770/0.770
T	0.530/0.530	0.510/0.500	0.500/0.482	0.462/0.452	0.500/0.530
P5 L	1.432/1.430	1.334/1.334	1.314/1.400	1.300/1.314	1.280/1.350
W	1.100/1.070	1.100/1.060	0.910/0.972	0.844/0.870	0.700/0.756
T	0.550/0.530	0.500/0.530	0.500/0.520	0.500/0.500	0.500/0.550
P6 L	1.300/1.300	1.352/1.374	1.400/1.350	1.334/1.300	1.390/1.390
W	0.952/0.900	1.040/1.130	1.100/1.030	1.060/1.020	0.922/0.870
T	0.510/0.530	0.500/0.530	0.500/0.530	0.510/0.492	0.500/0.472

L: length; W: width; T: thickness

表4 成年猪颈椎椎弓根测量值  
Table 4 Lumbar pedicle measurement in adult pigs (cm)

Item	C <sub>3</sub> (R/L)	C <sub>4</sub> (R/L)	C <sub>5</sub> (R/L)	C <sub>6</sub> (R/L)
P7 L	2.432/2.432	2.430/2.450	2.470/2.460	2.500/2.500
W	0.648/0.630	0.668/0.650	0.640/0.600	0.620/0.600
T	0.500/0.500	0.500/0.510	0.530/0.500	0.500/0.472
P8 L	2.500/2.500	2.432/2.450	2.350/2.350	2.400/2.400
W	0.750/0.746	0.746/0.740	0.680/0.700	0.620/0.640
T	0.650/0.630	0.600/0.600	0.530/0.530	0.570/0.550
P9 L	2.350/2.350	2.400/2.400	2.400/2.430	2.452/2.470
W	0.720/0.720	0.720/0.760	0.700/0.740	0.615/0.600
T	0.520/0.540	0.530/0.540	0.520/0.510	0.500/0.500
P10 L	2.200/2.210	2.350/2.340	2.500/2.500	2.682/2.680
W	0.480/0.500	0.550/0.550	0.540/0.540	0.472/0.470
T	0.550/0.550	0.430/0.460	0.490/0.490	0.490/0.490
P11 L	2.432/2.432	2.430/2.450	2.470/2.460	2.500/2.500
W	0.648/0.630	0.668/0.650	0.640/0.600	0.620/0.600
T	0.520/0.540	0.530/0.540	0.520/0.510	0.500/0.500
P12 L	2.350/2.350	2.400/2.400	2.400/2.430	2.452/2.470
W	0.720/0.720	0.720/0.760	0.700/0.740	0.615/0.600
T	0.520/0.540	0.530/0.540	0.520/0.510	0.500/0.500

L: length; W: width; T: thickness

包埋: 选取用过的矿泉水饮料瓶, 将瓶子在颈体处离断, 余下部分按5 cm长度横行离断成等高的上下开口的柱形体。然后用保鲜塑料薄膜整理后放到柱形体中,

这样就制成了向上开口的柱形体。将自凝型牙托粉和自凝水(按2:1的体积比例)倒入做好的柱形体中, 等待大约15 min待自凝牙托粉混悬液黏稠后将置入螺钉的椎体放入包埋固定。在此过程中注意不要将钉子根部包埋, 以防影响试验结果。

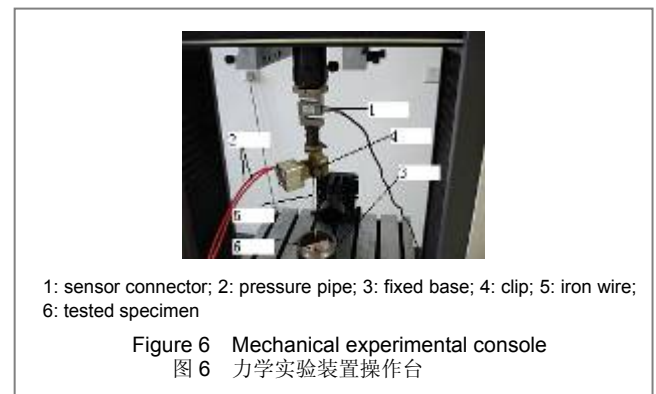
测试方法:

固定: 将包埋好的脊柱标本放在WDW4100型微机控制电子万能试验机的固定底座上, 标本可以变换方向, 可随时调整固定椎体的角度, 使椎弓根螺钉的长轴与实验机的拉伸方向一致。

测试最大轴向拔出力在WDW4100型微机控制电子万能试验机上, 沿椎弓根纵轴的方向以5 mm/min的加载速率进行拔出实验, 出现螺钉拔出破坏后停止, 螺钉出现拔出破坏的标准是位移拔出力曲线到最高点后随即出现明显的下降, 见图5~7。



Figure 5 Mechanical apparatus  
图5 力学实验装置



1: sensor connector; 2: pressure pipe; 3: fixed base; 4: clip; 5: iron wire; 6: tested specimen

Figure 6 Mechanical experimental console  
图6 力学实验装置操作台

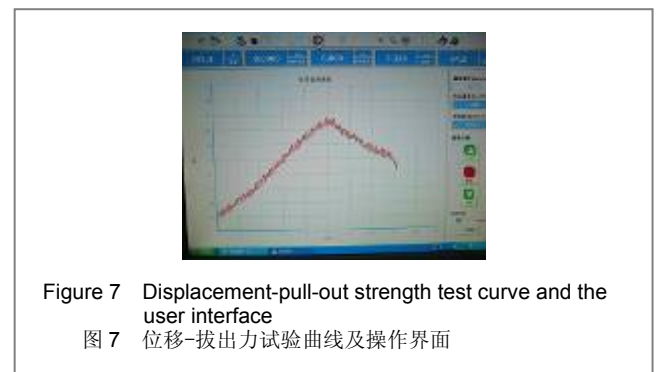


Figure 7 Displacement-pull-out strength test curve and the user interface  
图7 位移-拔出力试验曲线及操作界面

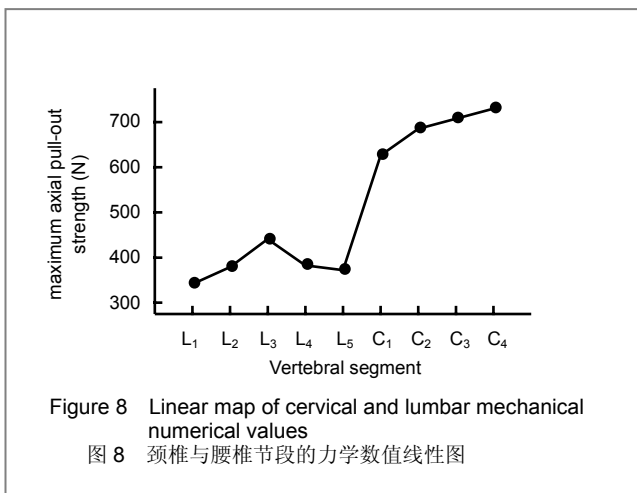
试验机的载荷信号由计算机数据采集系统收集并

记录,并由相应的分析软件计算出螺钉的最大轴向拔出力。

**数据处理:**数据采用SPSS14.0软件包进行统计学分析。各组数据先经正态性检验和方差齐性检验。椎体骨密度采用两独立样本的T检验,椎体骨密度与最大拔出力之间的关系用相关分析法。显著性水准均设为0.05。

## 2 结果

**2.1 分析颈椎和腰椎最大轴向拔出力的差异** 腰椎标本和颈椎标本的组间最大轴向拔出力值不同,前者为(383.68±111.05) N,后者为(687.25±90.79) N,从图8颈椎与腰椎节段的力学数值的线性图可以看出。但两独立样本t检验两者间差异无显著性意义( $P=0.127>0.05$ )。



**2.2 分析腰椎组内部椎体阶段间的差异** 用两两比较对比分析(LSD法检验),发现L<sub>1</sub>和L<sub>3</sub>椎体间椎弓根螺钉的拔出力间差异有显著性意义( $P=0.031 < 0.05$ ),L<sub>1</sub>椎弓根螺钉的拔出力均值为341.33 N明显小于L<sub>3</sub>椎弓根螺钉的拔出力均值440.83 N,与其他椎体间无统计学上的差异。

**2.3 分析颈椎组内部椎体节段间的差异** 用两两比较对比分析(LSD法检验),发现C<sub>3</sub>与C<sub>4</sub>间拔出力差异无显著性意义( $P=0.096$ ),C<sub>3</sub>与C<sub>5</sub>间拔出力差异有显著性意义( $P=0.024$ ),C<sub>5</sub>的拔出力均值707.58 N大于C<sub>3</sub>均值626.42 N;C<sub>3</sub>与C<sub>6</sub>间拔出力差异有非常显著性意义( $P=0.005$ ),C<sub>6</sub>的拔出力均值729.75 N远大于C<sub>3</sub>的均值626.42 N。

**2.4 颈椎标本和腰椎标本组间的骨密度差异** 颈椎标本和腰椎标本组间的骨密度比较差异有非常显著性意义( $P < 0.01$ ),但组内差异无显著性意义( $P > 0.05$ )。

**2.5 力学数值与骨密度之间关系** 两者间存在正相相关线性回归关系。其R、R Square值分别为0.822,67.3%,即椎体骨密度对椎体椎弓根力学数值的影响的

比例占到67.3%。

## 3 讨论

**3.1 导致螺钉松动和轴向脱出的直接原因** 近30年来,脊柱经椎弓根内固定系统的研究及应用发展迅速,特别是短节段脊柱内固定系统得到广泛的应用,但内固定失败的现象屡见不鲜<sup>[6-10]</sup>,椎弓根螺钉的松动和轴向脱出是导致脊柱内固定失败的主要原因之一,而骨对螺钉的握持力不够则是导致螺钉松动和轴向脱出的直接原因。影响椎弓根握持力的因素有螺钉直径、长度<sup>[11]</sup>、螺纹外形<sup>[12]</sup>、椎体骨质密度、置钉位置和置钉技术<sup>[13]</sup>、术后承载负荷、添加各种生物材料强化等,最关键的取决于内固定器械-骨界面强度。虽然经过许多学者长期不懈的研究,对椎弓根螺钉的结构不断做出改进,但其强度仍未尽人意。

**3.2 螺钉轴向拔出力对螺钉松动的影响** 椎弓根螺钉的松动和拔钉直接影响内固定器的固定效果,它是导致脊柱内固定失败的主要原因之一。临床上在取钉时经常发现有不少内固定器的钉杆连接呈松动状态,其中有些椎弓根螺钉也呈松动状态,但也有些内固定器在钉杆连接松动后,仍然没有出现拔钉,分析其原因,骨对螺钉的把持力不足是导致螺钉松动和轴向脱出的直接原因。在钉杆连接松动后,作用在椎弓根螺钉上的拔出力相应增大,这时若椎弓根对螺钉的把持力较小,椎弓根螺钉的拔钉速度就会加快。螺钉的轴向拔出实验仅仅代表螺钉松动的一种机制,并不能反映临床上螺钉松动的全部机制,但是它的确反映了在螺钉受到反复应力松动之前椎弓根的持钉能力。因此,对于椎弓根螺钉本身的抗拔出力进行研究,有助于指导临床进行内固定器的改进,减少并发症的发生。也是本实验的目的之一。

**3.3 骨质密度及骨-螺钉界面对固定影响** 骨组织是由胶原纤维和致密羟基磷灰石构成,骨的力学性能主要由骨密质提供,螺钉试验中拔出力主要来源于骨与螺钉之间的摩擦力,它反映了松质骨单位体积内骨的质量。骨密度对椎弓根螺钉的稳定性具有重要影响,是预测螺钉牢靠程度的重要指标。有研究表明椎弓根螺钉力量的60%在于椎弓根本身,是脊柱最坚硬的部分,Steffee称之为“力核”其后端骨质密度最高,是发挥固定作用的主要部位<sup>[14]</sup>。椎体内松质骨可增加另外15%~20%的力量,如穿透椎体前皮质又可增加20%~25%的力量。Okuyama等<sup>[15]</sup>通过测量标本的骨密度,研究与拔出强度的关系,认为骨密度每降低10 mg/cm<sup>3</sup>,其拔出力量大约减少60 N。当骨密度< 80 mg/cm<sup>2</sup>时,就应该用PMMA骨水泥等进行强化,同时证明了F-max与椎体骨密度的线性相关关系。Yamagata等<sup>[16]</sup>也发现骨密度与拔出强度相关(相关系数为0.68),在骨质疏松的病例,固定强

度明显减低。有研究以骨密度 $0.9 \text{ g/cm}^3$ 为正常值的最低值, 将人椎体标本分为正常组和骨质疏松组进行对比研究, 发现在正常组螺钉的F-max和弯矩为 $(1\ 062.8 \pm 72.2) \text{ N}$ 和 $2.6 \text{ N} \cdot \text{m}$ ; 在骨质疏松组则为 $(232 \pm 92.4) \text{ N}$ 和 $0.49 \text{ N} \cdot \text{m}$ <sup>[17]</sup>。

椎弓根螺钉的稳定通过骨-螺钉之间的界面连接实现, 脊柱运动时, 作用于椎弓根系统的轴向负荷通过连接棒传递到螺钉, 造成椎弓根螺钉头尾侧的摆动。如果骨-螺钉界面之间的把持力不够, 就会造成螺钉的松动, 失去其撑开、复位和固定的作用<sup>[18]</sup>。

以上说明骨密度的高低与椎弓根螺钉固定强度有着十分密切的关系, 一些学者通过研究表明<sup>[17]</sup>: 拔出强度、扭力矩与骨密度之间存在着明显的正相关。本实验椎体椎弓根力学数值与椎体骨密度之间的关系得出椎体椎弓根力学数值与椎体骨密度之间存在线性相关性(为正相相关), 且椎体骨密度对椎体椎弓根力学数值的影响的比例占到67.3%。与上述的研究得出的结果一致。

**结论:** 本实验取得了成人颈椎椎弓根螺钉在轴向拉力方面适应于幼儿腰椎的初步实验依据。为进一步验证试验做了铺垫。也为新的幼儿腰椎椎弓根螺钉内固定器械的研发提供一定的参考数据; 得出了骨密度对椎弓根螺钉的拔出力具有重要影响, 椎体椎弓根拔出力数值与椎体骨密度之间存在线性相关性(为正相相关), 是预测螺钉牢固程度的一项重要指标, 术前应常规测试脊柱的骨密度; 由于经椎弓根螺钉固定装置及螺钉的多样化, 对其进行的生物力学研究较多, 研究方法也不尽相同, 目前椎弓根螺钉的生物力学研究主要是在体外脊柱标本上进行的, 故在临床上其意义也有局限性, 随着经椎弓根内固定器械的发展, 螺钉的生物力学研究也将不断深入, 并将为临床使用提供更可靠的依据。本课题还将进一步在椎弓根螺钉对椎体的剪切力, 扭力矩等方面进行研究。

#### 4 参考文献

- [1] Pan SC.Beijing:Renmin Weisheng Chbanshe. 2005:186-187. 潘少川.实用小儿骨科学第二版[M].北京:人民卫生出版社,2005:186-187.
- [2] Li M,Hou TS.Shanghai:Dier Junyi Daaxue Chubanshe. 2001:2. 李明,侯铁胜.脊柱侧凸三维矫形理论与技术[M].上海:第二军医大学出版社,2001:2.
- [3] Qiu GX.Zhongguo Jizhu Jisui Zazhi. 2003;13(5):263-265. 邱贵兴.我国脊柱侧凸的治疗现状与存在的问题[J].中国脊柱脊髓杂志,2003,13(5):263-265.
- [4] Jia QZ,Gao JC,Zhang CM,et al.Zhongguo Gushing. 2003;16(6):321-322. 贾全章,高吉昌,张承敏,等.可延长椎弓根钉棒系统的研制及在生长发育期特发性脊柱侧弯中应用[J].中国骨伤,2003,16(6):321-322.
- [5] Ye QB,Wang YP,Zhang J,et al.Zhongguo Jiaoxing Waikexue Zazhi. 2002;10(10):955-957. 叶启彬,王以朋,张嘉,等.生长发育中儿童脊柱侧弯治疗的理论与实践[J].中国矫形外科杂志,2002,10(10):955-957.

- [6] Esses SI,Sachs BL,Dreizin V. Complications associated with the technique of pedicle screw fixation : a selected survey of ABS members . Spine (Phila Pa 1976). 1993;18(15): 2231-2239.
- [7] Blumenthal S,Gill K,Complications of the wiltse pedicle screw Fixation System. Spine (Phila Pa 1976). 1993;18(13):1867-1871.
- [8] West JL 3rd,ogilive JW,Bradford DS.Complications of the variable screw plate fixation. Spine (Phila Pa 1976). 1991,16:576-579.
- [9] Pihlajamaki H,Myllynen P,Bostman O.Complications of transpedicular lumbosacral fixation for non-traumatic disorders. J Bone Joint Surg Br.1997;79:183-189.
- [10] Yang HL,Tang TS,Zhu GL,et al.Zhonghua Waikexue Zazhi. 1989;27(5):272-275. 杨惠林,唐天骝,朱国良,等.胸腰椎骨折患者的椎弓根短节段脊柱内固定器治疗[J].中华外科杂志,1989,27(5):272-275.
- [11] Mckinely TD,Mclain RF,Yerby SA,et al.Characteristics of pedicle screw loading.Effect of surgical technique on intravertebral and intrapedicular bending moments. Spine (Phila Pa 1976). 1999; 24(1): 18-24.
- [12] Tan YJ,Pan XM,Cheng QY,et al.Experimental testing and comparison of variable in transpedicular screw fixation. J Bone Joint Injury.2001;16(6):441-443.
- [13] Lill CA,Schlegel IU,Wahl D,et al.Comparison of the in vitro holding strengths of conical and cylindrical pedicle screws in a fully inserted setting and backout 180 degrees.J Spine Disorder.2000; 13(3):259-266.
- [14] Du XR,Zhao LX,Ye QB,et al.Zhongguo Linchuang Jiepo Xue Zazhi. 2002;20(1):16. 杜心如,赵玲秀,叶启彬,等.选择腰椎椎弓根螺钉长度的放射解剖学研究[J].中国临床解剖学杂志,2002,20(1):16.
- [15] Okuyama K, Sato K,A be E, et al. Stability of transpedicle screwing for the osteoporosis an in vitro study of the mechanical stability. Spine (Phila Pa 1976). 1993;18: 2240- 2245.
- [16] Yamagata M,Kitahgara H,Minami S,et al.Mechanical of the pedicle screw fixation systems for the lumbar spine. Spine (phila PaH%). 1992;17:51-58.
- [17] Ding XM,Zou HE,Jing Yao Tong Zazhi. 2001;22(2):160-161. 丁小谋,邹宏恩.椎弓根螺钉固定的生物力学研究进展[J].颈腰痛杂志,2001,22(2):160-161.
- [18] Chen X,Ma YZ,Xue HB.Zhongguo Guzhi Shusong Zazhi. 2003; 9(2): 145. 陈兴,马远征,薛海滨.骨密度对椎弓根螺钉系统内固定影响的临床研究[J].中国骨质疏松杂志,2003,9(2):145.

#### 来自本文课题的更多信息一

**基金资助:** 北京市优秀人才培养资助个人项目 (20081B0300800085)。

**作者贡献:** 张学军、张钦明、李现今进行实验设计, 实验实施为李现今, 张昆亚, 李现今实验评估为于凤章, 资料收集为李现今、鲁守彦, 李现今成文, 张学军、张钦明、李承鑫、孙琳、于凤章, 祈新禹, 孙保胜审核, 张学军和张钦明对文章负责。张钦明与张学军对文章或实验的贡献相同, 故并列为通讯作者等。

**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。

**本文创新性:** 以“成人颈椎椎弓根螺钉, 幼儿, 腰椎”为关键词检索万方数据库 2001/2010 文章, 目前尚无幼儿专用的椎弓根螺钉固定器械, 现有能够利用的直径最小的椎弓根螺钉是用于成人颈椎侧块或椎弓根固定的钉棒系统。实验尝试将成人颈椎椎弓根螺钉应用到 1~3 岁幼年儿童胸腰椎畸形矫正手术中, 但目前没有相关的动物实验依据, 本实验通过动物生物力学相关测试为成人颈椎椎弓根螺钉应用到幼儿腰椎畸形的内固定技术奠定初步实验基础。