

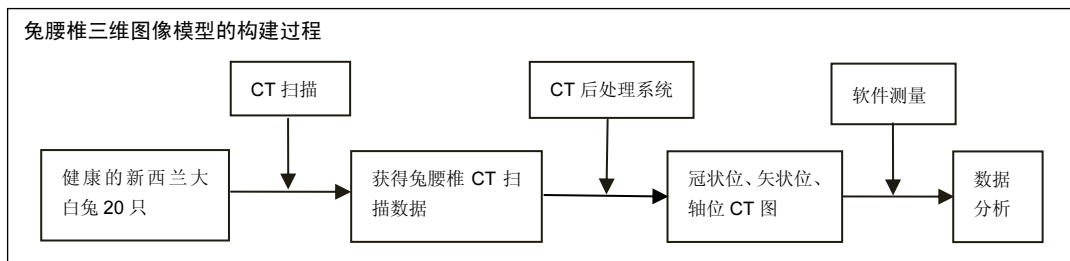
# 构建腰椎三维图像模型兔的特点分析

贺庆<sup>1</sup>, 李兵<sup>1</sup>, 邓燕青<sup>2</sup>, 卓祥龙<sup>1</sup>, 江宇<sup>1</sup> (<sup>1</sup>广西医科大学第四附属医院-柳州市工人医院骨科, 广西壮族自治区柳州市 545005; <sup>2</sup>湖南省永州市中心医院骨科, 湖南省永州市 425000)

引用本文: 贺庆, 李兵, 邓燕青, 卓祥龙, 江宇. 构建腰椎三维图像模型兔的特点分析[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(12):1889-1893.

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2017.12.015 ORCID: 0000-0002-4385-663X(贺庆)

文章快速阅读:



贺庆, 硕士, 主治医师。

通讯作者: 李兵, 主任医师。广西医科大学第四附属医院-柳州市工人医院骨科, 广西壮族自治区柳州市 545005

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2017)12-01889-05

稿件接受: 2017-03-06

文题释义:

**腰痛:** 是由于比较常见的有腰部骨质增生、骨刺、椎间盘突出症、腰椎肥大、椎管狭窄、腰部骨折、椎管肿瘤、腰部急慢性外伤或劳损、腰肌劳损及强直性脊柱炎等疾病引起的腰部疼痛。

**腰椎:** 椎体较大, 棘突板状水平伸向后方, 相邻棘突间隙宽, 可作腰椎穿刺用, 关节突关节面呈矢状位。人体有 5 个腰椎, 每一个腰椎由前方的椎体和后方的附件组成。椎板内缘成弓形, 椎弓与椎体后缘围成椎孔, 上下椎孔相连, 形成椎管, 内有脊髓和神经通过, 2 个椎体之间的联合部分就是椎间盘。

摘要

**背景:** 兔腰椎形态结构特点对腰椎动物实验研究起着重要的作用, 但目前缺少兔腰椎形态结构相关的研究。

**目的:** 构建兔腰椎三维图像模型, 观察其腰椎的形态结构特点, 为腰椎动物实验研究提供解剖形态学依据。

**方法:** 用西门子 64 排螺旋 CT 扫描 20 只新西兰大白兔, 获得 140 节腰椎扫描资料, 构建兔腰椎三维图像模型, 测量 L<sub>1-7</sub> 椎体的形态学参数, 观察腰椎的内外部解剖结构及不同节段的变化特点。

**结果与结论:** ①新西兰大白兔腰椎各解剖形态学指标变化: 兔 L<sub>1-7</sub> 节段椎体高度呈现“两头小中间大”趋势, 在 L<sub>7</sub> 节段最小, 其高度仅为(1.12±0.18) cm; L<sub>1</sub> 节段椎体横径最小, 为(1.03±0.15) cm, L<sub>1-7</sub> 节段各椎体纵径的节段性变化较小; L<sub>1-6</sub> 节段椎管横径和纵径均逐渐增大, L<sub>7</sub> 节段时突然变小; 椎弓宽度在 L<sub>1-7</sub> 节段逐渐增大, 但变化平稳; 椎弓根高度在 L<sub>1-5</sub> 节段平稳变化, L<sub>6-7</sub> 节段开始突然变小, 与其他节段相差甚大, 到 L<sub>7</sub> 节段时最小, 仅为(0.58±0.11) cm; 棘突宽度和长度在 L<sub>1-6</sub> 节段平稳增大, 在 L<sub>7</sub> 节段变小; 横突长度在 L<sub>1-3</sub> 节段逐渐增大, L<sub>3-6</sub> 节段较平稳, L<sub>6-7</sub> 节段显著变小; 横突夹角在 L<sub>1-6</sub> 节段差异度小, 但在 L<sub>7</sub> 节段显著增大, 为(58±2)°。②结果证实: 新西兰大白兔腰椎形态学测量可以观察到腰椎的内外部解剖结构及不同节段的形态变化特点, 为腰椎动物实验研究提供详细的解剖形态学参数资料。

**关键词:**

组织构建; 组织工程; 腰椎; 形态学; 动物实验; 造模; 解剖; 三维图像; 参数; 测量; CT; 大白兔; 广西壮族自治区自然科学基金

**主题词:**

组织工程; 模型; 动物; 解剖学

**基金资助:**

广西区自然科学基金(2010GXNSFA013257)

## Establishment of a three-dimensional model of rabbit lumbar vertebrae: its morphological characters

He Qing<sup>1</sup>, Li Bing<sup>1</sup>, Deng Yan-qing<sup>2</sup>, Zhuo Xiang-long<sup>1</sup>, Jiang Yu<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Department of Orthopedics, Fourth Affiliated Hospital of Guangxi Medical University-Liuzhou Worker's Hospital, Liuzhou 545005, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; <sup>2</sup>Department of Orthopedics, the Central Hospital of Yongzhou, Yongzhou 425000, Hunan Province, China)

**Abstract**

**BACKGROUND:** Morphological characteristics of the rabbit lumbar vertebrae are of great significance for animal experiments about lumbar spine, but there is a lack of study on the lumbar morphology in rabbits.

**OBJECTIVE:** To establish a three-dimensional model of rabbit lumbar vertebrae, and to observe its morphological characteristics, thereby providing anatomical basis for the animal experiments about lumbar spine.

He Qing, Master, Attending physician, Department of Orthopedics, Fourth Affiliated Hospital of Guangxi Medical University-Liuzhou Worker's Hospital, Liuzhou 545005, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Corresponding author: Li Bing, Chief physician, Department of Orthopedics, Fourth Affiliated Hospital of Guangxi Medical University-Liuzhou Worker's Hospital, Liuzhou 545005, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

**METHODS:** Twenty New Zealand rabbits were subjected to 64-row multi-detector CT (Siemens) scan, and the three-dimensional models were constructed based on the CT data from 140 lumbar vertebrae. The morphological parameters of L<sub>1-7</sub> were measured, and the internal and external structures of lumbar vertebrae and changes of different segments were observed.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) Changes of the morphological parameters of each lumbar vertebra: the L<sub>1-7</sub> height first increased and then decreased, and the shortest height was in the L<sub>7</sub>, which was (1.12±0.18) cm. L<sub>1</sub> vertebral body exhibited the shortest transverse diameter, (1.03±0.15) cm, and the longitudinal diameter did not differ significantly among vertebrae. The transverse and longitudinal diameters of L<sub>1-6</sub> spinal canals were on a rise, but decreased abruptly at L<sub>7</sub>. The pedicle width of L<sub>1-7</sub> increased gradually; the pedicle height of L<sub>1-5</sub> increased gradually, and then began to decrease markedly, and the shortest at L<sub>7</sub>, (0.58±0.11) cm. The width and length of L<sub>1-6</sub> spinous process increased steadily, but decreased at L<sub>7</sub>. The length of L<sub>1-3</sub> transverse process increased gradually, tended to be steady at L<sub>3-6</sub>, and increased notably at L<sub>6-7</sub>; there were significant differences in the transverse process angle at L<sub>1-6</sub>, but the angle increased markedly to (58±2)° at L<sub>7</sub>. (2) These results indicate that the internal and external structures of lumbar vertebrae and changes of different segments are obtained through morphological measurement of lumbar vertebrae in New Zealand white rabbit, which provides a detailed anatomical data for relative animal experiments.

**Subject headings:** Tissue Engineering; Models, Animal; Anatomy

**Funding:** the Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region, No. 2010GXNSFA013257

**Cite this article:** He Q, Li B, Deng YQ, Zhuo XL, Jiang Y. Establishment of a three-dimensional model of rabbit lumbar vertebrae: its morphological characters. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2017;21(12):1889-1893.

## 0 引言 Introduction

新西兰大白兔是腰椎实验最常用的实验动物之一, 其腰椎解剖形态复杂, 虽与人体腰椎有较高的相似性, 但也存在一定的差异, 实验过程中如果对其形态结构不熟悉容易导致实验动物的大出血、瘫痪或者死亡, 详细的腰椎形态学参数可以减少实验动物的伤残率和致死率, 提高实验的成功率, 然而以往文献中未见有关新西兰大白兔腰椎形态学研究的报道。

实验旨在通过CT扫描及重建技术对新西兰大白兔腰椎解剖形态学进行测量, 建立新西兰大白兔腰椎形态学参数数据库, 观察其腰椎的内外部解剖结构及不同节段的形态变化特点, 为腰椎动物实验研究提供详细的解剖形态学参数资料。

## 1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 影像学动物实验。

1.2 时间及地点 于2013年12月至2014年2月在广西医科大学第四附属医院中心实验室和CT室完成。

1.3 材料 健康6月龄20只新西兰大白兔, 雌雄各半, 体重(2.5±0.5) kg, 由广西医科大学动物实验中心提供。实验前予以腰椎正侧位X射线片已排除了腰椎病变。

1.4 实验方法

1.4.1 CT扫描 将兔适应性饲养2周后, 使用体积分数3%戊巴比妥钠(30 mg/kg; 北京普博斯生物科技有限公司)进行耳缘静脉麻醉, 注射过程中注意观察动物的反应, 以防出现麻醉意外, 麻醉好后将实验动物固定好后置于检查台上行腰椎CT扫描(德国西门子公司 SOMATOM Definition, 扫描参数: 层厚=0.75 mm, 螺距=0.8, 120 kV, 275 mAs; 扫描范围: 包含完整的L<sub>1-7</sub>椎体结构)。

实验动物取仰卧位, 固定好后置于检查台上, 注意保持实验动物腰椎成直线, 使中间的扫描线经过腰椎的中份, 所有动物均采用相同的扫描序列进行连续性扫描。将CT扫

描原始资料导入CT后处理系统中的重建软件中, 利用重建软件中强大的图像分析能力和完善的医学图像建模功能, 将原始资料按标准算法进行冠状位、矢状位和轴位等多平面的2D或3D重建, 利用重建软件进行切割和旋转可获得不同部位的矢状位、轴位图像或三维图像。

1.4.2 腰椎解剖参数测量方法 建立重建模型后, 利用CT后处理系统中的重建软件可以从不同的角度和不同的层面对新西兰大白兔腰椎重建模型进行切割和旋转, 选取1 420张不同测量部位的矢状位、轴位或三维图像, 使用重建软件包中的测量工具对腰椎的形态学参数进行具体测量, 见图1。

**椎体高度的测量:** 取椎体的2D正中矢状位图, 调整骨窗, 利用软件包中的长度测量工具分别测量椎体的前、中、后高度(椎体的前、中、后高度不一致), 取椎体前、中、后高度的平均值定义为椎体高度(Vertebral height, VH)<sup>[1]</sup>。

**椎体横径和纵径的测量:** 在3D重建图上以0.5 mm间距垂直椎体纵轴线连续切割腰椎椎体, 获得椎体的3D轴位图, 分别测量椎体下缘层面的横径与纵径(椎体上、下层面的横径和纵径存在差异), 分别取椎体上、下缘层面的平均值定义为椎体横径(Vertebral transverse diameter, VTD)、椎体纵径(Vertebral longitudinal diameter, VLD)<sup>[2]</sup>。

**椎管横径和纵径的测量:** 在椎管的2D轴位图上, 取椎管面积最大的层面(椎管轴位与棘突矢状位重叠处, 次层面的椎管横径和纵径最长)测量椎管的横径和纵径, 分别定义为椎管横径(Transverse diameter of the spinal canal, TDSC)、椎管纵径(Longitudinal diameter of the spinal canal, LDSC)<sup>[3]</sup>。

**横突夹角的测量:** 在腰椎最大骨密度图(MIP)上, 横突基底部分中点跟横突末端的连线与上下横突基底部分连线所构成的夹角定义为横突夹角(Transverse angle, TA), 通过重建软件中的角度测量工具即可测量出横突夹角的大小<sup>[4]</sup>。

**横突宽度和长度的测量:** 在横突2D矢状位图上, 取横

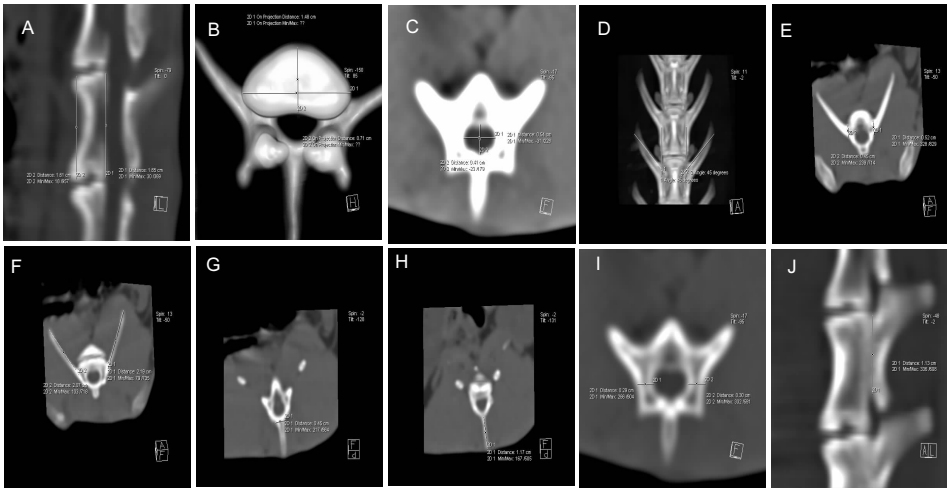


图1 各测量参数的测量图  
Figure 1 Measurement of morphological parameters

图注: 图 A 为椎体高度测量图; B 为椎体横径和纵径测量图; C 为横突夹角测量图; D 为椎管横径和纵径测量图; E 为横突宽度测量图; F 为横突长度测量图; G 为棘突宽度测量图; H 为棘突长度测量图; I 为椎弓宽度测量图; J 为椎弓根高度测量图。

表1 新西兰大白兔腰椎各形态学参数指标的平均值变化

( $\bar{x} \pm s, n=20$ )

Table 1 The average values of morphological parameters in the New Zealand white rabbit lumbar vertebrae

类别	腰椎节段						
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>
椎体高度(cm)	1.45±0.12	1.52±0.26	1.59±0.18	1.58±0.17	1.56±0.24	1.47±0.28	1.12±0.18
椎体横径(cm)	1.03±0.15	1.13±0.10	1.24±0.17	1.36±0.11	1.45±0.20	1.48±0.21	1.35±0.17
椎体纵径(cm)	0.59±0.08	0.61±0.13	0.67±0.09	0.70±0.12	0.71±0.15	0.71±0.11	0.66±0.08
椎管横径(cm)	0.38±0.10	0.39±0.08	0.43±0.11	0.42±0.12	0.56±0.10	0.58±0.09	0.51±0.06
椎管纵径(cm)	0.28±0.04	0.28±0.05	0.29±0.04	0.30±0.06	0.34±0.05	0.36±0.05	0.27±0.03
椎弓宽度(cm)	0.16±0.02	0.17±0.01	0.19±0.03	0.18±0.02	0.20±0.03	0.21±0.02	0.28±0.04
椎弓根高度(cm)	1.17±0.06	1.15±0.05	1.17±0.09	1.24±0.10	1.18±0.07	0.85±0.06	0.58±0.11
棘突长度(cm)	1.17±0.08	1.19±0.10	1.21±0.05	1.24±0.07	1.34±0.11	1.39±0.08	1.03±0.06
棘突宽度(cm)	0.33±0.03	0.34±0.05	0.40±0.05	0.45±0.07	0.48±0.04	0.52±0.08	0.49±0.06
横突长度(cm)	1.15±0.18	1.69±0.12	2.27±0.19	2.16±0.22	2.23±0.18	2.20±0.15	1.22±0.10
横突宽度(cm)	0.62±0.08	0.68±0.07	0.70±0.09	0.66±0.10	0.65±0.08	0.52±0.06	0.35±0.07
横突夹角(°)	46±2	44±4	44±3	45±2	45±3	46±5	58±2

表注: 从椎体高度来看, L<sub>1</sub>-L<sub>7</sub> 节段呈现“中间大两头小”, 在 L<sub>7</sub> 节段最小, 其高度仅 1.12±0.18cm, L<sub>7</sub> 椎体被骨盆覆盖, 其高度与其他椎体相差较大; 从椎体横径和纵径来看, L<sub>1</sub> 节段椎体横径最小, 其大小为 1.03±0.15cm, L<sub>1</sub>-L<sub>7</sub> 节段各椎体纵径的节段性变化较小; 从椎管横径和纵径上来看, L<sub>1</sub>-L<sub>6</sub> 节段横径和纵径均逐渐增大, L<sub>7</sub> 节段时突然变小; 椎弓宽度在 L<sub>1</sub>-L<sub>7</sub> 节段逐渐增大, 变化平稳, 椎弓根高度在 L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub> 节段平稳变化, L<sub>6</sub>-L<sub>7</sub> 节段开始突然变小, 与其他节段相差较大, L<sub>7</sub> 节段时最小, 仅 0.58±0.11 cm; 棘突宽度和长度在 L<sub>1</sub>-L<sub>6</sub> 节段平稳增大, 在 L<sub>7</sub> 节段变小; 横突长度在 L<sub>1</sub>-L<sub>3</sub> 节段逐渐增大, L<sub>3</sub>-L<sub>6</sub> 节段较平稳, L<sub>6</sub>-L<sub>7</sub> 节段显著变小, 横突夹角在 L<sub>1</sub>-L<sub>6</sub> 节段差异度小, 但在 L<sub>7</sub> 节段显著增大, 其大小为(58±2)°。

突基底部最宽的层面图测量横突的宽度定义为横突宽度 (Transverse width, TW), 测量方法如图1; 取横突基底部中点与横突末端连线的巨鹿测量横突长度定义为横突长度 (Transverse length, TL)<sup>[5-6]</sup>。

**棘突宽度和高度的测量:** 在棘突2D矢状位图上, 取棘突基底部最宽的层面图测量棘突的宽度定义为棘突宽度 (Spine width, SW), 测量方法如图1; 取棘突基底部中点与棘突末端连线的距离测量棘突的长度, 定义为棘突长度 (Spinous length, SL)<sup>[7]</sup>。

**椎弓宽度的测量:** 在椎弓的2D轴位图上, 分别取左右椎弓宽度最大的层面(即椎弓轴位与横突矢状位重叠处, 此层面的椎弓宽度最宽)测量左右椎弓宽度, 取左右椎弓宽度的平均值定义为椎弓宽度 (Arch width, AW)<sup>[8-9]</sup>。

**椎弓根高度的测量:** 在椎弓根的2D矢状位图上, 调整骨窗, 分别测量左右椎弓根上下缘最短的距离即为左右椎

弓根高度, 取左右椎弓根高度的平均值定义为椎弓根高度 (Pedicule height, PH)<sup>[8-9]</sup>。

**1.5 主要观察指标** 观察兔腰椎各测量参数的特点及变化趋势。

## 2 结果 Results

**2.1 实验动物数量分析** 实验过程中未出现实验动物死亡, 20只兔全部进入结果分析, 无脱落。

**2.2 兔L<sub>1-7</sub>腰椎形态学测量数据** 实验共对20只普通级新西兰大白兔腰椎(L<sub>1-7</sub>)进行螺旋CT扫描, 获得了140节椎体的CT扫描原始资料, 通过CT后处理系统中的重建软件测量椎体、椎管、横突及椎弓根的各种形态学参数, 获得了2 520个原始测量数据。

所有测量参数指标均由2位高年资放射科医师分别在CT后处理系统上进行观察, 测量结果详见表1。

### 3 讨论 Discussion

**3.1 新西兰大白兔腰椎形态学测量的实用价值** 随着腰椎疾病研究的深入及实验动物学的发展, 腰椎动物模型的应用越来越广泛, 如腰椎间盘退变动物模型, 腰椎骨折动物模型、腰椎管狭窄动物模型等; 而新西兰大白兔腰椎的解剖形态与人类腰椎具有高度相似性<sup>[9-10]</sup>, 而且新西兰大白兔具有价格低廉、饲养方便、抗病能力强、结果可靠、适合大规模实验等特点, 是研究人类腰椎疾病可靠的动物载体<sup>[11-12]</sup>; 同时因为兔为非直立行走动物, 因此其与人体腰椎也存在一定的差异<sup>[13-14]</sup>。目前国内外有关腰椎形态学的研究大多集中于人体<sup>[15-16]</sup>, 鲜有动物腰椎形态学研究的文献报道<sup>[17-18]</sup>, 而兔腰椎形态学方面的研究未见相关文献报道。

实验研究利用CT和重建技术测量获得了新西兰大白兔腰椎详细的解剖形态参数, 详细的腰椎形态学参数有助于提高腰椎动物实验的准确性和成功率, 减少实验的干扰因素。如在针刺法建立兔腰椎间盘退变模型实验过程中需要暴露一侧腰椎和进行穿刺, 而腰椎周围的解剖结构复杂, 含有大量的血管和神经, 造模前应详细了解大白兔腰椎的解剖形态特点, 掌握穿刺深度, 否则容易造成实验动物的瘫痪、大出血或者死亡, 穿刺针的进针方向也需与其腰椎横突成一定的角度<sup>[19-20]</sup>。在进行腰椎融合实验前, 需要掌握实验动物的椎弓根形态参数, 如椎弓根的宽度、长度、高度等, 实验前掌握了这些参数可最大限度提高融合率。

**3.2 测量方法的评价** 腰椎形态学测量的方法很多, 目前主要有骨骼标本测量、X射线片测量、CT图像测量、三维图像重建测量及MRI图像测量等<sup>[21-22]</sup>。CT重建技术是近年来研究的热门, 也是目前比较公认的测量方法; 有研究证实CT测量得出的腰椎形态学参数和实际测得值间非常接近<sup>[9]</sup>。Misenhimer等<sup>[23]</sup>研究证实CT测量结果和实际的卡钳测量结果很接近, 其误差平均仅0.33 mm。方先来等<sup>[24]</sup>采用螺旋CT和三维重建技术对腰椎椎弓根的形态参数进行测量研究, 并与实体解剖测量结果相比较, 认为两种测量方法的测得结果基本一致。CT及重建技术测量准确, 操作简单, 强大的建模功能可快速取得二维或三维空间任何角度的重建平面, 并可在不同平面进行切割和旋转, 使测量更加直观、准确, 同时软件测量还可以减少人工测量的误差, 使测量数据的精确度更高<sup>[5]</sup>; 利用CT重建还可以在无创的情况对腰椎内部解剖结构和形态学进行反复的测量研究<sup>[25-47]</sup>。

实验详细测量了新西兰大白兔的腰椎形态学参数, 可以观察到腰椎的内部结构及不同节段的形态学变化特点, 为动物腰椎实验提供详细的形态学参数资料, 为动物腰椎形态学研究提供了一种可靠的研究方法。

**作者贡献:** 课题设计、实验实施及评估为文章全部作者。

**利益冲突:** 所有作者共同认为文章内容不涉及相关利益冲突。

**伦理问题:** 实验方案经广西医科大学第四附属医院-柳州市工人医

院动物实验伦理委员会批准。实验过程遵循了国际兽医学编辑协会《关于动物伦理与福利的作者指南共识》和本地及国家法规。实验动物在戊巴比妥麻醉下进行所有的手术, 并尽一切努力最大限度地减少其疼痛、痛苦和死亡。文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《动物实验体内实验研究报告规范指南》(ARRIVE指南)。

**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:** 文章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, 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。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他任何合法用途。

### 4 参考文献 References

- [1] 王成旭, 中国北方地区成人椎骨形态的测量研究[D]. 大连: 大连医科大学, 2007.
- [2] 贺用礼, 刘平均, 王长青, 等. 胸腰椎影像学测量及其临床意义[J]. 中国现代医药杂志, 2012, 14(9): 7-10.
- [3] 孙舰. 正常国人椎管MRL影像解剖学研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2003.
- [4] 鲁世荣, 赵健, 秦晓霖, 等. 腰椎横突与第三腰椎横突综合征的相关性研究[J]. 中国航天医学杂志, 2011, 22(6): 644-646.
- [5] 李兵, 姜保国, 傅中国, 等. 腰椎横突形态学研究[J]. 中国骨肿瘤骨病杂志, 2003, 2(2): 94-97.
- [6] 王汉琴, 王配军, 陈家强, 等. 腰椎横突的应用解剖[J]. 中国临床解剖学杂志, 2001, 19(3): 226-228.
- [7] 沈洪林. 腰椎椎板形态学测量[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2013.
- [8] 张德, 方先来, 孟志华, 等. 带棘突钛钉腰椎弓根螺旋CT三维测量的解剖学研究及临床应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2004, 12(25): 774-776.
- [9] Kothe R, O'Holleran JD, Liu W, et al. Internal architecture of the thoracic pedicle. Anatomic study. Spine. 1996; 21(3): 264-270.
- [10] 赵廷宝, 范清宇, 李云庆. T<sub>10</sub>-L<sub>5</sub>椎体标本和X射线片测量及其临床意义[J]. 中国临床解剖学杂志, 2001, 19(41): 302-304.
- [11] 西永明, 胡有谷. 椎间盘退变模型的建立及其历史和现状[J]. 中华骨科杂志, 2000, 20(6): 378-380.
- [12] 谢卯, 熊鑫茗, 周建国, 等. 椎间盘退变模型研究进展[J]. 国际骨科杂志, 2009, 30(2): 124-126.
- [13] 彭城, 任先军, 梅芳瑞, 等. 实验性椎间盘退变的放射影像学及病理学观察[J]. 骨与关节损伤杂志, 2004, 19(1): 28-30.
- [14] 吴健, 唐天骊, 王根, 等. 兔腰椎间盘退变模型的建立及影像学分析[J]. 苏州大学学报, 2007, 27(4): 552-554.
- [15] Grobler LJ, Robertson PA, Novotny JE, et al. Etiology of spondylolisthesis. Assessment of the role played by lumbar facet joint morphology. Spine. 1993; 18(1): 10-14.
- [16] 边卫国, 党晓谦, 汤少杰, 等. 计算机辅助下腰椎CT图像自动化测量及其临床价值[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(10): 749-752.
- [17] 王亮, 罗卓荆, 罗莉静, 等. 幼犬胸腰椎形态与椎弓根螺钉置入相关数据的CT测量研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2008, 26(6): 642-646.

- [18] 白皓天,韩宏志,孔宁,等. 鹿羊作为脊椎内固定动物模型的可行性研究[J]. 中国实验诊断学, 2013, 17(1):7-11.
- [19] 王靖,唐天驯,姚啸生. 纤维环穿刺诱导椎间盘退变动物模型的实验研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(4):284-286.
- [20] Niinimäki J, Rnohonon J, Silfverhuth M. et al. Quantitative magnetic resonance imaging of experimentally injured porcine intervertebral disc. *Aeta Radiologica*. 2007;48(6): 643-649.
- [21] Dullerud R. Naksiad HCT changes after conservative treatment for lumbar disk herniation. *Acta Radiol*. 1994;35(5): 415-419.
- [22] 刘正津,陈尔瑜,临床解剖学丛书-胸部和脊柱分册[M].北京:人民卫生出版社,1989.
- [23] Misenhimer CR, Peek RD, Wiltee LL, et al. Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related screw size. *Spine*. 1989;14:367-372.
- [24] 方先来,张德,孟志华,等. 螺旋CT三维测量在腰椎椎弓根置钉中的应用研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(2):96-98.
- [25] Li Bing, Jiang BG, Fu ZG, et al. Accurate determination of lumbar pedicle: a morphometric study by reformatted CT images. *Spine*. 2004;29:21:2438-2444.
- [26] 杨敬,常鑫,王强,等. 腰椎“人”字嵴顶点定位的三维CT影像研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2013, 31(1):60-63.
- [27] 李智多,袁峰,盛晓磊,等. 3D打印导板辅助腰椎皮质骨螺钉置入的可行性[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(48):7232-7238.
- [28] Phan K, Mobbs RJ, Rao PJ. Foraminal height measurement techniques. *J Spine Surg*. 2015;1(1):35-43.
- [29] Chen X, Feng S, Guan H, et al. Radiological characteristics and clinical manifestation of isolated lumbar foraminal stenosis. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 2015;53(8):584-588.
- [30] Lee SJ, Binkley N, Lubner MG, et al. Opportunistic screening for osteoporosis using the sagittal reconstruction from routine abdominal CT for combined assessment of vertebral fractures and density. *Osteoporos Int*. 2016;27(3):1131-1136.
- [31] Siepe CJ, Stosch-Wiechert K, Heider F, et al. Anterior stand-alone fusion revisited: a prospective clinical, X-ray and CT investigation. *Eur Spine J*. 2015;24(4):838-851.
- [32] Allain J, Delecrin J, Beaurain J, et al. Stand-alone ALIF with integrated intracorporeal anchoring plates in the treatment of degenerative lumbar disc disease: a prospective study on 65 cases. *Eur Spine J*. 2014;23(10):2136-2143.
- [33] Khiami F, Aziria SA, Ragot S, et al. Reliability and validity of a new measurement of lumbar foraminal volume using a computed tomography. *Surg Radiol Anat*. 2015;37(1):93-99.
- [34] Schnake KJ, Stavridis SI, Kandziora F. Five-year clinical and radiological results of combined anteroposterior stabilization of thoracolumbar fractures. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(5): 497-504.
- [35] Xu J, Mao K, Wang Y, et al. A feasibility research of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion using unilateral incision and hybrid internal fixation for dural-level lumbar degenerative disease. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2013;27(8):955-959.
- [36] Gong Q, Kong Q, Li T, et al. Application of reduction by posterior approach to treat severe spondylolisthesis. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2013;27(4): 393-398.
- [37] Matsukawa K, Yato Y, Nemoto O, et al. Morphometric measurement of cortical bone trajectory for lumbar pedicle screw insertion using computed tomography. *J Spinal Disord Tech*. 2013;26(6):E248-E253.
- [38] Zhang Y, Yang H, Liu Y, et al. Percutaneous kyphoplasty in hyperextension position for treatment of middle and late period Kümmell disease. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2012;26(4):411-415.
- [39] Makino T, Kaito T, Fujiwara H, et al. Analysis of lumbar pedicle morphology in degenerative spines using multiplanar reconstruction computed tomography: what can be the reliable index for optimal pedicle screw diameter? *Eur Spine J*. 2012;21(8):1516-1521.
- [40] Zweig T, Aghayev E, Melloh M, et al. Influence of preoperative leg pain and radiculopathy on outcomes in mono-segmental lumbar total disc replacement: results from a nationwide registry. *Eur Spine J*. 2012;21 Suppl 6:S729-736.
- [41] Delécrin J, Allain J, Beaurain J, et al. Effects of lumbar artificial disc design on intervertebral mobility: in vivo comparison between mobile-core and fixed-core. *Eur Spine J*. 2012;21 Suppl 5:S630-640.
- [42] Yan L, Li J, Zhao W, et al. The study of epidurography and multispiral CT scanning examinations in the diagnosis of lumbar nerve root canal stenosis. *Orthopedics*. 2010;33(10): 732.
- [43] Lin Y, Zhao YS, Li Q, et al. Clinical analysis of vertebral laminae reconstruction after laminectomy and pedicle screw fixation in treating lumbar spinal stenosis. *Zhongguo Gu Shang*. 2010;23(7):511-513.
- [44] Beck M, Mittlmeier T, Gierer P, et al. Which is the ideal point of time to perform intraoperative 3D imaging in dorsal stabilisation of thoracolumbar spine fractures? A matched pair analysis. *Injury*. 2010;41(10):996-1001.
- [45] Fokter SK, Repse-Fokter A, Takac I. Case report: femoral neuropathy secondary to total hip arthroplasty wear debris. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(11):3032-3035.
- [46] Knop C, Kranabetter T, Reinhold M, et al. Combined posterior-anterior stabilisation of thoracolumbar injuries utilising a vertebral body replacing implant. *Eur Spine J*. 2009;18(7):949-963.
- [47] Koltá S, Quiligotti S, Ruysen-Witrand A, et al. In vivo 3D reconstruction of human vertebrae with the three-dimensional X-ray absorptiometry (3D-XA) method. *Osteoporos Int*. 2008; 19(2):185-192.