

文章编号:1004-7220(2018)02-0131-05

保留后部韧带复合体结构对腰椎减压融合术后相邻节段生物力学特性的影响

李超, 杨枫, 徐成, 阮狄克

(海军总医院 骨科, 北京 100048)

摘要:目的 比较人体腰椎标本保留后部韧带复合体 (posterior ligament complex, PLC) 结构在位移及载荷两种不同加载模式下对腰椎减压融合术后相邻节段生物力学特性的影响。方法 6 具急性脑死亡新鲜青年男性 T12 ~ S2 尸体标本, 每个标本在位移及载荷加载两种模式下依次完成以下状态的生物力学测试: 完整状态、L4 ~ 5 椎板间大开窗减压固定、L4 ~ 5 全椎板切除减压固定。通过摄像系统非接触式测量融合相邻节段运动范围 (range of motion, ROM), 并进行对照研究。结果 在位移加载模式下, 全椎板切除组屈曲 ROM 较椎间大开窗组显著增加, 而在后伸、侧弯及旋转方面两组无显著性的差别。结论 位移和载荷加载模式对腰椎融合术后相邻节段的生物力学影响存在差异性。与保留 PLC 结构的椎间大开窗减压方式相比, 破坏 PLC 结构的全椎板切除减压方式可以导致相邻节段屈曲 ROM 显著增加, 并提高相邻节段在后伸、侧弯及旋转等运动状态下 ROM, 其远期出现融合相邻节段失稳的可能性大。

关键词:腰椎融合; 后部韧带复合体; 相邻节段退变; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2018.02.007

Effects of Preserving Posterior Ligament Complex on Biomechanical Properties of the Adjacent Segments after Lumbar Decompression and Fusion

LI Chao, YANG Feng, XU Cheng, RUAN Dike

(Orthopedic Department, Navy General Hospital, Beijing 100048, China)

Abstract: Objective To compare the effects of preserving the posterior ligament complex (PLC) with torque loading and displacement loading on the biomechanical properties of the adjacent segments after lumbar decompression and fusion. **Methods** Six fresh male cadaver lumbar specimens of T12-S2 were tested in the sequence of intact, L4-5 laminotomy (preserving the PLC) with fixation and L4-5 laminectomy (destructing the PLC) with fixation, by applying both displacement loading and torque loading, respectively. Ranges-of-motions (ROMs) of the adjacent segments were measured under a noncontact photographic recording system. **Results** In displacement-loading mode, the flexion ROM in laminectomy group was significantly higher than that in laminotomy group, and no obvious ROM differences were found in the laminectomy and laminotomy groups under extension, lateral bending, and rotation movement. **Conclusions** Torque loading and displacement loading have different biomechanical effects on the adjacent segments after lumbar decompression and fusion. Compared with the lamin-

收稿日期:2017-06-18; 修回日期:2017-08-10

基金项目:北京市科技计划课题首都市民健康培育项目(Z151100003915146)

通信作者:阮狄克, 博士研究生导师, E-mail: ruandikeng@163.com

otomy method, in which the PLC is preserved, the laminectomy method in which PLC structures are damaged can obviously lead to an increment of flexion ROMs at the adjacent segments, and also increase the ROMs of the adjacent segments under extension, lateral bending, and rotation movements, which might increase the risk of further instability of the fused adjacent segments.

Key words : lumbar fusion ; posterior ligament complex (PLC) ; adjacent segment degeneration (ASD) ; biomechanics

腰椎融合术已经成为治疗腰椎退行性疾患的常见方式,腰椎融合术后相邻节段退变(adjacent segment degeneration, ASD)问题已经成为融合术后的主要并发症之一^[1-4]。现有多数关于腰椎融合临近节段的生物力学实验均显示,融合术后相邻节段会出现运动范围(range of motion, ROM)的增加,但一般的生物力学实验设计均为单一的位移或者载荷加载方式。减压方式不同对 ASD 的形成也有影响,是否保留后部韧带复合体(posterior ligament complex, PLC)结构的完整值得商榷^[5]。本文通过测量人体腰椎标本在位移及载荷两种加载模式下不同减压方式(保留 PLC 和不保留 PLC)时相邻节段 ROM,对比分析两种减压方式对邻近节段的影响,为明确腰椎融合术后 ASD 的生物力学机制及临床减压过程中保留 PLC 结构提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 标本

6 具急性脑死亡新鲜青年男性胸 12(T12)~骶 2(S2)尸体标本,实验前经 X 线检查排除畸形、退行性变及骨折、肿瘤、结核和炎症等结构性破坏,同时利用骨密度仪(QDR 4 500 W 型, Hologic 公司, 美国)行骨密度测量,表明无明显骨质疏松。双层塑料袋密封包裹标本妥当后置 -70 °C 深低温冰箱冷冻保存,标本低温冷冻保存时间小于 6 个月。实验前 48 h 取出置 4 °C 冰箱中解冻 24 h,然后在室温下继续解冻 24 h。解冻后剔除净椎旁肌肉及其筋膜组织,处理过程中注意保留所有的韧带、椎间盘及关节囊完整。中立位生理曲度下使用自凝牙托树脂分别包埋标本上下端椎体,上端包埋至 L1 椎体中部,下端包埋至 S1 椎体中部,保留 L1~S1 椎间盘可自由活动。整个测试过程中用生理盐水间断喷洒标本,以使标本保持湿润和良好的黏弹性。测试环境温度为 25 °C,湿度为 60%~80%。

1.2 实验仪器及设备

点液伺服闭环系统力学试验机(MTS 858 Mini Bionix II 型, 美国),设计夹具与加载臂连接,可在精确控制位移及载荷条件下实现对脊柱标本的单平面加载。通过旋转加载臂方向进而可获得脊柱标本在屈伸、侧弯及旋转等三维运动的加载。腰椎经椎弓根内固定系统:北京富乐医疗器械公司生产的标准成人椎弓根万向轴螺钉。

椎体活动标志点:采用直径 1.5 mm、长度 15 cm 克氏针,取黑色直径 8 mm 玻璃珠,玻璃珠内有直径 2 mm 孔道,距离克氏针末端 2 cm 及 7 cm 顺序穿入两枚玻璃珠并以 502 胶水固定。于 L2~5 椎体前正中表面中心垂直刺入椎体内,把持牢固。整个实验过程中确保各标志克氏针位置固定,无遮挡、无移位及弯曲。

1.3 实验标本分组

实验标本共 6 具。如图 1 所示,按照测试的先后顺序分为:①完整状态;②L4~5 椎板间大开窗减压固定状态(椎间大开窗)。刀片切断 L4~5 棘

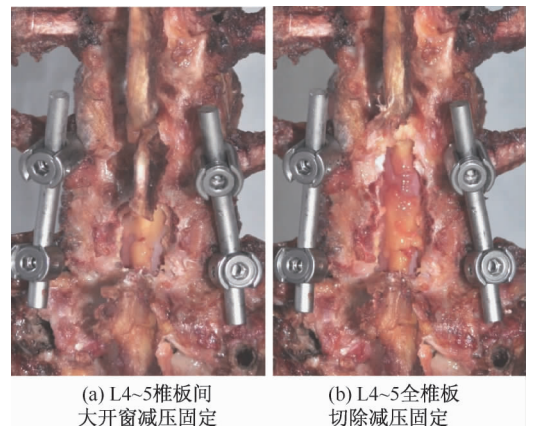


图 1 腰椎不同椎板减压方式

Fig. 1 Different decompression methods in lumbar (a) L4-5 laminotomy decompression and fixation, (b) L4-5 laminectomy decompression and fixation

上韧带及棘间韧带至椎板表面。以棘突咬钳咬除 L4 棘突下 1/3 及 L5 棘突上 1/2, 进一步以椎板钳咬除 L4 椎板下 1/3、黄韧带及 L5 椎板上 1/2, 切除双侧 L4 下关节突内侧 1/3; ③ L4~5 全椎板切除减压固定状态(全椎板切除)。彻底去除 L4 棘突, 以椎板钳咬除 L4 残留椎板。

1.4 椎间运动数据采集

采用非接触式三维动态实时检测系统采集运动学信号。构架数据信号采集平台, 利用两台 JVC GC-P100BAC 高速摄像机(JVC 公司, 日本)对标本加载过程进行连续拍摄, 采集速度 250 帧/s。使用 Quintic Biomechanics 软件(Quintic 技术咨询公司, 英国)对影像学资料进行分析, 在 Matlab 2011a (MathWorks 公司, 美国)中利用自编写程序将运动目标的二维信号转变为三维信息, 进而得到各标志杆的单平面 ROM, 相邻标志杆 ROM 之差即为该节段的椎间 ROM。

1.5 运动加载

1.5.1 位移加载 每个标本(L2~S1)在不同的处理状态下进行屈伸、侧弯及旋转运动时均达到相同的整体 ROM。每个标本均进行预加载测量, 进而评估达到有效 ROM 时加载臂的下行范围。如标本加载臂下行 15 cm 时摄像测量显示 L2~S1 的 ROM 达到了 20°, 则随后该标本的实验过程中位移加载均控制在加载臂下行超过 15 cm 后停止。数据采集分析时取整体 ROM 达到 20° 时对应各节段 ROM, 即为达到最大位移时该椎间 ROM。旋转加载时, 通过 MTS 试验机直接读取标本整体旋转角度^[5]。

1.5.2 载荷加载 每个标本在不同状态下进行

某个方向运动时均被加载相同力矩, 而不论该标本的整体 ROM 是否前后达到一致。前屈的最大加载力矩为 4 N·m, 后伸、侧弯及旋转的最大加载力矩为 3 N·m。加载达到最大加载力时即停止加载, 此时标本达到该加载条件下的最大位移。数据分析时, 取该标本达到最大位移所对应的各个节段角度位移, 即为该椎间 ROM。旋转加载时, 通过 MTS 试验机直接读取标本的整体加载力矩。整个实验过程中标本及标志杆始终保持面向前方。通过调整加载连杆方向, 分别诱发向前屈曲、后伸及侧弯运动。锁紧加载连杆装置, 通过旋转夹具进行旋转运动的加载。

1.6 统计学分析

采用 SPSS 13.0 统计软件进行分析, 计量资料以均数 ± 标准差表示, 所得两组结果进行对比, 采用 *t* 检验处理。显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果

L3~4 节段 ROM 在 L4~5 行椎板间大开窗减压或者 L4 全椎板切除减压后均较完整状态组有所增加, 尤其当屈曲运动时, 在位移加载模式下, 两种减压方式后相邻椎体间的屈曲 ROM 较完整状态有显著增加; 同时, 全椎板切除组 ROM 较椎间大开窗组有显著增加。而后伸、侧弯及旋转时, 全椎板切除组 ROM 亦较椎间大开窗组有所增加, 但没有观察到两组间存在显著性的差异。在载荷加载模式下, 全椎板切除组屈曲、后伸及旋转 ROM 较椎间大开窗组均有所增加, 但均没有显著性差异(见表 1)。

表 1 不同加载模式下减压方式对 L3~4 椎间隙 ROM 影响

Tab.1 Effects of decompression method on the ROM of L3-4 under different loading methods

(°)

分组	位移加载				载荷加载			
	伸展	屈曲	侧弯	旋转	伸展	屈曲	侧弯	旋转
完整组	1.68 ± 0.85	3.36 ± 1.20	2.40 ± 1.57	2.50 ± 1.29	1.52 ± 1.02	4.82 ± 1.15	2.60 ± 1.38	2.64 ± 1.69
椎间大开窗组	1.88 ± 1.41	4.86 ± 1.46 *	3.00 ± 2.09	2.70 ± 1.99	1.60 ± 1.44	5.06 ± 1.23	2.82 ± 1.94	2.78 ± 0.69
全椎板切除组	2.22 ± 1.0	5.26 ± 1.25 **	3.10 ± 1.48	3.26 ± 0.45	1.70 ± 1.44	5.42 ± 1.05	3.06 ± 1.26	2.11 ± 1.70

注: * $P < 0.05$ 完整组 vs 椎间大开窗组; ** $P < 0.05$ 完整组 vs 全椎板切除组

3 讨论与结论

腰椎融合术已超过百年, 目前已经成为治疗腰椎疾患的标准手术方法之一。随着脊柱外科技术

及内固定材料的迅猛发展, 许多以前无法进行治疗的退变、骨折、脱位能够达到稳定及复位, 为脊髓及神经损伤的进一步康复创造了良好的稳定条件。伴随着腰椎融合术的逐步开展, 融合术后相邻节段

可能进一步出现退变已经成为融合术后的主要并发症之一,同时也是主要的争论问题之一^[5-7]。目前主流的理论认为,腰椎融合术改变了相邻节段的生物力学环境,融合术后相邻节段会出现包括 ROM 增加、椎间盘内压力增大及小关节负荷增高等现象,进而诱发相邻节段的退变^[8-11]。但是也有研究表明,融合术后相邻节段并没有出现显著的 ROM 增加^[12],ASD 的成因被认为是相邻节段自然老化的过程,与融合术本身无明显关系。

本文研究结果表明,在位移加载模式下,椎间大开窗和全椎板切除两种减压方式后相邻椎体间屈曲 ROM 较完整状态下有显著性增加。这相当于进行了融合手术的患者术后力图恢复术前腰椎的整体 ROM,在这种状态下融合相邻节段需要分担更多的运动幅度以达到整体 ROM。而在进行载荷加载时,标本在每种状态下均被加载相同的力矩,由于部分节段的固定,标本整体刚度增加,导致整体 ROM 减小;而融合相邻节段在加载力不变情况下,其 ROM 与融合前保持一致。

临床上患者融合术后活动中是采用位移还是载荷加载模式目前尚不明确,具有很大的个体差异性。Luk 等^[12]分析了腰椎融合术后患者的腰椎运动学特点,结果发现,腰椎融合术后其整体运动幅度较正常对照组显著减少,各个未融合节段 ROM 占整体腰椎 ROM 的比重增加,提示腰椎融合后人体是以更接近载荷加载而非位移加载的方式运行,载荷加载的模式更接近于临床实际情况。

减压方式的不同对 ASD 的形成也有影响,其中是否需要保留 PLC 结构的完整值得商榷。PLC 结构包括上下相对应的棘突及连接其间的棘上韧带、棘间韧带及黄韧带,其在脊柱运动单元中起着后部张力带的作用,可以限制椎体的前屈运动^[13]。目前存在多种椎体减压方式,其中椎板间开窗减压的方式可以完整保留 PLC 结构,但存在着操作难度大、减压范围有限的问题,尤其不能达到中央管的有效减压。椎板部分切除术即椎板间大开窗的减压方式,可切除减压椎间隙上位椎体的部分棘突及椎板结构,达到彻底减压,虽然后部整体的韧带复合体结构中断,但是减压椎间隙上位椎体的部分棘突得到保留,其与头端椎体间的联系,包括棘上韧带、棘间韧带及椎板间的黄韧带结构均得到保留,即融合

头端椎间隙的 PLC 结构是完整无损的[见图 2(a)]。相比之下,全椎板切除的减压范围更大,但是其需要彻底切除减压椎间隙上位椎体的椎板结构,包括双侧的下关节突、整个的椎板及棘突等结构,如此融合头端椎体与融合节段上位椎体间的后部韧带联系完全中断[见图 2(b)]。

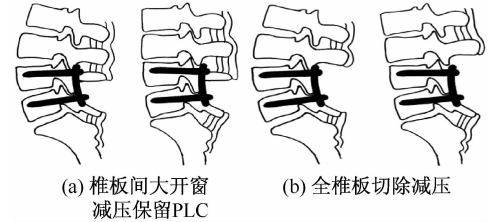


图2 不同减压方式对融合相邻椎间盘屈伸活动影响

Fig. 2 Effects of different lumbar decompression methods on flexion and extension of fused adjacent segments (a) Laminotomy by preserving PLC, (b) Laminectomy by destructing PLC

Chen 等^[14]利用猪标本进行了一项生物力学实验,比较减压过程中全椎板切除和部分椎板切除保留部分棘突及 PLC 完整两种减压模式下相邻节段 ROM,结果显示,屈伸运动时相邻节段 ROM 存在显著性的差别,保留 PLC 结构完整时 ROM 显著小于不保留 PLC 的全椎板切除模式。

本研究发现,同样在位移加载模式下,在屈曲运动时,全椎板切除组 ROM 较保留 PLC 的椎间大开窗组有显著增加,提示全椎板切除减压的方式在位移加载模式下更容易出现椎间 ROM 增加。在后伸、侧弯及旋转运动中,全椎板切除组 ROM 较椎间大开窗组也有比较明显的增加,但并没有统计学差异。

Lee 等^[15]临床研究发现,保留 PLC 与否对 ASD 形成具有显著性的影响,保留 PLC 完整时其 ASD 的发生率为 6.5%,而不保留 PLC 完整时 ASD 的发生率达到 24.3%。综合生物力学实验及临床研究,融合术中保留 PLC 结构能显著减少 ASD 的发生。本研究表明,在载荷加载模式下,相邻节段在三维运动时 ROM 很少出现显著的改变。但保留 PLC 结构对于保持融合后相邻节段稳定性具有重要的意义。与保留 PLC 结构的腰椎椎板间大开窗减压方式相比,全椎板切除的减压方式会导致相邻节段屈曲 ROM 显著增加,并提高相邻节段其他运动模式的 ROM。全椎板切除减压的方式破坏了融合近端脊

柱运动单位的完整性,应该尽量避免。

腰椎融合术后多数患者的整体 ROM 较对照组减小,即载荷加载的力学模式可能更多发生在术后的患者身上,即术后患者运动脊柱时,很少会采用类似于位移加载的模式,而较多采用更接近于载荷加载的模式。本研究结果表明,在载荷加载模式下,相邻节段很少出现显著的 ROM 改变。但保留 PLC 结构对于保持融合后相邻节段的稳定性具有重要的意义。虽然并未发现在载荷加载模式下 ROM 会发生显著变化,但是疲劳加载可能会诱发出 ROM 显著性的差别。毕竟破坏 PLC 意味着融合头端脊柱运动单位的完整性受到破坏,其运动特性必然受到显著的影响。因此,在临床实践中做到尽量避免损害上位椎体的小关节结构,注意减压方式,尽量保留 PLC 的完整以及尽可能恢复腰椎局部的生理曲度,都对防止或减缓 ASD 的发生是有益的。

参考文献:

- [1] KUMAR MN, JACQUOT F, HALL H. Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc diseases [J]. *Eur Spine J*, 2001, 10(4): 309-313.
- [2] HARROP KY, SCHENDEL MJ, LEWIS JL, et al. Effect of immobilization and configuration on Lumbar adjacent-segment biomechanics [J]. *J Spinal Disord*, 1993, 6(2): 99-105.
- [3] ETEBAR S, CAHILL DW. Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability [J]. *J Neurosurg*, 1999, 90(2): 163-169.
- [4] KRIS RADCLIFF, PATRICK CURRY, ALAN HILIBRAND, et al. Risk for adjacent segment and same segment reoperation after surgery for lumbar stenosis: A subgroup analysis of the spine patient outcomes research trial (SPORT) [J]. *Spine*, 2013, 38(7): 531-539.
- [5] LAI PL, CHEN LH, NIU CC, et al. Relation between laminectomy and development of adjacent segment instability after lumbar fusion with pedicle fixation [J]. *Spine*, 2004, 29(22): 2527-2532.
- [6] INGALHALIKAR AV, REDDY CG, LIM TH, et al. Effect of lumbar total disc arthroplasty on the segmental motion and intradiscal pressure at the adjacent level: An *in vitro* biomechanical study [J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 11(6): 715-723.
- [7] STEFFEE AD, BISCUP RS, SITKOWSKI DJ. Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1986, 2(203): 45-53.
- [8] SCHMOELZ W, HUBER JF, NYDEGGER T, et al. Dynamic stabilization of the lumbar spine and its effects on adjacent segments. An *in vitro* experiment [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2003, 16(4): 418-423.
- [9] RAO RD, DAVID KS, WANG M. Biomechanical changes at adjacent segments following anterior lumbar interbody fusion using tapered cages [J]. *Spine*, 2005, 30(24): 2772-2776.
- [10] DENOZIE'RE G, KU DN. Biomechanical comparison between fusion of two vertebrae and implantation of an artificial intervertebral disc [J]. *J Biomech*, 2006, 39(4): 766-775.
- [11] 李忠海, 赵杰, 陈志明, 等. 腰椎矢状面固定角度对相邻节段应力强度影响的实验研究 [J]. *医用生物力学*, 2008, 23(5): 361-365
- [12] LI ZH, ZHAO J, CHEN ZM, et al. Effect of sagittal fixation angle in lumbar fusion on stresses of adjacent segments [J]. *J Med Biomech*, 2008, 23(5): 361-365
- [13] LUK KD, CHOW DH, EVANS JH, et al. Lumbar spinal mobility after short anterior interbody fusion [J]. *Spine*, 1995, 20(7): 813-818.
- [14] 李耀, 沈中海, 王向阳. 后方韧带复合体逐级切除对损伤胸腰椎稳定性的影响 [J]. *医用生物力学*, 2016, 30(4): 553-557.
- [15] LI Y, SHEN ZH, WANG XY. Effects from sequential removal of posterior ligamentous complex on stability of injured thoracolumbar spine [J]. *J Med Biomech*, 2016, 30(4): 553-557.
- [16] CHEN WJ, LAI PL, TAI CL, et al. The effect of sagittal alignment on adjacent joint mobility after lumbar instrumentation. A biomechanical study of lumbar vertebrae in a porcine model [J]. *Clin Biomech*, 2004, 19(8): 7630-7638.
- [17] LEE CH, HWANG CJ, LEE SW, et al. Risk factors for adjacent segment disease after lumbar fusion [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(11): 1637-1643.