

文章编号:1004-7220(2019)01-0035-05

## 腰椎经皮内镜下不同部位关节突成形对 相关节段活动度的影响

余 洋<sup>1</sup>, 樊效鸿<sup>1</sup>, 顾党伟<sup>2</sup>, 吴卫东<sup>3</sup>

(1.成都中医药大学附属医院,成都 610075; 2.成都中医药大学 临床医学院,成都 610075;  
3.南方医科大学 广东省生物力学重点实验室,广州 510515)

**摘要:**目的 利用三维有限元法评估腰椎经皮内镜下不同的关节突成形部位对椎体活动度(range of motion, ROM)的影响。方法 建立正常 L3~5 三维有限元模型,模拟腰椎经皮内镜技术分别在 L5 上关节突“尖部”或“基底部”做直径 0.75 cm 圆柱状骨切除以模拟椎间孔成形,从而获得正常 L3~5 模型、关节突尖部成形模型和关节突基底部成形模型。给予特定加载条件,比较 3 种模型在前屈、后伸、左右侧曲、左右旋转工况下 L3~4、L4~5 节段 ROM 变化情况。结果 L5 上关节突尖部成形后,在后伸、左右侧屈、左右旋转状态下 L4~5 节段 ROM 均较正常明显增大,以左旋最为明显;L5 上关节突基底部成形后,在左右旋转状态下 L4~5 节段 ROM 较正常稍微增大。L5 上关节突尖部、基底部成形后在 6 种不同运动状态下临近节段 L3/4 的 ROM 均无明显变化。结论 腰椎经皮内镜技术下, L5 上关节突尖部成形较关节突基底部成形对 L4~5 节段 ROM 影响较大。L5 上关节突成形对临近节段 L3~4 的 ROM 无明显影响。

**关键词:**腰椎经皮内镜; 关节突成型; 有限元方法

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2019.01.006

## Effects of Facet Joint Arthroplasty at Different Positions under Lumbar Percutaneous Endoscopy on Range of Motion of Vertebral Bodies

YU Yang<sup>1</sup>, FAN Xiaohong<sup>1</sup>, GU Dangwei<sup>2</sup>, WU Weidong<sup>3</sup>

(1. The Affiliated Hospital of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China;  
2. College of Clinical Medicine, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China;  
3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Biomechanics, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China)

**Abstract: Objective** To evaluate the influence of facet joint arthroplasty at different positions under lumbar percutaneous endoscopy on range of motion (ROM) of vertebral bodies by using the three-dimensional (3D) finite element method. **Methods** The 3D finite element model of normal L3-5 segment was established, and lumbar percutaneous endoscopy was simulated by doing cylindrical excision of bone with diameter of 7.5 mm on the tip or basement of L5 facet joint, so as to obtain normal lumbar vertebra model, L5 facet joint model with shaped tip, L5 facet joint model with shaped basement, respectively. Given specific loading conditions, the ROMs of adjacent vertebral bodies for the 3 models under flexion, extension, left and right lateral flexion, left and right rotation were

收稿日期:2018-02-22; 修回日期:2018-04-20

基金项目:四川省医学会重点课题(S17024)

通信作者:樊效鸿,教授,博士研究生导师,E-mail:fanxiaohonged@foxmail.com

compared. **Results** When L5 facet joint tip was shaped, the ROMs of L4-5 under extension, left lateral flexion, right lateral flexion, left rotation and right rotation were obviously larger than those of the normal model, especially under left rotation. When the L5 facet joint basement was shaped, the ROMs of L4-5 under left and right rotation increased slightly compared with those of the normal model. However, the ROMs of L3-4 for both tip-shaped and basement-shaped L5 facet joint model showed no obvious changes under six different motions. **Conclusions** The influence of L5 facet joint with shaped tip on ROMs of L4-5 was relatively larger than that of L5 facet joint with shaped basement under lumbar percutaneous endoscopy. There was no significant effect on the ROMs of L3-4 with L5 facet joint arthroplasty.

**Key words:** lumbar percutaneous endoscopy; facet joint arthroplasty; finite element method

腰椎经皮内镜是临床常用的一种微创技术,具有手术损伤小、术中失血少、术后疼痛轻、早期下床活动、快速康复等优点<sup>[1]</sup>。作为腰椎经皮内镜操作中的一项关键技术,椎间孔成型虽然应用广泛,但关于椎间孔成形部位、大小对相应节段或邻近节段稳定性影响等问题还缺少细致的研究和确凿的证据。本文通过三维有限元法分别模拟腰椎经皮内镜技术中在L5上关节突的尖部和基底部行椎间孔成形,研究不同的关节突成形部位对相应节段L4~5和邻近节段L3~4活动度(range of motion, ROM)的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 CT数据来源

选取1名健康男性志愿者,年龄30岁,体质量70 kg,身高175 cm,通过腰椎X片、MRI、CT等检查排除腰椎畸形和腰椎退行性病变。

### 1.2 相关软件与设备

Siemens Somatom Sensation 64 排螺旋CT检查,由成都中医药大学附属医院提供。曲面设计软件Creo 3.0、医学图像处理软件Mimics 16.0、逆向工程软件Geomagic Studio 12.0用于三维模型建立;有限元分析软件ANSYS 15.0用于三维模型处理和生物力学有限元分析。相关软件由南方医科大学生物力学重点实验室提供。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 建立L3~5正常三维有限元模型** 使用螺旋CT行L3~5扫描,将扫描获得层厚为0.625 mm二维横断面以DICOM格式保存,再将DICOM文件录入Mimics 16.0软件,在Mimics软件中建立L3~5三维模型,对模型进行打磨光滑等处理后导入ANSYS中进行网格划分处理,制作骨性有限元模

型。再根据各韧带的解剖位置,在模型中加入椎间盘、前纵韧带、后纵韧带、黄韧带、棘间韧带、棘上韧带、横突间韧带,建立L3~5正常三维有限元模型(见图1)。对模型中结构按照正常组织参数赋值<sup>[2]</sup>。其起止点及横截面积参考引用相关节段的解剖观察结论<sup>[2-3]</sup>,模型中所有关节的关节面均定义为滑动接触关系,摩擦因数为0.1<sup>[3]</sup>。

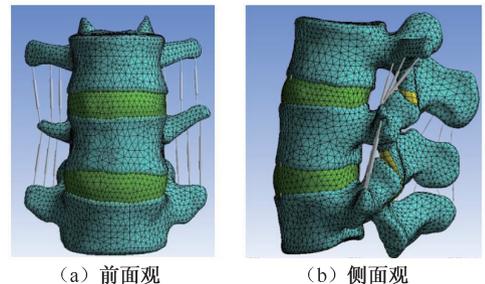


图1 L3~5三维有限元模型

**Fig.1 Finite element model of L3-5** (a) Front view, (b) Lateral view

**1.3.2 验证正常模型有效性** 在所建立的有限元模型上施加与Shim等<sup>[4]</sup>尸体研究同样的约束条件和载荷,并进行不同方向上ROM比较,经过反复修正相关的韧带结构后,使其在各个方向的ROM均分布于Shim等<sup>[4]</sup>尸体实验的范围内,以此验证模型有效、可靠(见图2)。

**1.3.3 建立不同部位关节突成形模型** 在已建立的正常L3~5有限元模型上,模拟腰椎经皮内镜技术,分别以L5的上关节突的尖部和基底部作为穿刺点,建立精确穿刺引导路线,在与冠状面30°夹角方向分别切除右侧关节突尖部或基底部(切除直径0.75 cm),获得关节突尖部成形、基底部成形模型(见图3)。

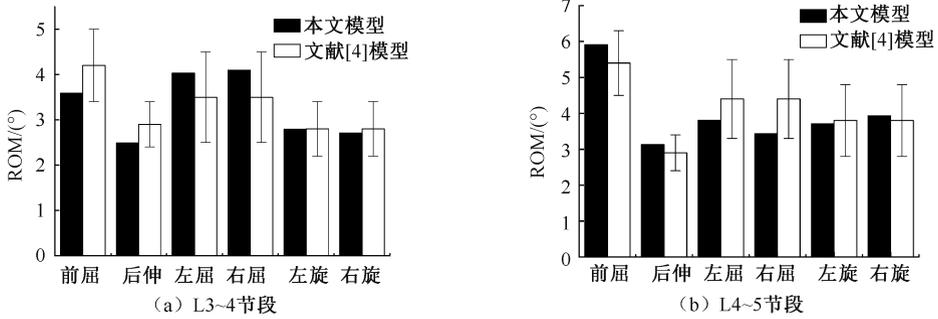
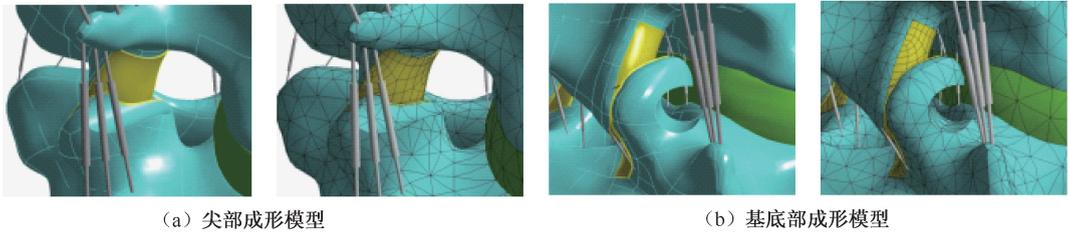


图2 本文模型与文献[4]不同节段在各运动状态下 ROM 验证结果

Fig.2 Results from ROM validation of the finite element models in present study and Ref.[4] (a) L3-4 segment, (b) L4-5 segment



(a) 尖部成形模型

(b) 基底部成形模型

图3 L5上关节突尖部成形与基底部成形有限元模型

Fig.3 Finite element models of L5 facet joint with shaped tip and shaped basement (a) Model of L5 facet joint with shaped tip, (b) Model of L5 facet joint with shaped basement

**1.3.4 载荷和边界条件** 约束 L5 椎体下表面的自由度为 0, 在 L3 椎体上表面向终板施加负荷为 400 N 垂直于水平面压力模拟正常人腰椎承载重力, 在前屈、后伸、左右侧弯、左右旋转方向上分别施加 7.5 N·m 纯扭矩, 进行上述 6 种运动状态的加载。

## 2 结果

L5 上关节突尖部成形模型在前屈、后伸、左侧

屈、右侧屈、左旋、右旋状态下 L4~5 节段 ROM 分别为 4.6°、3.5°、3.5°、3.5°、3.3°、3.0°。对比正常模型 L4~5 节段 ROM, 其后伸、左屈、右屈、左旋、右旋 ROM 均增大, 以左旋增大明显。L5 上关节突基底部成形模型在前屈、后伸、左侧屈、右侧屈、左旋、右旋状态下 L4~5 节段 ROM 分别为 4.6°、3.2°、3.4°、3.4°、2.9°、2.9°, 其中在左旋、右旋状态较正常模型稍微增大[见图 4(a)]。

L5 上关节突尖部成形模型在前屈、后伸、左侧

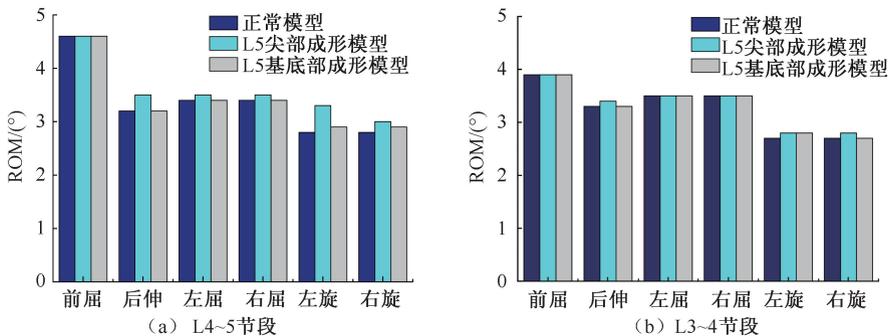


图4 L5上关节突不同部位关节突成型后不同节段 ROM 比较

Fig.4 ROM comparison of intervertebral disc after the articulation at different positions (a) L4-5 segment, (b) L3-4 segment

屈、右侧屈、左旋、右旋状态下 L3~4 节段 ROM 分别为 3.9°、3.4°、3.5°、3.5°、2.8°、2.8°，与正常模型类似；L5 上关节突基底部成形模型在前屈、后伸、左侧屈、右侧屈、左旋、右旋状态下 L3~4 节段的 ROM 分别为 3.9°、3.3°、3.5°、3.5°、2.8°、2.7°，与正常模型类似[见图 4(b)]。

### 3 讨论

#### 3.1 腰椎经皮内镜生物力学研究现状

与传统开放手术相比，腰椎经皮内镜手术具有切口小、软组织创伤小、术中出血少、术后恢复快、能早期活动、术后并发症明显减少、手术费用相对较低及伤口感染率明显降低等优点，已逐渐成为腰椎间盘突出症患者接受度高的治疗方式之一<sup>[5-7]</sup>。在腰椎经皮内镜技术中，关节突关节是操作通道置入的主要障碍，不同技术流派或不同手术方式的主要区别在于对关节突关节成形的的方式、位置及大小不同<sup>[8-10]</sup>。虽然较传统的开放髓核摘除或经典的固定融合手术而言，腰椎经皮内镜技术对邻近节段的影响更小，但由于手术操作过程中大部分患者需要进行关节突的扩大成型，不同部位、不同大小的关节突成形可能对本节段及邻近节段的生物力学特性造成影响<sup>[8]</sup>。由于目前关于不同部位椎间孔成形后对腰椎本节段及临近节段退变影响的相关研究较少，本文首先建立正常 L3~5 三维有限元模型并对其进行有效性验证，在正常模型的基础上模拟术中采用外直径 7.5 mm 环锯对 L5 上关节突成型的情况，以与冠状面 30° 夹角方向分别切除 L5 右侧关节突尖部或基底部，切除直径为 7.5 mm 的圆柱状骨性区域，以此模拟不同部位的关节突成形，便于分析 L4~5 及 L3~4 节段的相关 ROM 变化。

#### 3.2 不同部位关节突成形对邻近节段 ROM 影响的三维有限元分析

分别对正常模型以及 L5 上关节突尖部成形、基底部成形模型进行下表面约束，施加轴向载荷和不同方向的侧向应力，分析其在本节段 L4~5 及邻近节段 L3~4 在前屈、后伸、侧屈、旋转状态下的 ROM 变化情况。通过分析得知，L5 上关节突尖部成形模型在后伸、左屈、右屈、左旋、右旋状态下 L4~5 节段 ROM 分别为 3.5°、3.5°、3.5°、3.3°、

3.0°，较正常模型分别增大 9.4%、2.9%、2.9%、17.9%、7.14%，其中以左旋 ROM 增加最为明显。L5 上关节突基底部成形模型在左旋、右旋状态下 L4~5 节段 ROM 分别为 2.9°、2.9°，较正常模型分别增加 3.6%、3.6%。这表明不同部位的关节突成形后均会对相应脊柱节段 ROM 造成影响，其中 L5 上关节突尖部成型较 L5 上关节突基底部成形后对 L4~5 节段 ROM 影响明显，又以左旋活动的影响最为明显，较正常模型增加 17.9%。

对比正常模型、L5 上关节突尖部成形模型在前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转 6 种状态下，L3~4 节段 ROM 分别为 3.9°、3.4°、3.5°、3.5°、2.8°、2.8°，而基底部成形模型在 6 种状态下 ROM 分别为 3.9°、3.3°、3.5°、3.5°、2.8°、2.7°，均与正常模型类似，表明 L5 上关节突成形对相邻 L3~4 节段椎体 ROM 无明显影响。

随着经皮椎间孔镜技术的普及，关于腰椎小关节对腰椎稳定性影响的研究越来越多，而上关节突作为小关节的主要骨性结构，L5 关节突形成的位置与大小直接影响小关节的结构与功能。有研究认为，腰椎前屈活动时，小关节主要通过关节囊韧带限制椎体的前屈 ROM，腰椎的后伸 ROM 会因为小关节的骨性接触受到限制<sup>[11-12]</sup>，这与本实验中尖部成形和基底部成形对相应节段 ROM 影响结果相符合。因为尖部成形时部分切除上关节突关节面，关节骨性接触载荷抵抗减少，造成后伸 ROM 增大，而基底部成形关节面保持完整，则后伸 ROM 无影响。腰椎结构中两个小关节与椎间盘共同构成三关节复合体，对腰椎的左右侧屈和左右旋转运动起着限制作用，关节突成形在保留上关节突关节面的情况下对腰椎左右侧屈无明显影响<sup>[9]</sup>。本实验中，L5 上关节突尖部成形部分破坏小关节面与韧带关节囊韧带，造成相应节段 ROM 轻度增大。一般认为，椎间盘的圆柱形结构有利于腰椎的左右旋转，而小关节面垂直与水平面，与矢状面呈约 45° 的叠瓦状结构，在一定程度限制椎体的旋转运动。罗刚等<sup>[13]</sup>研究发现，小关节切除超过 1/2 就会明显增加相应节段左右旋转范围。本实验仅切除少量右侧 L5 上关节突关节面，就造成相应节段左旋 ROM 增加 17.9%，足见小关节对腰椎左右旋转稳定性的重要影响。

## 4 结语

本文所建正常 L3~5 三维有限元模型具有良好的几何外形,在其基础上建立的 L5 上关节突尖部和基底部成形的三维有限元模型能够很好模拟临床状况。对其进行力学分析得知,L5 上关节突尖部和基底部成型后对 L4~5 节段 ROM 均产生一定的影响,其中在 L5 上关节突尖部成形较基底部成形的影响明显。L5 上关节突成形对相邻 L3~4 节段椎体 ROM 无明显影响。

## 参考文献:

- [ 1 ] TENENBAUM S, ARZI H, HERMAN A, *et al.* Percutaneous posterolateral transforaminal endoscopic discectomy: Clinical outcome, complications, and learning curve evaluation [J]. *Surg Technol Int*, 2011, 21: 278-283.
- [ 2 ] 苏晋, 赵文志, 陈秉智, 等. 建立全腰椎有限元接触模型 [J]. *医用生物力学*, 2010, 25(3): 200-205.
- SU J, ZHAO WZ, CHEN BZ, *et al.* Establishing finite element contact model of human L1 ~ L5 lumbar segments [J]. *J Med Biomech*, 2010, 25(3): 200-205.
- [ 3 ] 黄菊英, 李海云, 吴浩. 腰椎间盘突出症力学特征的仿真计算方法 [J]. *医用生物力学*, 2012, 27(1): 96-101.
- HUANG JY, LI HY, WU H. Simulation calculation on biomechanical properties of lumbar disc herniation [J]. *J Med Biomech*, 2012, 27(1): 96-101.
- [ 4 ] SHIM CS, PARK SW, LEE SH, *et al.* Biomechanical evaluation of an interspinous stabilizing device, Locker [J]. *Spine*, 2008, 33(22): E820-827.
- [ 5 ] HOOGLAND T, SCHUBERT M, MIKLITZ B, *et al.* Transforaminal posterolateral endoscopic discectomy with or without the combination of low-dose chymopapain: A prospective randomized study in 280 consecutive cases [J]. *Spine*, 2006, 31(24): E890-E897.
- [ 6 ] HOOGLAND T, BREKELDIIKSTRA K, SCHUBERT M, *et al.* Endoscopic transforaminal discectomy for recurrent lumbar disc herniation: A prospective, cohort evaluation of 262 consecutive cases [J]. *Spine*, 2008, 33(9): 973-978.
- [ 7 ] YEUNG AT, TSOU PM. Posterolateral endoscopic excision for lumbar disc herniation: Surgical technique, outcome, and complications in 307 consecutive cases [J]. *Spine*, 2002, 27(7): 722-731.
- [ 8 ] 阮朝阳, 何永春, 曾强华, 等. 腰椎椎间孔成形幅度对关节突压力变化的有限元分析 [J]. *脊柱外科杂志*, 2017, 15(6): 357-360.
- [ 9 ] 李振宙, 侯树勋, 吴闻文, 等. 经皮侧后路腰椎间孔成形术对腰椎解剖及生物力学影响的实验研究 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2010, 9(6): 503-508.
- [ 10 ] 李嵩鹏, 周游, 李定, 等. 椎间孔境 (TESSYS) 入路相关 L5-S1 阶段椎间孔解剖学观察 [J]. *中国临床解剖学杂志*, 2015, 30(2): 129-133.
- [ 11 ] ADAMS MA, HUTTON WC, STOTT JR. The resistance to flexion of lumbar intervertebral joint [J]. *Spine*, 1980, 5(3): 245-253.
- [ 12 ] ADAMS MA, HUTTON WC. The mechanical function of the lumbar Apophyseal joint [J]. *Spine*, 1983, 8(3): 327-330.
- [ 13 ] 罗刚, 李长青, 腾海军, 等. 单节段腰椎小关节分级切除对腰椎稳定性影响的生物力学研究 [J]. *第三军医大学学报*, 2005, 27(18): 1871-1873.