

· 基础研究 ·

椎间盘减压在椎体去旋转中的作用

吴运昌, 王 征*, 宋 凯, 吴 兵, 张国莹, 赵永飞

中国人民解放军总医院骨科, 北京 100853

【摘要】目的 利用成年猪脊柱标本探讨椎间盘减压在椎体去旋转中的作用。方法 采集6具新鲜成年猪脊柱制作成包括2个相邻椎体及1个椎间盘的标本36个($T_8 \sim L_6$ 12个椎间盘各3个标本), 用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)包埋固定。将标本固定在Instron拉扭试验机上, 轴向逆时针旋转上位椎体 6° , 复位后再顺时针旋转 6° , 记录不同旋转方向的扭矩最大值(绝对值)。之后在椎间盘右后侧(棘突的逆时针方向)进行初步椎间盘减压, 重复测量并记录扭矩最大值(绝对值)。最后行扩大切开纤维环减压, 再次测量并记录数据。计算2次减压在逆时针方向及顺时针方向上分别造成的扭矩最大值降幅。结果 逆时针方向旋转所需扭矩最大值在减压前、初次减压后、扩大减压后分别为(12.43 ± 3.71) $N \cdot m$ 、(10.44 ± 3.32) $N \cdot m$ 、(8.12 ± 2.90) $N \cdot m$, 顺时针方向分别为(12.57 ± 4.12) $N \cdot m$ 、(10.94 ± 3.81) $N \cdot m$ 、(7.97 ± 3.52) $N \cdot m$ 。扩大减压在顺时针方向造成的降幅值为(2.97 ± 1.90) $N \cdot m$, 高于初次减压的降幅[(1.63 ± 0.74) $N \cdot m$], 也高于扩大减压在逆时针方向的降幅[(2.32 ± 1.56) $N \cdot m$], 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。结论 椎间盘减压能够显著降低椎体轴向旋转所需扭矩, 并且其效果存在“递减效应”。

【关键词】胸椎; 腰椎; 脊柱侧凸; 减压术, 外科; 生物力学; 猪

【中图分类号】R 318.01 【文献标志码】A 【文章编号】1672-2957(2018)05-0297-05

【DOI】10.3969/j.issn.1672-2957.2018.05.010

Role of disc decompression in resistance to vertebral rotation

WU Yun-chang, WANG Zheng*, SONG Kai, WU Bing, ZHANG Guo-ying, ZHAO Yong-fei

Department of Orthopaedics, General Hospital of Chinese People's Liberation Army, Beijing 100853, China

【Abstract】Objective To investigate the effect of disc decompression on resistance to vertebral rotation torque in the spine of adult pigs. Methods Six fresh adult porcine spines were involved and made into 36 specimens which consisted of 2 adjacent vertebral bodies and 1 intervertebral disc from T_8 to L_6 , with 3 specimens each of 12 vertebral discs. The specimens were embedded with polymethylmethacrylate (PMMA). Then the specimens were fixed on the Instron tensile torsion test machine. The caudal vertebra was immobilized, while the upper vertebra was rotated 6° counterclockwise and clockwise (first test), and the maximum torques were recorded in both directions. Then, the initial disc decompression (second test) was performed on the right posterior side of the disc (the counterclockwise direction of the spinous process), and the maximum torque (absolute value) was measured and recorded. Finally, the extended annulus decompression (third test) was performed, and data were measured and recorded again. The maximum torque reduction caused by the 2 decompressions in counterclockwise direction and clockwise direction was calculated. Results The maximum torques required for counterclockwise rotation were (12.43 ± 3.71) $N \cdot m$, (10.44 ± 3.32) $N \cdot m$ and (8.12 ± 2.90) $N \cdot m$ in 3 tests, respectively; the maximum torques for clockwise were (12.57 ± 4.12) $N \cdot m$, (10.94 ± 3.81) $N \cdot m$ and (7.97 ± 3.52) $N \cdot m$, respectively. The torque reduction by the extended decompression was (2.97 ± 1.90) $N \cdot m$ in the clockwise direction, which was significantly higher than that by the initial decompression in the same direction [(1.63 ± 0.74) $N \cdot m$], and significantly higher than that in the opposite direction [(2.32 ± 1.56) $N \cdot m$] as well, both with significant difference ($P < 0.05$). Conclusion Disc decompression can significantly reduce torque required for axial deflection. The effect of disc decompression on reducing torque follows the law of diminishing.

【Key Words】Thoracic vertebrae; Lumbar vertebrae; Scoliosis; Decompression, surgical; Biomechanics; Swine

J Spinal Surg, 2018, 16(5): 297-301

作者简介: 吴运昌(1986—), 硕士, 医师; wuyunchang2004@163.com

*通信作者: 王 征 wangzheng301@163.com

特发性脊柱侧凸是一种病因不明、伴随椎体旋转的脊柱畸形。对于畸形较重、畸形发展较快或支具治疗不能控制的患者,如何在尽可能保留脊柱生理功能的前提下进行矫形手术,减少并发症、失代偿的发生,一直是研究的热点^[1-3]。目前特发性脊柱侧凸去旋转矫形手术的要点在于使用不同处理方式对脊柱进行松解,降低脊柱抗旋转力,以获得良好的矫形效果。常用的手术方式包括前路纤维化松解、后路小关节突松解以及两者的联合。已有学者对前纵韧带、纤维环、后纵韧带、肋骨头、黄韧带、关节突和棘间韧带等的松解效果进行了研究^[4-9],但是尚未见关于单纯椎间盘减压对椎体去旋转效果的研究。研究椎间盘减压对椎体去旋转的作用,对于探讨特发性脊柱侧凸中椎体旋转力学作用机制及手术治疗策略有重要意义。本研究利用成年猪脊柱标本针对上述问题进行相关生物力学实验,为椎体旋转的生物力学及临床研究提供一定的参考依据。

1 材料与方法

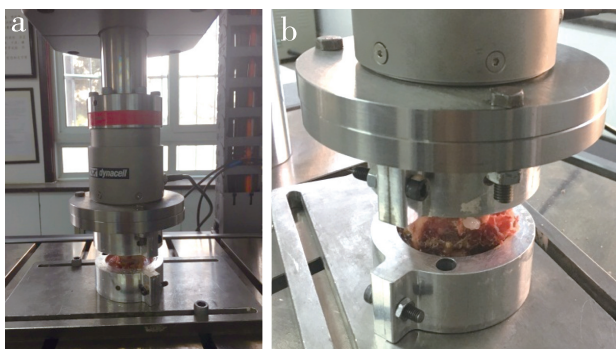
1.1 标本制备

采集6具新鲜成年猪脊柱标本,排除外伤、侧凸等疾病。标本获取后去除脊柱旁的肌肉和韧带组织,保留骨和纤维环结构完整,随机分为2组,制作成包括2个相邻椎体及1个椎间盘的标本,获得T₈~L₆的12个椎间盘各3个标本,共计36个标本。标本制作完成后装入双层塑料袋,放入-20℃冰柜保存,实验前室温下放置解冻。使用咬骨钳将标本双侧关节突完全咬断并咬除部分棘突,用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)将标本的上下端进行包埋固定,上、下包埋装置分别与标本两端的终板平行,保持椎间盘位于水平面上。

1.2 实验测试

将标本固定于Instron拉扭试验机,轴向逆时针旋转上位椎体6°后回复原位,再顺时针旋转6°并回复原位,保持加载频率0.01 Hz,恒定速率0.24°/s,重复加载卸载3次(图1)。记录每次循环中的扭矩最大值(指绝对值,下同)。使用手术刀(23#刀片)在棘突右侧旁开45°位置探入椎间盘,刀尖突破纤维环触及髓核,切开宽度约1.0 cm,进行初次椎间盘减压,并重复上述测试过程、记录数据。最后,使用手术刀片向两侧扩大切开纤维环,总切开宽度控制在约2.5 cm,进行扩大减压,再次重复测试过程并记录数据。实验全程均遵守以下原则。①标本下

端固定,在标本上端加载盘给予“纯力矩”,保证通过轴面的力矩大小一致;②模拟肌肉组织的生物力学作用和活体组织的协调作用,轴向载荷保持压力载荷10 N恒定;③实验室温度控制在20~25℃;④标本在实验全程用生理盐水保持湿润;⑤为了消除脊柱黏弹性的影响,进行重复加载卸载,第3次加载后分别记录逆时针方向(向破坏纤维环的一侧旋转)及顺时针方向(向破坏纤维环的对侧旋转)旋转时的扭矩最大值(图2)。



a: 标本固定在Instron拉扭试验机上 b: 初次椎间盘减压后对上位椎体进行轴向旋转,可见溢出的髓核

a: Specimens are fixed on Instron tensile torsion test machine b: Nucleus pulposus overflowed when upper vertebral body is rotated axially after primary disc decompression

图1 标本测试

Fig. 1 Specimens test

1.3 统计学处理

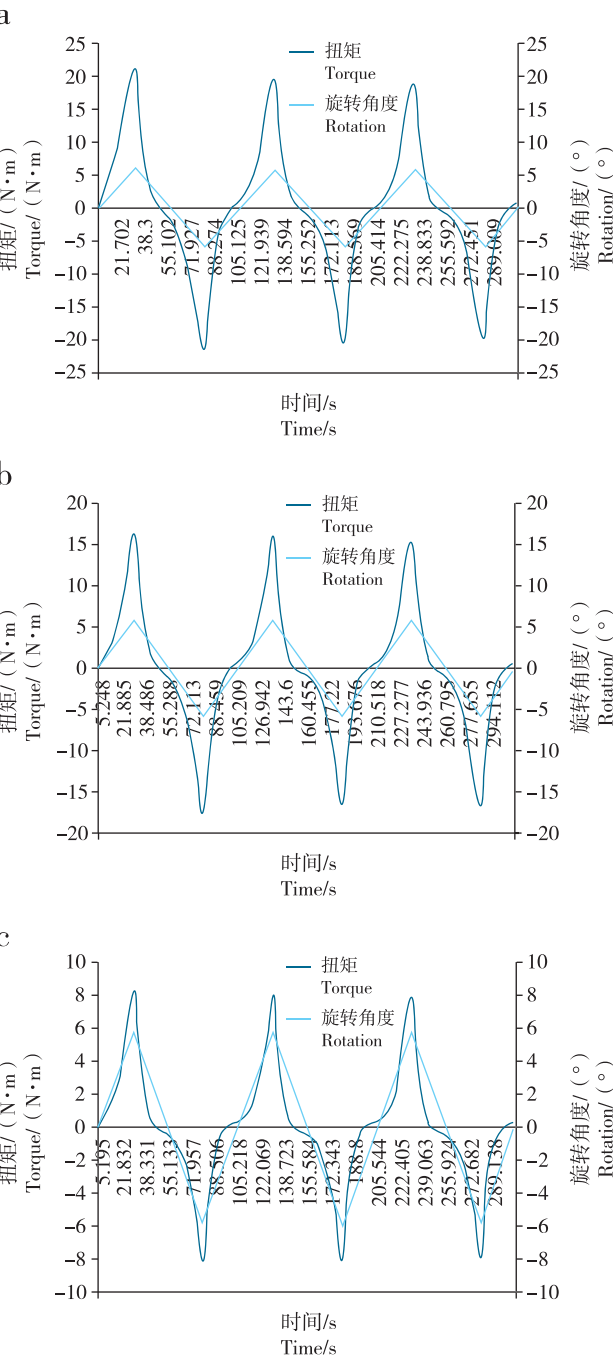
应用SPSS 20.0软件对数据进行统计学分析。经正态性检验,扭矩最大值和扭矩降幅均符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用LSD-*t*检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

与减压前相比,初次减压后逆时针方向旋转最大扭矩降低,差异有统计学意义($P < 0.05$,表1);顺时针方向旋转最大扭矩降低,但差异无统计学意义($P > 0.05$,表1)。与初次减压后相比,扩大减压后逆时针和顺时针方向旋转最大扭矩均降低,差异均有统计学意义($P < 0.05$,表1)。

2次减压在逆时针方向造成的扭矩降幅分别为 $(2.00 \pm 0.81) \text{ N} \cdot \text{m}$ 、 $(2.32 \pm 1.56) \text{ N} \cdot \text{m}$,在顺时针方向上分别为 $(1.63 \pm 0.74) \text{ N} \cdot \text{m}$ 、 $(2.97 \pm 1.90) \text{ N} \cdot \text{m}$ 。初次减压在2个方向造成的扭矩降幅是不同的,扩大减压对2个方向造成的扭矩降幅也是不同的,但

2个方向累计扭矩降幅差异无统计学意义(4.32 N·m vs. 4.60 N·m, $P>0.05$)。扩大减压在顺时针方向造成的降幅最大, 高于初次减压后顺时针方向的降幅, 也高于扩大减压后逆时针方向的降幅, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。



a: 减压前 b: 初次减压后 c: 扩大减压后
a: Before decompression b: Post- initial decompression c: Post- further decompression

图2 同一标本(L₁/L₂)在不同状态下进行恒定速率轴向旋转6°所需扭矩
Fig. 2 Changes in torque required to rotate same specimen (L₁/L₂) by 6° in axial direction at a constant speed

表1 不同旋转方向不同条件下进行轴向旋转6°时所需最大扭矩值

Tab. 1 Maximum torque required for 6° axial deflection after different treatment

N=36, $\bar{x} \pm s$, (N·m)

旋转方向 Rotation direction	减压前 Before decompression	初次减压后 Post- initial decompression	扩大减压后 Post- full decompression
逆时针 Counter-clockwise	12.43 ± 3.71	10.44 ± 3.32*	8.12 ± 2.90* [△]
顺时针 Clockwise	12.57 ± 4.12	10.94 ± 3.81	7.97 ± 3.52* [△]

注: *与减压前相比, $P<0.05$; [△]与初次减压后相比, $P<0.05$
Note: * $P<0.05$, compared with before decompression; [△] $P<0.05$, compared with post- initial decompression

3 讨论

特发性脊柱侧凸是一类涉及椎体旋转的脊柱三维畸形, 目前矫形手术是病情严重患者的最终治疗方案。随着手术器械和手术治疗技术的发展, 手术对矫正畸形、恢复脊柱生物力学的效果有了提升, 越来越多复杂的特发性脊柱侧凸患者接受手术治疗, 但出血、感染及神经损伤等传统并发症的发生率仍未降低^[10-13], 而曲轴现象、脊柱失代偿及融合节段功能丧失等新的并发症又逐渐引起重视。

对脊柱进行充分松解、获得良好的去旋转效果是特发性脊柱侧凸手术的关键。Abul-Kasim等^[14]对青少年特发性脊柱侧凸手术患者使用低剂量CT检查, 发现出现螺钉松动的比例高于腰椎手术。这一结果可能与脊柱侧凸患者术后钉棒持续受到轴向扭转力有关。为此, 有学者研究了脊柱的抗旋转作用, Krismer等^[4]研究了新鲜尸体纤维环的抗旋转作用, 认为没有发生退行性变的纤维环的抗旋转作用强于关节突关节。也有学者研究了特发性脊柱侧凸的后路松解方式对旋转及脊柱活动度的影响, Hwang等^[7]认为后路关节突松解能够降低轴向旋转所需扭矩的18%; Holewijn等^[9]通过研究后路松解和Ponte截骨对脊柱活动度的影响, 提出了“递减效应”(随着松解的进行, 其增加脊柱活动度的效应逐渐减弱), 并对传统的常规截骨(如Ponte截骨)是否有必要提出质疑。

相对于韧带、关节突在去旋转中所起的作用, 对椎间盘的研究仍然较少。本研究采用新鲜猪脊柱标本对椎间盘减压在去旋转中的作用进行研究, 参照手术去旋转的方式模拟在轴面上逐个椎体旋转的过程^[5-7], 将新鲜猪脊柱制作成独立的功能单位

标本,在轴向施加固定的10 N载荷,并固定远端椎体,对近端椎体进行轴向旋转。纤维环前侧、两侧的纤维层最厚,后侧的纤维层厚度较薄。从宽度来讲,即使是扩大减压,纤维环的破坏也仅为椎间盘周径的约1/4,纤维环仍然相对完整,椎体旋转所需扭矩的下降更多来自椎间盘减压而非纤维环破坏;与Krismer等^[4]垂直于纤维方向凿开纤维环的破坏方式不同,本研究考虑到纤维是平行斜向两椎体结构,在减压破坏纤维环时沿轴面进行,使纤维环的破坏对左右两侧旋转造成的影响尽可能一致,而减压后向2个方向旋转扭矩的降幅不同,也从侧面证实扭矩的下降来自椎间盘减压而非纤维环破坏。初次减压后进行轴向旋转,半流体状态的髓核被挤压出来,但此时的减压并不充分,相对来说作为远离减压口的椎间盘左侧的髓核压力仍然较高,减压口附近的右侧减压较为充分;当进行扩大减压时,椎间盘左侧的髓核就会得到更充分的减压,因此降低轴向旋转扭矩的作用更明显。扩大减压对于原来减压不充分的一侧效果更明显,这说明椎间盘减压在减少轴向旋转所需扭矩方面存在“递减效应”,即髓核张力越大,减压造成的降低旋转扭矩的效果越明显;髓核张力越小,减压造成的降低旋转扭矩的效果越差。2次减压后,双侧的减压均已比较彻底,所以2个方向累计扭矩降幅差异无统计学意义。在脊柱侧凸患者的胸腰弯、主腰弯中更容易出现椎间盘楔形变,由于“递减效应”的存在,椎间盘减压的去旋转效果可能会更明显,对顶椎附近椎间盘进行初次减压就有可能获得较好的减少轴向旋转所需扭矩的效果。

本研究的局限在于使用的是非脊柱侧凸的猪脊柱标本。受限于伦理及尸体标本的难以获得,学者们尝试用各种方法建立脊柱侧凸动物模型,包括小牛、山羊、猪、狗、兔和鼠等,研究该病的发生、发展机制以改进治疗方案^[15]。但由于脊柱侧凸病因的复杂性,尤其人类特有的站立姿势在疾病发展中的作用,目前尚没有能够较充分模拟特发性脊柱侧凸畸形的动物模型。利用正常猪脊柱标本进行生物力学研究非常普遍,Wilke等^[16]研究了猪脊柱的体外生物力学性能并与人脊柱的数据做了对比,发现猪的下胸椎和腰椎与人脊柱在功能单位的三维运动范围等方面具有相似的力学性能,但没有对椎间盘的生物力学性质进行对比。另外,本研究模拟的是正常椎体在保持轴向载荷稳定的情况下进行轴面旋转的过程,与临床手术中对楔形变等非正常结构的椎

间盘及椎体进行三维去旋转有很大不同;而且受限于实验条件,本研究也没有能够实现对椎间盘压力的动态测量。

本研究用猪脊柱标本对椎间盘减压在椎体去旋转中的作用进行了初步探索和验证,为研究椎间盘在椎体旋转的生物力学作用及临床研究提供了参考数据。由于脊柱侧凸是三维改变,与本实验保持轴向10 N的载荷不同,侧凸患者顶椎的椎间盘由侧方矫形回到冠状位的中立位置过程中,其轴向载荷显著增加,远远超出患者身体上半部的自身重力,椎间盘的压力也显著增加。在这种情况下对脊柱侧凸患者进行轴向旋转矫形复位,纤维环受到旋转拉伸并与椎体一起挤压髓核时,将会导致椎间盘内压力的升高更为显著。此时,椎间盘减压对椎体去旋转的作用及其“递减效应”都会更加显著。由此可以推测,在侧凸角度较大的Lenke 5型患者顶椎区进行不彻底的椎间盘减压即有可能得到明显的去旋转效果,这将有助于缩短手术时间,减少出血、感染等并发症。未来研究需要合适的测量椎间盘内压力的工具,更需要能够方便获得的成熟的脊柱侧凸动物模型以及可靠的脊柱有限元分析模型。相信通过对椎间盘减压的进一步深入研究,有望实现特发性脊柱侧凸手术方式的革新,进而提升手术效果,降低并发症发生率。

参考文献

- [1] 邱贵兴.青少年特发性脊柱侧凸手术治疗进展[J].中国骨与关节外科,2011,4(4):261-264.
- [2] Agabegi SS, Kazemi N, Sturm PF, et al. Natural history of adolescent idiopathic scoliosis in skeletally mature patients: a critical review[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2015, 23(12): 714-723.
- [3] 朱泽章.青少年特发性脊柱侧凸病因学研究进展[J].医学研究生学报,2016,29(2):126-132.
- [4] Krismer M, Haid C, Rabl W. The contribution of anulus fibers to torque resistance[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1996, 21(22): 2551-2557.
- [5] Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(3): 343-349.
- [6] Wiemann J, Durrani S, Bosch P. The effect of posterior spinal releases on axial correction torque: a cadaver study[J]. J Child Orthop, 2011, 5(2): 109-113.

- [7] Hwang SW, Samdani AF, Cahill PJ. The impact of segmental and en bloc derotation maneuvers on scoliosis correction and rib prominence in adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 16(4): 345-350.
- [8] Wollowick AL, Farrelly EE, Meyers K, et al. Anterior release generates more thoracic rotation than posterior osteotomy: a biomechanical study of human cadaver spines[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(18): 1540-1545.
- [9] Holewijn RM, Schlösser TP, Bisschop A, et al. How does spinal release and ponte osteotomy improve spinal flexibility? The law of diminishing returns[J]. Spine Deform, 2015, 3(5): 489-495.
- [10] Murphy RF, Mooney JF 3rd. Complications following spine fusion for adolescent idiopathic scoliosis[J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2016, 9(4): 462-469.
- [11] Halanski MA, Cassidy JA. Do multilevel Ponte osteotomies in thoracic idiopathic scoliosis surgery improve curve correction and restore thoracic kyphosis? [J]. J Spinal Disord Tech, 2013, 26(5): 252-255.
- [12] 杨武,李志鲲,翟骁,等. 钻铬棒在青少年特发性脊柱侧凸矫形手术中的应用[J]. 脊柱外科杂志, 2015, 13(3): 129-134.
- [13] 程昌志,李贵谦,何少康,等. 后路选择性双侧交替置钉棒矫形内固定治疗青少年脊柱侧凸[J]. 脊柱外科杂志, 2015, 13(2): 71-74.
- [14] Abul-Kasim K, Ohlin A. Evaluation of implant loosening following segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis: a 2 year follow-up with low-dose CT [J]. Scoliosis, 2014, 9: 13.
- [15] Ouellet J, Odent T. Animal models for scoliosis research: state of the art, current concepts and future perspective applications[J]. Eur Spine J, 2013, 22 Suppl 2: S81-95.
- [16] Wilke HJ, Geppert J, Kienle A. Biomechanical *in vitro* evaluation of the complete porcine spine in comparison with data of the human spine[J]. Eur Spine J, 2011, 20(11): 1859-1868.

(收稿日期: 2017-07-15)

(本文编辑: 于 倩)

· 征订启事 ·

欢迎订阅2019年《脊柱外科杂志》

《脊柱外科杂志》是一本经国家新闻出版总署批准,由上海市卫生和计划生育委员会主管,中华医学会上海分会主办的高级学术期刊。本刊已被中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、中文生物医学期刊文献数据库、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)收录为统计源期刊。本刊对脊柱外科各个领域的基础与临床研究热点、研究成果、技术与进展、经验与创新等进行全方位的报道,竭诚为脊柱外科医师、学者服务。读者对象为骨科及相关学科的临床、教学和科研人员。

本刊为双月刊, A4 开本, 正文 72 页, 铜版纸双色印刷, 双月 28 日出版, 全国公开发行人。

邮发代号: 4-750。每期定价 28 元, 全年 168 元。

官网地址: www.spinejournal.net

联系地址: 上海市成都北路 500 号《脊柱外科杂志》编辑部

邮 编: 200003

联系电话: 021-33300675

E-mail: spinejournal@163.com

欢迎各位同仁踊跃投稿, 积极订阅!