

文章编号:1004-7220(2016)03-0261-05

椎间盘不对称切除对小关节压力及腰椎稳定性的影响

刘湘^{1,2}, 黄志平¹, 朱青安¹, 周若舟¹, 季伟¹, 吴秀华¹, 王吉兴¹

(1. 南方医科大学南方医院 脊柱骨科, 广州 510515; 2. 佛山市禅城区中心医院 脊柱外科, 佛山 528031)

摘要:目的 探讨腰椎间盘不对称切除对小关节压力及腰椎稳定性的影响。方法 采用7具人体脊柱标本(L2~3),制备完整椎间盘组、1/4椎间盘切除组、1/2椎间盘切除组,对标本施加7.5 N·m的屈伸、侧弯和轴向旋转方向的纯力偶矩,记录腰椎运动范围(range of motion, ROM)和小关节压力。结果 后伸方向,1/4椎间盘切除状态下非切除侧小关节压力显著性增大;侧弯方向,1/2椎间盘切除状态下的两侧小关节压力均有显著性增大;轴向旋转方向,1/2椎间盘切除状态下仅切除侧小关节压力显著性增大。1/4椎间盘切除、1/2椎间盘切除状态下的ROM均大于完整椎间盘,但前屈方向各组间ROM无差别,各组间侧弯和轴向旋转的ROM在左、右侧无差别。结论 腰椎间盘不对称切除导致腰椎除前屈方向外稳定性下降和小关节压力不对称性增大,提示腰椎间盘不对称退变引起腰椎不稳和小关节压力增大可产生腰痛。

关键词: 腰椎间盘; 腰椎; 切除; 小关节压力; 稳定性; 生物力学

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2016.03.261

Effects of asymmetric lumbar discectomy on facet joint force and stability of lumbar spine

LIU Xiang^{1,2}, HUANG Zhi-ping¹, ZHU Qing-an¹, ZHOU Ruo-zhou¹, JI Wei¹, WU Xiu-hua¹, WANG Ji-xing¹ (1. Department of Spinal Surgery, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Department of Spinal Surgery, Central Hospital of Chancheng District, Foshan 528031, Guangdong, China)

Abstract: Objective To investigate the effect of asymmetric lumbar discectomy on facet joint force and stability of lumbar spine. **Methods** Seven human cadaver specimens (L2-3 segment) were selected to make intact, 1/4 discectomy and 1/2 discectomy status and applied with pure moment of 7.5 N·m. The range of motion (ROM) and facet joint force of L2-3 segment during flexion/extension, lateral bending and axial rotation were recorded, respectively. **Results** During extension, a significant increase in facet joint force was found under 1/4 discectomy status at the remained side. During lateral bending, the facet joint force at both sides under 1/2 discectomy status increased significantly than that under intact status. During axial rotation, facet joint force increased significantly only at the side without discectomy under 1/2 discectomy status. Except flexion, ROM under 1/4 discectomy and 1/2 discectomy status were larger than that under intact status in all the other motion directions ($P < 0.05$). There was no significant difference in ROM between both sides during lateral bending and axial rotation direction. **Conclusions** The asymmetric lumbar discectomy can increase the ROM in all motion directions except flexion, and can enlarge the facet joint force asymmetrically, which indicate that instability of lumbar spine and facet joint force increasing resulted from asymmetric degeneration of the disc might lead to backache.

Key words: Lumbar intervertebral disc; Lumbar vertebrae; Discectomy; Facet joint force; Stability; Biomechanics

收稿日期:2015-11-30; 修回日期:2016-01-11

基金项目:广东省科技计划项目(2014A020212723),广东省自然科学基金项目(2015A030313276),国家自然科学基金项目(81472084)。

通信作者:王吉兴,主任医师,教授,硕士研究生导师, E-mail: wjxswy@sina.cn。

退行性腰椎侧凸 (degenerative lumbar scoliosis, DLS) 是骨骼成熟后腰椎在冠状面出现 Cobb 角大于 10° 的侧凸畸形, 50 岁以上人群 DLS 发生率约为 6%^[1-2]。随着社会老龄化的发展, DLS 的发生越来越常见, 已经成为中老年人出现腰背部疼痛、下肢疼痛和神经源性跛行等症状的重要原因^[2-3]。目前认为, DLS 的发生主要是由于不同节段椎间盘不对称退变、椎间盘产生楔形变、椎间隙高度不对称降低, 导致后方小关节受力增大和不均, 从而出现不对称退变, 引起腰椎不对称负载载荷, 最终导致腰椎在三维平面的畸形^[2-6]。

目前仍不甚清楚 DLS 发生、发展的具体机制。有学者通过改变椎间盘来建立脊柱侧凸模型^[7-8], 但仅限于动物研究。同时, DLS 的人体标本难以获得, 很难直接对 DLS 人体标本进行研究。因此, 本实验通过对人体标本 L2~3 节段椎间盘不对称逐级切除, 模拟 DLS 腰椎发生椎间盘不对称退变、椎间隙高度不对称降低, 继而观察腰椎运动范围 (range of motion, ROM) 和后方小关节压力变化, 以了解椎间盘和小关节在 DLS 中的发生机制。

1 材料与方法

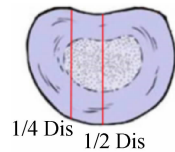
1.1 实验材料和设备

1.1.1 实验材料 采用 7 具无脊柱疾患的新鲜成人尸体脊柱制成 7 个 L2~3 功能单位, 剔除标本肌肉及脂肪等软组织, 保留椎间盘、韧带、关节囊及骨性结构的完整。标本用双层塑料袋密封, 储存在 -20°C 冰箱中备用, 实验前 8 h 取出, 室温下自然解冻。标本上、下两端用牙托石膏粉包埋。在实验过程中随时用生理盐水喷洒使标本保持湿润。

1.1.2 实验设备 脊柱试验机, Optotrak Certus 三维运动测量系统 (NDI 公司, 加拿大), 压力分布测量系统和 6900 型压力传感器感应片 (Tekscan 公司, 美国)。

1.2 实验分组和步骤

1.2.1 实验分组 实验分 3 组: ① 完整椎间盘 (Intact) 组; ② 1/4 椎间盘切除 (1/4 Discectomy, 1/4 Dis) 组; ③ 1/2 椎间盘切除 (1/2 Discectomy, 1/2 Dis) 组 (见图 1)。根据随机化原则, 3 例标本切除左侧椎间盘, 4 例切除右侧椎间盘。



(a) 椎间盘分级切除



(b) 前右侧面观



(c) 后右侧面观

图 1 L2~3 节段椎间盘切除测试示意图

Fig. 1 Schematic of the testing on grading discectomy of L2-3 segment (a) Grading discectomy of lumbar disc, (b) Right anterior view, (c) Right back view

1.2.2 模型制备 游标卡尺测量椎间盘横径后用尖刀于 1/4、1/2 横径处垂直椎间盘切入, 再上下终板平行切入, 行 1/4、1/2 椎间盘切除。L2 和 L3 椎体通过克氏针连接各放置 4 个红外线标志, 应用 Optotrak Certus 三维运动测量系统采集标志点的 ROM。用尖刀在 L2~3 节段两侧的小关节囊上做长 14 mm 切口, 将约 $14\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ 大小感应片插入小关节间隙, 记录小关节压力。

1.2.3 生物力学测试 采用脊柱试验机对标本施加 $7.5\text{ N} \cdot \text{m}$ 的屈伸 (flexion extension, FE)、侧弯 (lateral bending, LB) 和轴向旋转 (axial rotation, AR) 方向的纯力偶矩各 3 次, 加载速度为 $1^\circ/\text{s}$, 分析第 3 次加载循环时 L2~3 节段 ROM 和小关节压力。

1.3 数据分析

采用 SPSS 20.0 统计软件的重复测量方差分析处理不同组间数据, 组间比较采用 Bonferroni 检验, 采用配对 t 检验比较同一组中左右两侧数据。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 小关节压力

实验过程中观察到, 完整椎间盘状态下, 轴向旋转时同侧小关节不受压力, 而对侧小关节承受压力, 且旋转至最大 ROM 时压力最大, 左、右侧小关节压力在左、右旋过程中交替上升; 侧弯时对侧小关节几

乎不受力,而同侧小关节承受压力,且侧弯至最大 ROM 时压力最大;后伸时两侧小关节均受力,且后伸至最大 ROM 时两侧小关节压力同时达到最大值;前屈时两侧小关节几乎不受力,故未分析前屈方向小关节压力变化。完整椎间盘时侧弯、旋转方向的小关节压力分别为 16.08、60.94 N,左右两侧无差异 ($P > 0.05$),但后伸方向一侧小关节压力 (13.73 N) 大于另一侧 (7.81 N) ($P < 0.05$, 见图 2)。

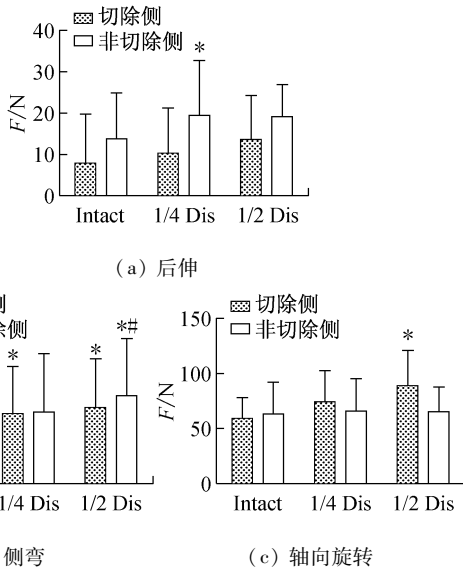


图 2 L2~3 节段在不同运动方向的小关节压力 (* 为 1/4 Dis 组、1/2 Dis 组和 Intact 组比较, # 为 1/2 Dis 组和 1/4 Dis 组比较)
 Fig. 2 Facet joint force of L2-3 in different movement directions
 (a) Extension, (b) Lateral bending, (c) Axial rotation

随着腰椎间盘切除范围扩大,两侧小关节压力变化有差别。后伸方向,1/4 椎间盘切除状态下非切除侧小关节压力显著性增大 ($P < 0.05$);侧弯方向,1/2 椎间盘切除状态下的两侧小关节压力均有显著性增大 ($P < 0.05$),非切除侧小关节压力比 1/4 椎间盘切除状态也有显著性增大 ($P < 0.05$);轴向旋转方向,1/2 椎间盘切除状态下仅切除侧小关节压力显著性增大 ($P < 0.05$, 见图 2)。

2.2 运动范围

完整椎间盘时,前屈、后伸、侧弯和轴向旋转方向 ROM 分别为 6.40° 、 3.37° 、 10.13° 、 3.96° ,侧弯和轴向旋转的 ROM 在左、右两侧无差异 ($P > 0.05$)。在 1/4 和 1/2 椎间盘切除时,切除侧侧弯、轴向旋转

与对侧 ROM 均无差别 ($P > 0.05$)。随着椎间盘切除范围扩大,轴向旋转、侧弯方向 ROM 也逐渐增大,1/4 和 1/2 椎间盘切除的 ROM 均大于完整椎间盘 ($P < 0.05$),但前屈方向各组间 ROM 无差别 ($P > 0.05$, 见图 3)。

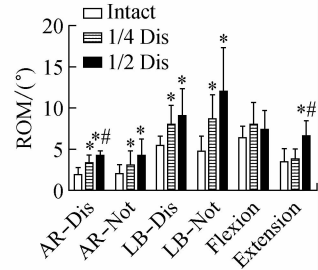


图 3 L2~3 节段在后伸、侧弯和轴向旋转运动方向 ROM ($^\circ$ 为 1/4 Dis 组、1/2 Dis 组和 Intact 组比较, # 为 1/2 Dis 组和 1/4 Dis 组比较)

Fig. 3 ROM of L2-3 segment in extension, LB and AR under three conditions

注: (AR-Not) AR-Dis、(LB-Not) LB-Dis 分别表示向 (非) 切除侧旋转、(非) 切除侧侧弯

3 讨论

椎间盘及其相应后方的两侧小关节共同组成三关节复合体,是腰椎结构和功能的基本单位。本研究结果表明,两侧腰椎小关节的压力在轴向旋转、后伸、侧弯时分别为 60、21、16 N,而 Niosi 等^[9]同样用 Tekscan 压力测量系统测量得到两侧腰椎小关节的压力在轴向旋转、后伸、侧弯分别为 56、27、13 N,并认为腰椎在轴向旋转过程中主要是对侧小关节受力。祖丹等^[10]和张加芳等^[11]测量发现,L2~3 节段前屈 ROM 分别为 4.23° 和 3.32° ,侧弯 ROM 分别为 6.41° 和 6.04° ;谷雪莲等^[12]研究表明,L2~3 节段前屈、侧弯 ROM 分别为 3.45° 、 6.66° 。与上述结果相比,本研究中前屈 (6.40°) 和侧弯 (10.13°) ROM 明显增大,但后伸和轴向旋转方向 ROM 基本相近。同时,测量小关节压力需插入压力感应片,必须切开双侧关节囊,可能导致标本在前屈和侧弯方向的 ROM 增大。

不对称切除椎间盘后,侧弯方向两侧小关节压力呈对称性并显著增大,后伸和轴向旋转方向两侧小关节压力变化却呈不对称性。轴向旋转方向仅切除侧小关节压力显著增大,后伸方向仅非切除侧小

关节压力显著增大。不对称切除椎间盘后在侧弯和旋转方向, 双侧腰椎 ROM 呈对称性明显增大, 并且 ROM 在左、右两侧无差别。周跃等^[13] 不对称分级切除单侧腰椎小关节, 发现左、右两侧轴向旋转和侧弯方向 ROM 随着切除范围呈对称性增大。郭功亮等^[14] 不对称切除单侧颈椎小关节, 同样发现左、右两侧轴向旋转和侧弯方向 ROM 随着切除范围呈对称性增大, 左、右两侧比较无差别。由此可见, 不对称性变化的小关节压力较对称性变化的 ROM 能更好反映脊柱损伤的不对称性。但随着椎间盘或小关节损伤范围扩大, 小关节压力和 ROM 都呈逐渐增大趋势, 两者都能较好反映脊柱损伤的严重程度。

一般认为, DLS 的始发因素是椎间盘退变的不对称改变和椎间隙高度的不对称降低, 导致后方小关节受力增大及不均而出现不对称退变, 最终导致 DLS 的发生^[2-6]。有学者通过改变椎间盘建立脊柱侧凸模型, 例如: Shono 等^[17] 通过切除左侧椎间盘, 置入楔形状的树脂椎间盘, 建立了牛脊柱侧凸模型; Wilke 等^[8] 在牛标本上摘除髓核, 置入楔形状硅胶以达到椎间隙高度不对称改变, 在动物体外建立脊柱侧凸模型。本研究通过不对称切除椎间盘, 模拟椎间盘不对称退变和椎间隙高度不对称降低, 观察到后方小关节压力不对称性增大, 从生物力学角度探讨 DLS 发生、发展过程中小关节压力变化。本研究前期动物实验显示, 小关节受力越大和加载应力时间越长, 小关节退变也越严重^[15]。本实验结果表明, 随着椎间盘切除范围增大, 后方小关节压力也增大。Popovich 等^[16] 通过骨盆倾斜模拟出现腰椎侧凸时发现, 椎间盘、小关节压力增加, 并指出这可能是腰椎侧凸患者出现腰痛的原因。可以推测, 椎间盘不对称退变后小关节的压力明显增大, 时间越长, 小关节退变则会越严重, 从而导致腰痛的发生。

同时, 许多学者从临床方面探讨 DLS 患者椎间盘和小关节的改变。Kobayashi 等^[17] 通过对 60 名患者进行 12 年的随访研究, 认为椎间盘不对称退变后, 如果一侧的高度较对侧降低 20%, 发生 DLS 的可能性将增加。Winter 等^[18] 认为, DLS 患者凹侧出现的腰痛症状, 可能是由小关节被磨损破坏引起的。Jenkins^[19] 指出, 椎间隙高度改变和节段间的不稳则可使小关节压力增大, 从而导致小关节软骨退变。结合临床研究, DLS 患者早期如果椎间盘发生不对

称退变和椎间隙高度不对称改变后, 小关节压力将会增加, 特别是椎间隙高度降低侧的小关节压力明显增加, 可引起腰痛。高应力亦可诱导骨赘形成, 骨赘可压迫神经引起腰腿痛。腰椎小关节压力不对称改变又将会加重椎间盘、腰椎等其他结构进一步发生不对称改变, 并形成恶性循环, 加剧 DLS 的发展。

正常生理状态下, 椎间盘除了承担脊柱前方的载荷, 纤维环还具有抗牵拉、抗剪切及抗扭转等生物力学特性, 在维持椎间盘的完整中起着举足轻重的作用。对纤维环生物力学的研究有助于临床诊断时更为便捷地掌握椎间盘及其运动节段的生物力学状态, 从而制定相应的治疗方案^[20]。有学者切开和切除纤维环后研究其生物力学特性。龚耀成等^[21] 在椎间盘突出部位行纤维环环状开窗, 切除突出纤维环和髓核, 发现椎间盘内压力骤降和纤维环失去原有张力, 导致椎间盘高度降低和纤维环膨出增加, 认为这可能是腰椎不稳和神经根受损的原因。杨洋等^[22] 切开后纵韧带及纤维环, 发现腰椎稳定性显著下降和椎间盘内压力骤降, 缝合切口后可部分恢复腰椎稳定性。目前单纯腰椎间盘切除术是椎间盘突出症患者常用的手术方式, 但术后患者常发生腰痛^[23]。陈学明等^[24] 对 35 例采用单纯髓核摘除术后 10 年以上的单节段椎间盘突出症患者进行随访, 大多数患者术后腰腿痛, 推测手术破坏了纤维环的完整性, 导致腰椎稳定性下降和小关节压力增大。因此, 本文主张行腰椎间盘切除术或微创单纯髓核摘除术时, 纤维环切口应尽量小, 这样可以尽可能保留腰椎稳定性和降低术后小关节压力, 最大程度改善患者术后腰腿痛等症状。

本文通过不对称切除腰椎间盘发现, 小关节压力和腰椎活动度都明显增大, 推测 DLS 患者椎间盘不对称退变可能引起腰椎不稳和小关节压力增大, 从而导致腰痛发生。本研究存在以下不足之处: 首先, 测量小关节压力需要切开发节囊, 使得关节囊对腰椎活动的保护性减弱; 其次, 样本量小; 另外, 只是通过不对称切除椎间盘模拟 DLS 患者椎间盘不对称改变, 其模型验证需开展进一步研究。

参考文献:

[1] Daffner SD, Vaccaro AR. Adult degenerative lumbar

- scoliosis [J]. *Am J Orthop*, 2003, 32(2): 77-82.
- [2] Kotwal S, Pumberger M, Hughes A, *et al.* Degenerative scoliosis: A review [J]. *HSS J*, 2011, 7(3): 257-264.
- [3] Ploumis A, Transfeldt EE, Denis F. Degenerative lumbar scoliosis associated with spinal stenosis [J]. *Spine J*, 2007, 7(4): 428-436.
- [4] Pritchett JW, Bortel DT. Degenerative symptomatic lumbar scoliosis [J]. *Spine*, 1993, 18(6): 700-703.
- [5] Birknes JK, White AP, Albert TJ, *et al.* Adult degenerative scoliosis: A review [J]. *Neurosurgery*, 2008, 63(3 Suppl): 94-103.
- [6] Silva FE, Lenke LG. Adult degenerative scoliosis: Evaluation and management [J]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28(3): 1-10.
- [7] Shono Y, Kaneda K, Yamamoto I. A biomechanical analysis of Zielke, Kaneda, and Cotrel-Dubouset instrumentations in thoracolumbar scoliosis. A calf spine model [J]. *Spine*, 1991, 16(11): 1305-1311.
- [8] Wilke HJ, Mathes B, Miederhoff S, *et al.* Development of a scoliotic spine model for biomechanical *in vitro* studies [J]. *Clin Biomech*, 2015, 30(2): 182-187.
- [9] Niosi CA, Wilson DC, Zhu Q, *et al.* The effect of dynamic posterior stabilization on facet joint contact forces: An *in vitro* investigation [J]. *Spine*, 2008, 33(1): 19-26.
- [10] 祖丹, 海涌, 云才, 等. 腰椎棘突间动态稳定装置 Conex 不同置入深度对相邻节段运动范围影响的生物力学研究 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2014, 24(10): 933-937.
- [11] 张加芳, 郑召民, 张奎渤, 等. 经皮置入式腰椎棘突间撑开器的生物力学测试 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(2): 129-132.
- [12] 谷雪莲, 蔡方舟, 胡方遒, 等. Coflex 和 X-STOP 治疗腰椎管狭窄的生物力学性能 [J]. *医用生物力学*, 2015, 30(4): 318-325.
- Gu XL, Cai FZ, Hu FQ, *et al.* Biomechanical properties of Coflex and X-STOP in treatment of lumbar spinal stenosis [J]. *J Med Biomech*, 2015, 30(4): 318-325.
- [13] 周跃, 罗刚, 初同伟, 等. 腰椎单侧小关节突分级切除的生物力学影响及微创外科的修复与重建 [J]. *中华医学杂志*, 2007, 87(19): 1334-1338.
- [14] 郭功亮, 齐兵, 曲阳, 等. 关节突关节切除范围对下颈椎稳定性影响的生物力学研究 [J]. *生物医学工程研究*, 2010, 29(4): 259-262.
- [15] 张继业, 王吉兴, 王新, 等. 高应力与腰椎小关节方向变化关系的实验研究 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2013, 23(7): 648-653.
- [16] Popovich JMJ, Welcher JB, Hedman TP, *et al.* Lumbar facet joint and intervertebral disc loading during simulated pelvic obliquity [J]. *Spine J*, 2013, 13(11): 1581-1589.
- [17] Kobayashi T, Atsuta Y, Takemitsu M, *et al.* A prospective study of de novo scoliosis in a community based cohort [J]. *Spine*, 2006, 31(2): 178-182.
- [18] Winter RB, Lonstein JE, Denis F. Pain patterns in adult scoliosis [J]. *Orthop Clin North Am*, 1988, 19(2): 339-345.
- [19] Jinkins JR. Acquired degenerative changes of the intervertebral segments at and suprajacent to the lumbosacral junction. A radioanatomic analysis of the nondiscal structures of the spinal column and perispinal soft tissues [J]. *Eur J Radiol*, 2004, 50(2): 134-138.
- [20] 单治, 范顺武, 赵凤东. 腰椎间盘纤维环的生物力学性能研究进展 [J]. *中华骨科杂志*, 2014, 34(3): 330-335.
- [21] 龚耀成, 汤华丰, 张伟滨, 等. 椎间盘切除对椎间盘高度和纤维环膨出的影响 [J]. *上海第二医科大学学报*, 1993, 13(3): 189-192.
- [22] 杨洋, 尹晓红, 余将明, 等. 纤维环缝合对腰椎稳定性及椎间盘内压力影响的研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2014, 22(13): 1217-1220.
- [23] Bron JL, Helder MN, Meisel HJ, *et al.* Repair, regenerative and supportive therapies of the annulus fibrosus: Achievements and challenges [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(3): 301-313.
- [24] 陈学明, 刘亚东, 许崧杰, 等. 单节段腰椎间盘突出症单纯髓核摘除术后 10 年以上随访观察 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(8): 644-649.