文章编号:1000-5404(2012)20-2101-04

论著

后部不同结构切除对胸椎稳定性的影响

何 斌,胡侦明,郝 杰,王大武,钟小明 (400016 重庆,重庆医科大学附属第一医院骨科)

[摘要] **目的** 研究后部不同结构对胸椎脊柱稳定性中的作用。**方法** 选用9具带有8 cm肋骨的湿润成人尸体胸椎标本(T_7~T_{10}),依次对同一标本T_8~T_9节段进行单侧小关节突关节及半椎板切除、单侧肋椎关节切除、后部韧带复合切除体及全椎板切除、双侧关节突关节切除、双侧肋椎关节切除共5种切除模型,对标本进行生物力学实验测试并记录各模型在5 N·m载荷下于前屈/后伸、左右侧弯、轴向旋转6个方向的运动范围(ROM),将各模型ROM值分别与完整标本ROM值进行配对t检验比较。**结果** 与完整胸椎标本比较,单侧小关节突关节及半椎板切除后在前屈/后伸、左右侧弯、轴向旋转方向上的ROM值无显著性差异($P>0.05$),但双侧小关节突关节切除后,前屈/后伸、左右侧弯、轴向旋转方向上的ROM值有显著性差异($P<0.05$,$P<0.01$),后部韧带复合体切除后在前屈/后伸及轴向旋转方向上的ROM值有显著性差异($P<0.05$,$P<0.01$),切除双侧肋椎关节后胸椎在6个方向上的ROM值均有显著性差异($P<0.01$)。**结论** 在胸椎,小关节突关节在前屈/后伸和轴向旋转功能稳定性上起到了重要作用,但单侧小关节突关节及半椎板切除后对稳定性的影响并不显著,后部韧带复合体在前屈/后伸时的稳定性中起到了控制作用,肋椎关节是胸椎脊柱功能单位机械性能中最为重要的后部稳定因素之一。

[关键词] 胸椎;后部不同结构;稳定性;生物力学
[中图法分类号] R322.71;R323.2 [文献标志码] A

Biomechanical roles of posterior different structures in stability of thoracic spine *in vitro*

He Bin, Hu Zhenming, Hao Jie, Wang Dawu, Zhong Xiaoming (Department of Orthopedics, First Affiliated Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing, 400016, China)

[**Abstract**] **Objective** To investigate the role of the posterior different structures in the stability of the thoracic spine. **Methods** The thoracic spine specimen of T_7 to T_{10}, consisting of the sixth to ninth ribs, were collected from 9 fresh cadavers. After the intact specimen was tested, the specimen of T_8 to T_9 received the following procedures in turn, total unilateral facetectomy with unilateral laminectomy, resection of unilateral costoverebral joint, resection of the posterior ligamentous complex with laminectomy, bilateral total facetectomy, and resection of the bilateral costoverebral joints. Biomechanic tests were carried out in all groups of specimens, Multidirectional flexibility of each specimen was measured in flexion-extension, right/left lateral bending, and axial rotation under a loading of 5 N·m for their range of motion (ROM). Paired student's t-test was used to analyze the ROM of the specimens in intact and after different resection. **Results** There was no significant difference in ROM of above motions in the intact cadaveric thoracic spines and those after total unilateral facentectomy with unilateral laminectomy ($P>0.05$), however, ROM was significantly increased in the specimens after bilateral total facetectomy ($P<0.05$). And obvious difference was observed in ROM of flexion-extension and axial rotation in the specimens after resection of the posterior ligamentous complex with laminectomy ($P<0.01$). A significant increase in ROM of all above motions was observed in the specimens after bilateral resection of the costovertebral joints ($P<0.01$). **Conclusion** In cadaveric thoracic spines, the facet joints play important role in the stability of flexion-extension and axial rotation, but total unilateral facentectomy with unilateral laminectomy did not significantly increase the ROM. The state of the posterior ligamentous complex exerts a control effect on the stability of the thoracic spine in flexion-extension. The costovertebral joints are one of the most important stabilizing structures to the thoracic spine in the sagittal, coronal, and transverse planes.

[**Key words**] thoracic spine; posterior different structure; stability; biomechanics

Corresponding author: Hu Zhenming, E-mail: zhenminghu6234@yahoo.cn

[通信作者] 胡侦明,E-mail:zhenminghu6234@yahoo.cn

随着影像学及手术技术的改进,使得脊柱外科医生能够通过相对比较熟悉的后部入路对脊柱畸形、肿瘤、胸椎间盘突出症等胸椎疾患进行治疗[1-2]。胸椎后路手术往往会对后部不同结构进行切除以达到不同手术目标的实现,对于胸椎后部不同部位的切除将导致什么样的稳定性破坏以及这些部位在胸椎稳定因素中起到的生物力学作用,需要进行论证而充分指导临床治疗。本研究通过在尸体标本上模拟胸椎后路手术步骤,观察在后部不同结构切除后对胸椎稳定性的影响,为临床胸椎后路手术术式的应用提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及主要设备

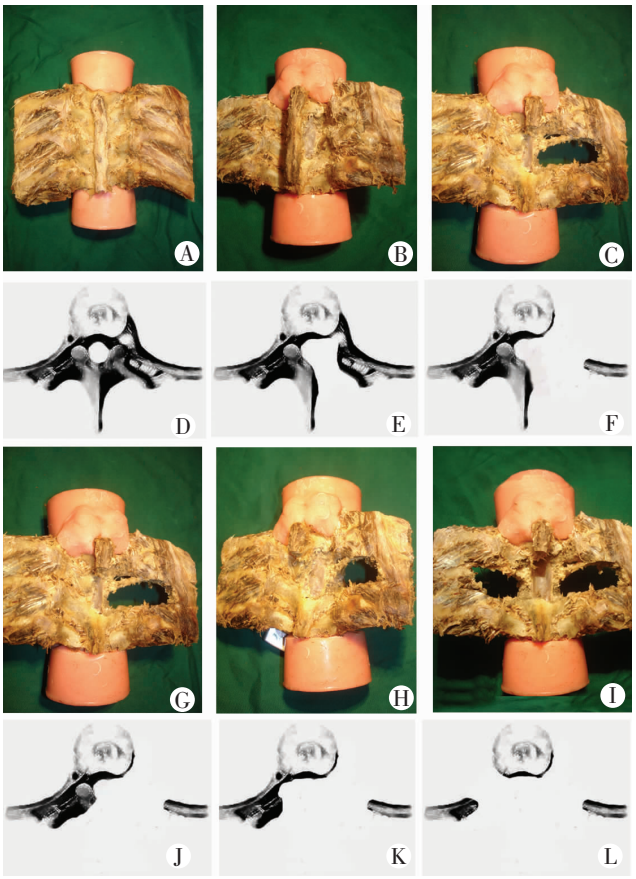
本实验在重庆大学生物力学与流变技术教育部重点实验室完成。实验采用湿润成人尸体胸椎标本12具,男性8具,女性4具(由遵义医学院解剖教研室提供)。经采用X线片检测标本除外先天性畸形、脱位、骨折及严重退变等影响脊柱生物力学研究等因素后共9具。生物力学测试仪器为美国力学分析设备生产商MTS系统公司生产的MTS 858型拉扭复合生物力学试验机;数据测量及记录系统采用由重庆大学所研制的基于LabVIEW平台的脊柱三维运动图像测量系统,该系统由USB摄像机、计算机及相关软件构成。

1.2 标本制备

将标本(T_7~T_{10})在进行生物力学测试前,将标本放置于室温下并去除残余肌肉,小心保留关节囊及韧带组织,保留双侧长度为8 cm带有完整肋间肌的肋骨,将标本上下两端分别用聚甲基丙烯酸甲酯进行包埋,并使上下两端位于同一平行平面,用双层塑料袋密封、-20 ℃低温保存,实验前移至室温下逐级解冻。在实验时对同一标本的T_8~T_9节段依次进行以下5步处理(图1):①单侧小关节突及半椎板切除(G1);②单侧肋椎关节切除(G2);③后部韧带复合体及全椎板切除(G3);④双侧小关节突关节切除(G4);⑤双侧肋椎关节切除(G5)。对完整标本和上述5种依次处理模型进行生物力学测试。单侧处理均选择右侧。

1.3 生物力学测试及数据记录

使用带有四点加压固定的特制金属夹具将标本固定于带有坐标轴的MTS 858型拉扭复合生物力学试验机上,通过试验机对标本实现6个方向加载。参照Panjabi[3]实验方法,采用非损伤性生理载荷加载模式进行加载。对于测试节段的加载幅度、速度以及加载频率等各项数据通过MTS858试验机附带的计算机控制系统进行调定。整体实验始终以准静态的方式匀速加载,加载速度为1.5 mm/min,每个方向重复3次加载/卸载循环,以避免标本本身的黏弹性作用对试验结果的影响[3-4]。通过预置在T_8、T_9椎体前方和侧方4枚标识针对运动范围进行标识,针体敷有黑漆与白色背景相区别,以便与在进行信号提取时能够有明显对比。分别使用3台摄像机在冠状面、矢状面和轴向面拍摄固定在椎体上的标识针,记录在5 N·m载荷下标识针的运动。在第3次加载循环当载荷达到预定值时停留20 s,记录该载荷下的运动角度(range of motion,ROM)数值,得到所需要的运动学测量数据。实验过程中用生理盐水湿润标本,保证标本在整个实验期间的湿润,以防止标本在实验期间的自然退变而影响实验结果。



A、D:完整标本;B、E:单侧小关节突关节及半椎板切除;C、F:单侧肋椎关节切除;G、J:后部韧带复合体及全椎板切除;H、K:双侧小关节突关节切除;I、L:双侧肋椎关节切除;A~C、G~I:实物标本;D~F、J~L:示意图

图1 后部不同结构依次切除的标本和示意图

1.4 数据和统计学处理

通过LabVIEW平台,使用Matlab编写的程序提取只含有数字信号标记的感兴趣区域(region of interest,ROI),并把ROI载入到NI Vision Assistant软件中,经过提取单一颜色平面、平滑滤波、二值化、形态学运算等前期处理。同样在LabVIEW平台,提供了针对灰度图像的形态学处理函数,最后通过Particle Analysis控件得到所测节段的角度信息。把所测节段的5.0 N·m载荷对应的角度值汇总到Excel中,并用Matlab编写的数据处理程序读取该Excel,把所测节段的上位椎体和下位椎体对应的角度值相减并取其绝对值,得到所测节段标识针的角度差,最终得到所测节段在5.0 N·m的ROM值。计算各载荷方式下各标本T_8~T_9的角位移数值,计算得出各方向加载位移值的样本均数,数据以$\bar{x} \pm s$表示。采用配对t检验,应用SPSS 11.0统计软件对完整标本与不同后部结构切除后的标本均数进行统计学分析。为了便于直接定量比较,把各组的运动范围标准化,即各组的运动范围均与同一完整脊柱标本的运动范围作计算,得出相对运动范围(relative range of motion,RROM)。相对运动范围按以下公式来计算:

$$RROM = (ROM_{手术} - ROM_{完整})/ROM_{完整} \times 100\%$$

2 结果

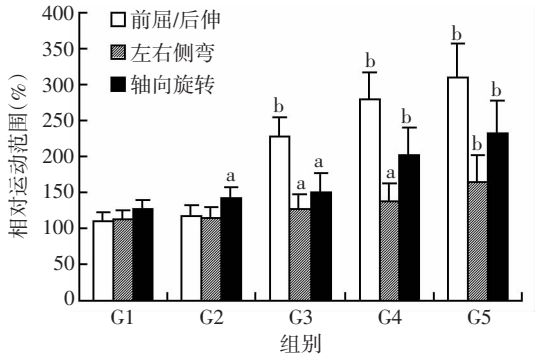
在 5.0 N·m 最大载荷下测得的完整及后部不同结构切除术后 $T_8 \sim T_9$ 节段 ROM 的均数及标准差数据见表 1。后部不同结构切除术后胸椎在 6 个自由度的 ROM 平均值按照公式作相对计算后,其相对运动范围平均值见图 2。

表 1 $T_8 \sim T_9$ 节段完整及后部不同结构切除术后的 ROM

(5 N·m,°,$n=9$, $\bar{x} \pm s$)

运动	完整标本	G1	G2	G3	G4	G5
前屈	3.8±1.4	4.3±0.9	4.6±1.5	8.5±1.1^b	9.7±1.3^b	11.0±1.2^b
后伸	4.1±0.7	4.5±1.2	4.7±0.5	9.4±0.4^b	12.5±0.5^b	13.7±1.3^b
左弯	4.7±0.5	5.3±0.5	5.4±0.6	6.0±0.4^a	6.2±0.8^a	7.2±1.0^b
右弯	5.1±0.6	5.8±0.8	5.9±1.0	6.6±0.7	7.2±0.8^a	9.0±1.2^b
右旋	3.2±0.7	4.1±1.0	5.3±1.1^a	5.4±1.5^a	6.7±0.8^b	7.4±1.4^b
左旋	3.6±0.6	4.0±0.5	4.4±1.0^a	4.6±1.3^a	7.1±0.7^b	8.4±1.2^b

a:$P<0.05$,b:$P<0.01$,与完整标本比较



a:$P<0.05$,b:$P<0.01$,与完整标本比较

图 2 各组间 6 个自由度对比分析

2.1 后部结构依次切除对胸椎前屈/后伸稳定性的影响

在前屈/后伸时测试节段的 ROM 最大增加幅度发生在 G3 后,即对椎板、棘突、棘上韧带、棘间韧带、黄韧带等后方张力结构进行切除后,相对于完整标本显著增加了 127.54%($P<0.01$)。最小的增加幅度发生在进行 G1 后,即进行半椎板和单侧小关节突关节切除术后,相对于完整标本只增加了 12.12%($P>0.05$)。见图 2。

2.2 后部结构依次切除对胸椎左右侧弯稳定性的影响

从 G1 到 G4 之间增加的幅度并没有呈显著跳跃性增加,直到进行 G5 后,测试节段的 ROM 才呈显著性增加,相对于 G4 增加了近 30%($P<0.05$)。说明在进行单侧肋椎关节切除后,在侧弯时 ROM 的改变并不明显,但是切除双侧肋椎关节后对左右侧弯时的影响较为显著($P<0.01$)。见图 2。

2.3 后部结构依次切除对胸椎左右轴向旋转稳定性的影响

在轴向旋转时测试节段的 ROM 最大增加幅度发生在 G4 后,相对于完整标本增加了 103.32%($P<0.01$),最小的增幅发生在 G3 时,其 ROM 的相对增加并不明显。但值得注意的是,在 G1 后进行右侧轴向旋转测试的 ROM 相对于完整标本增加 28.12%($P<0.05$),而左侧轴向旋转增加 11.11%($P>0.05$),同样进行 G2、G5 之后 ROM 的增加幅度比 G1 更加显著($P<0.05$)。见图 2。

3 讨论

关于脊柱三柱理论是由 Denis[5] 所提出,然而这个理论并不能适用于胸椎,因为在胸椎,肋骨通过胸肋关节与胸骨连接,向后通过肋椎关节与胸椎连接并参与了胸椎脊柱稳定性构成,所以可以作为胸椎的第四柱[6]。通常认为,后部结构切除术在某种意义上意味着会导致脊柱稳定性在一定程度上的丧失,有时为了得到更好的显露或进行不同目的手术操作时,往往需要更大的显露范围,而显露范围越大导致的结果将是脊柱稳定性越有明显降低,但是对于带有第四柱的胸椎在进行不同的后部结构进行切除对胸椎稳定性的影响将会带来怎么样的影响?尽管有少量的针对胸椎稳定性的研究[7-12],但是这些研究并没有对后部不同结构依次切除进行研究。本研究模拟临床手术方式依次对后部不同结构进行切除,将为临床提供胸椎稳定性的生物力学资料。

在本实验中对单侧小关节突关节及单侧半椎板切除后,脊柱活动范围并没有显著增加。这一结果提示当行胸椎后路手术时对单侧小关节突关节及单侧半椎板进行切除后对胸椎稳定性的影响并不显著。Feiertag 等[7] 报道单侧全关节切除术并没有明显增加胸椎的活动范围,Oda 等[9] 认为小关节突关节在胸椎脊柱的稳定性中起到重要的作用,这与本研究结果相一致。在我们的研究中,行双侧小关节突关节切除后,胸椎在脊柱 6 个运动方向上的稳定性明显降低,尤其是在进行前屈/后伸和轴向旋转时测试节段的 ROM 较上一步切除术分别增加了 52.72%、54.45%,说明小关节突关节在胸椎前屈/后伸和轴向旋转功能稳定性上起到了重要的作用。当后部韧带复合体及全椎板切除后,在前屈/后伸时测试节段的 ROM 相对于完整标本显著增加了 127.54%,这提示后部韧带复合体受到破坏后胸椎运动节段前屈/后伸的稳定性将显著下降。然而当胸椎进行侧弯和轴向旋转活动时其增加的 ROM 并不如进行小关节突关节和肋椎关节切除后显著。而且在本研究发现当对后部韧带复合体进行破坏后,胸椎的前屈与后伸的区别并不明显,分析为后部韧带复合体作为后方的张力结构防止胸椎过度前屈,而后部呈叠瓦状的椎板能够防止胸椎过度后伸。所以可以认为后部韧带复合体和椎板在对胸椎进行前屈/后伸时的稳定性起到了控制作用。从本研究结果分析当对胸椎后部韧带复合体切除后应该进行后路固定和融合以防止在广泛椎板切除减压而导致的椎板切除的后凸畸形。Oda 等[13] 认为后部韧带复合体的切除使 ROM 在前后屈增加了 38%。如果后部结构被切除,

后部的重建将必须进行以防止术后的畸形和不稳定。

在本实验中通过对肋椎关节的解剖学研究认为：肋椎关节连同其关节周围的韧带在胸椎构成了1个三角形。三角形的底边为肋骨头关节与上下相邻的椎体侧方的上下肋凹及其韧带，顶点为肋横突关节及其周围韧带。肋椎关节通过这个三角形的结构参与了胸椎稳定性的构成。在本实验中肋椎关节在胸椎的各个加载方向上均起到了极其重要的作用，从对单侧肋椎关节切除后脊柱在6个活动方向上的ROM就获得增加，当切除双侧肋椎关节后胸椎即显著失稳，尤其是在左右侧弯和轴向旋转活动时体现更加明显，可以认为肋椎关节是胸椎脊柱功能单位机械性能中最为重要的后部稳定因素。Kaneda等[8]报道了对部分椎间盘切除术后行肋骨头关节切除将会明显增加轴向旋转的矫正率，行肋骨头关节切除术后轴向旋转的矫正率从15%提高到了58%。Taneichi等[14]进行了胸椎转移性肿瘤的统计学分析，并且报道当肋椎关节受到转移性破坏后引起的椎体塌陷程度要大于转移到椎体的塌陷程度。因此，肋椎关节的情况决定了胸椎稳定性的程度。结合既往的研究结果，可以认为当对肋椎关节三角形的组成结构进行破坏后将会对胸椎的稳定性产生巨大的影响，并且出于肋椎关节的重要作用，我们推测青少年特发性脊柱侧弯是否与肋椎关节发育不良有相关性，这将在另外的实验中进行研究。

尽管使用新鲜、健康和年轻尸体标本进行生物力学实验最为理想，但是尸源获取困难，而本实验涉及对胸椎小关节突关节及肋椎关节生物力学机械性能的研究，故若采用四足动物标本，在关节构成和形态上与人体差别明显[15]，且本实验并未涉及相关压力、形变等对实验标本特性要求较高的方面，所以采用了防腐尸体标本。本实验中没有进行轴向负荷的加载，所测得数据是在5.0 N·m最大载荷下测得，没有完全体现生理动态载荷下的运动范围。此外，实验没有将完整胸廓置入本生物力学实验中，但是采用带有双侧8 cm的肋骨和肋间肌，在一定程度上体现了胸廓和肋间肌的作用。同时因为需要对标本进行共5步的手术操作，所以在执行不同外科手术时的一些潜在的变化也将影响临床相关性。

总之，结合本研究结果，小关节突关节在胸椎前屈/后伸和轴向旋转功能稳定性上起到了重要的作用，但当进行胸椎后路手术时对单侧小关节突关节及单侧半椎板进行切除后对胸椎稳定性的影响并不显著。后部韧带复合体和椎板在对胸椎进行前屈/后伸时的稳定性起到了控制作用。肋椎关节连同其关节周围的韧带在胸椎后部构成了1个三角形，肋椎关节通过这个三角形的结构参与了胸椎稳定性的构成，当对肋椎关节三角形的组成结构进行破坏后将会对胸椎的稳定性产生巨大的影响，可以认为肋椎关节是胸椎脊柱功能单位机械性能中最为重要的后部稳定因素。

志谢 感谢重庆大学生物力学与流变技术教育部重点实验室邓林红教授以及实验室人员在实验过程中给予的指导和帮助

参考文献：

[1] 丁文元，李华，申勇，等. 下胸段经关节突入路椎间盘切除术对脊柱稳定性影响的观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志，2007，17(10)：773－776.

[2] Pu X B, Zhou Q, He Q Y, *et al*. A posterior versus anterior surgical approach in combination with debridement, interbody autografting and instrumentation for thoracic and lumbar tuberculosis [J]. Int Orthop, 2012, 36(2): 307－313.

[3] Panjabi M M. Biomechanical evaluation of spinal fixation devices: I. A conceptual framework [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1988, 13(10): 1129－1134.

[4] Panjabi M M, Oxland T R, Lin R M, *et al*. Thoracolumbar burst fracture. A biomechanical investigation of its multidirectional flexibility [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1994, 19(5): 578－585.

[5] Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1983, 8(8): 817－831.

[6] Berg E E. The sternal-rib complex. A possible fourth column in thoracic spine fractures [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1993, 18(13): 1916－1919.

[7] Feiertag M A, Horton W C, Norman J T, *et al*. The effect of different surgical releases on thoracic spinal motion. A cadaveric study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1995, 20(14): 1604－1611.

[8] Kaneda K, Shono Y, Satoh S, *et al*. Anterior correction of the thoracic scoliosis with Kaneda anterior spinal system. A preliminary report [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1997, 22(12): 1358－1368.

[9] Oda I, Abumi K, Lu D, *et al*. Biomechanical role of the posterior elements, costovertebral joints, and rib cage in the stability of the thoracic spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1996, 21(12): 1423－1429.

[10] Panjabi M M, Brand R A Jr, White A A 3rd. Mechanical properties of the human thoracic spine as shown by three-dimensional load-displacement curves [J]. J Bone Joint Surg Am, 1976, 58(5): 642－652.

[11] Panjabi M M, Hausfeld J N, White A A 3rd. A biomechanical study of the ligamentous stability of the thoracic spine in man [J]. Acta Orthop Scand, 1981, 52(3): 315－326.

[12] Schultz A B, Benson D R, Hirsch C. Force-deformation properties of human costo-sternal and costo-vertebral articulations [J]. J Biomech, 1974, 7(3): 311－318.

[13] Oda I, Abumi K, Cunningham B W, *et al*. An in vitro human cadaveric study investigating the biomechanical properties of the thoracic spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2002, 27(3): E64－E70.

[14] Taneichi H, Kaneda K, Takeda N, *et al*. Risk factors and probability of vertebral body collapse in metastases of the thoracic and lumbar spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1997, 22(3): 239－245.

[15] Wilke H J, Krischak S, Claes L. Biomechanical comparison of calf and human spines [J]. J Orthop Res, 1996, 14(3), 500－503.

（**收稿**：2012-05-07；**修回**：2012-06-07）

（编辑 王 红）