

侧弯和旋转运动对腰椎小关节承载功能的影响

肖进¹袁林²袁卫东²樊继宏²邱洁¹袁钟世镇²渊解放军第157中心医院骨科袁广东 广州 510510渊第一军医大学全军医学生物力学实验室袁广东 广州 510515

摘要目的 研究腰椎小关节在侧弯和旋转运动中的受力情况袁分析小关节在腰椎承载功能中的作用遥方法 采用8具青壮年新鲜脊柱腰骶段L₁~S₁标本袁在MTS系统上用压敏片测量标本在保持400N轴向压缩负荷的情况下L₄₋₅小关节面在中立位和侧弯尧旋转位时的受力大小袁并进行对比分析遥结果 中立位时L₄₋₅小关节单侧受力为渊1.16依.15N袁侧弯15毅对两侧小关节受力大小相同袁同中立位受力比较无显著性差异尧轴向旋转时仅对侧关节面受力袁且为中立位时的7倍遥结论 腰椎小关节在侧弯和旋转运动中均具有重要的承载功能遥

关键词 腰椎小关节 体位 侧弯 旋转 生物力学

中图分类号 323.4 文献标识码 文章编号 000-2588渊003冤2-0148-03

The effect of bending and rotation on the lumbar facet joints under load-bearing conditions

XIAO Jin¹, YUAN Lin², ZHAO Wei-dong², FAN Ji-hong², QIU Jie¹, ZHONG Shi-zhen²

¹Department of Orthopaedics, 157 Central Hospital of PLA, Guangzhou 510510, China; ²Key Laboratory of Medical Biomechanics of PLA, First Military Medical University, Guangzhou 510515, China

Abstract: Objective To evaluate the effect of bending and rotation on the lumbar facet joints under load-bearing conditions. Methods Eight lumbar-sacral spines (L₁-S₁) taken from fresh young adult cadavers were placed on the MTS system. The forces of the two facet joints of the L₄₋₅ motion segments were measured using pressure sensitive films. The specimens were measured in erection, bending and rotation postures. Results In erection posture the L₄₋₅ facet joints could support 31.16依.15 N of 400N which was axial compressing load. In bending 15 degree posture the forces of each side of the L₄₋₅ facet joints were equal, and were found to have no marked effect on the force in erection. Yet on only opposite facet joints could endure force in rotation, but the force was 7 times that in erection. Conclusion Both sides of lumbar facet joints could support load in bending position but only the opposite could endure load in rotation.

Key words: lumbar vertebrae; facet joints; bending; rotation; biomechanics

腰椎小关节是腰椎运动节段的重要组成部分袁其功能主要为引导脊柱的运动袁并能对抗压缩尧剪切及轴向旋转等各种形式的负荷遥与身体的其他关节一样袁异常应力可导致小关节发生退行性变袁而小关节的退变是临床下腰痛的一个重要原因遥有学者估计 15%~40%的慢性下腰痛与小关节病变有关遥故研究小关节的承载功能对理解腰痛的发生和指导对病人腰痛的防治等具有重要意义遥以往曾有许多人做过小关节生物力学方面的研究袁但这些实验多采用单一运动节段而非整段腰椎袁且大多仅测试尧探讨小关节在矢状面上运动渊屈尧后伸冤时的受力情况遥对腰椎小关节在侧弯和旋转状态下负荷特点的研究较少遥本实验选用人尸腰骶椎L₁~S₁为材料袁测试了在侧弯及旋转状态中下腰段小关节L₄₋₅的受力情况袁并进行了生物力学分析遥

1 材料和方法

1.1 实验标本

8具腰骶段L₁~S₁脊柱标本袁取自生前无脊柱疾患的青壮年男性新鲜尸体袁平均年龄 23.7岁袁平均体质量 62.3kg遥选中的标本立即用双层塑料袋封装袁置于-20益深低温冷冻冰柜中保存遥实验前 12h取出袁室温下自然解冻遥删除标本的肌肉组织袁保留椎间盘尧小关节及韧带等全部连接结构遥标本两端分别用聚甲基丙烯酸甲酯包埋袁上下包埋盒分别与标本两端的终板平行袁以保持标本处于生理弯曲状态遥在处理标本的过程中随时用生理盐水浇洒标本袁使标本保持湿润遥

1.2 压力传导的测试方法

实验中关节面所承受的压力采用压敏片技术进行测量遥所用压敏片为日本富士公司生产的 Prescale 胶片遥这种胶片由涂有微囊成色材料的 A 片和涂有显色材料的 C 片组成遥实验前预先将 A 片和 C 片都剪成 18mm伊2mm 椭圆形 渊模仿小关节面形状冤尧小尧将 A 片与 C 片膜面相对袁用聚乙烯膜封装袁以免实验中压敏片被体液浸湿污染而影响实验结果遥将做

收稿日期 002-08-27

基金项目 广东省重点攻关课题 渊9B06703G冤

This study is a key research project sponsored by Guangdong Provincial Science 渊9B06703G冤

作者简介 肖进 渊973-冤男 湖南望城人 2001年毕业于第一军医大学袁士袁医师 电话 20-87248283 袁-mail: xiaojinhn@yahoo.com.cn

好的压敏片插入小关节间隙并施压,胶片上微囊破裂受压释放出成色材料与显色材料反应从而产生色彩,所产生的颜色浓淡随压力大小而不同。随后分析压敏片的着色情况,得出其表面所受力的大小。本实验中选择使用超低压型压敏片,压力范围 5~25kgf/cm²,0.49~2.45MPa。实验过程中实验室的温度保持在 20~25 益,湿度 40%~60%。

1.3 实验步骤

将包埋好的标本固定于液压伺服材料测试系统 MTS858 机上,标本上方连接加载装置,下方通过特制的夹具置于底座上。通过加载杆和夹具可使标本在各个平面上自由运动。用尖刀在 L₄₋₅ 节段两侧的小关节囊上做长 15mm 切口,将做好的压敏片插入小关节间隙。放置过程中注意防止发生挤压、褶皱和移位,脱出,以免影响实验结果的准确性。先使标本处于中立位,相当于腰椎正常生理弯曲。放松直立位状态,以 MTS 以 100N/s 的速度向标本顶端施加 400N 轴向压缩力,保持最大载荷 1min 后卸载,取出压敏片。此过程重复 3 次,取平均值作为该状态下关节面的压力值。每次测完后休息 5min,标本得到充分休息,复初始状态,以消除蠕变的影响。变换标本上方加载

杆和下方夹具的位置、方向及调节角度,可使腰椎产生各个方向上的运动,并能精确控制运动的角度。使标本依次处于左侧弯 15毅、右侧弯 15毅、左旋 10毅、右旋 10毅。标本静止后加载,方式同上。实验中所加 400N 轴向压缩载荷是模拟正常成人身体质量 60kg 放松直立时腰椎的生理负荷。实验过程中不断用生理盐水湿润标本,保证标本在整个实验过程中是湿润的,以减少实验对标本造成的组织变性,使结果更可靠。器具可比性。

1.4 数据处理

着色的压敏片取出后立即用扫描仪将图像输入计算机,利用本实验室自行编程的 PSFPTS 软件分辨压敏片颜色深浅,转化为压力值。将压敏片上的压力值即为在该状态下小关节面所受的压力。本组数据为多组完全随机化设计资料,采用 SPSS 10.0 统计软件包对所得数据行方差分析,组间比较用 Dunnett t 检验。

2 结果

在 400N 轴向压缩载荷下,腰椎标本 L₄₋₅ 节段两侧小关节面在侧弯和旋转状态下所受的压力大小见表 1。

表 1 生理负荷下 L₄₋₅ 小关节面在侧弯和旋转状态下受力情况 (n=8, N, \bar{x} (s))
Tab.1 Force of L₄₋₅ facet joints in bending and rotation state (n=8, N, Mean (SD))

	Left	Right	Average	Total
Leftbending15毅	37.29 (s)23	40.75 (s)92	39.87 (s)97	79.74 (s)94
Rightbending15毅	38.87 (s)41	34.73 (s)14	37.85 (s)56	75.70 (s)12
Erection	30.98 (s)46	31.44 (s)71	31.16 (s)15	62.32 (s)430
Leftrotation10毅	0	220.49 (s)3.44**		220.49 (s)3.44
Rightrotation10毅	215.58 (s)4.08**	0		215.58 (s)4.08

**P<0.01 vs erection

3 讨论

3.1 中立位时小关节受力情况

当人体腰椎处于不同的体位时,腰椎承受的负荷形式不同,小关节面承受的压力也不同。本实验中,标本中立位相当于人体放松直立的体位。在这个位置,对标本施加的轴向负荷可产生两种形式的力矩:一种是垂直于椎体上终板向下的力矩,另一种是在椎体中心产生的水平力。向前的剪切力,向下的力矩使椎体在矢状面上产生旋转,即前屈和后伸。水平力则使椎体平移。解剖学研究显示,腰椎小关节面与水平面基本垂直,与矢状面约呈 45毅。因此小关节对抗垂直向下力矩的作用很小,却是抗剪切的重要结构。本实验结果显示,腰椎中立位时下腰椎小关节承受 15% 的轴向压缩载荷。这一结果与其他体外实验研究的结果相似。从小关节的解剖也可以看出,一个完整的小关节由上位腰椎的下关节突和下位腰椎的上关节突加

关节囊组成。下关节突位于上关节突的内后侧,向前的剪切力使下关节突向前移动,这一趋势被上关节突所阻挡,而在小关节面产生压力。

3.2 侧弯时小关节受力情况

单纯侧弯时对侧小关节被拉伸,同侧被压缩。Shirazi-Adl^[10]应用 L₂₋₃ 运动节段三维有限元模型分析了单纯侧弯力矩条件下小关节面的接触区域和接触应力,发现对侧小关节面的前内侧下部和后外侧上部产生较大的接触应力,同侧小关节面的中下部则产生较小的应力。董凡^[11]也发现,一侧小关节切除可导致向对侧弯刚度明显减小,意味着小关节对抵抗对侧弯起更大作用。本实验中标本在侧弯力矩和轴向压缩载荷复合作用下,小关节面的接触应力与单纯侧弯时不同。侧弯力矩加上压缩载荷后,对侧小关节同时既被拉伸又被压缩,应力比单纯侧弯时减小,而两个力对同侧小关节都起到压缩作用,小关节面应力比单纯侧

弯时增大。此消彼减,两侧受力无显著性差异。显然,此时小关节受力大小与压缩载荷及侧弯的角度大小有关。本实验所加的压缩载荷为生理载荷(100N),此时小关节面受力与中立位时相似($P > 0.05$),说明在日常生活中,放松直立和侧弯15°时,两侧小关节所承受应力大小是相似的。

3.3 轴向旋转、扭转对小关节受力情况

小关节的形态学决定了其是对抗扭转的主要结构。下腰椎小关节面与矢状面呈45°角,关节间隙极窄,腰椎扭转一个很小的角度就会出现小关节的骨性阻挡,从而限制了节段的进一步运动。本实验结果显示,生理载荷下完整腰椎标本轴向旋转10°,侧弯腰椎的小关节面接触区域均位于对侧,且承受的压力很大,是中立位时的7倍。而同侧小关节面不受压。这与Sherazi-Adl^[10]的研究结果一致。

3.4 临床意义

小关节是脊柱重要的连接结构,也是临床上公认的腰痛的来源之一。本研究结果显示,小关节能承受一定的负荷,且随脊柱运动方式的改变,小关节面受力大小也在不断变化。因为小关节表面覆盖着关节软骨,和体内其他关节一样,在过高应力作用下也会出现关节面的磨损,破坏表现为炎症或退行性改变。因此,小关节面受力过大就意味着可能发生破坏而引起腰痛。本实验结果表明,在生理载荷下,侧弯15°时左右两侧小关节面受力大小相等,并不存在某一侧受力大过另一侧的情形。且此时与放松直立位时受力大小也是相同的。这与Kelsey^[11]的流行病学调查结果一致。在经常搬运重物,尤其是腰部侧弯情况下搬运的人群中,腰痛发生率较高,似乎相矛盾。这一矛盾可以解释为,由于本实验加于腰椎标本上的压缩负荷仅为生理体重负荷,而且只测试了侧弯15°这一个状态。在这种条件下小关节受力不大。如果改变侧弯角度或增大压缩载荷,则可能会出现小关节受力较大的情况。当然,这需要进一步的实验加以验证。受小关节方向的限制,腰段脊柱做旋转运动的余地很小。本实验结果显示,轴向旋转一个很小的角度,平均每个节段仅为2°。此时不但只有旋转方向对侧小关节面受力,而且这个力非常大,是直立时的7倍。这说明小关节是对抗扭转力矩的主要结构。小关节对抗扭转的作用对保护椎间盘具有重要意义。因为扭转载荷是导致椎间盘退变、突出的主要原因。完整的小关节可保护椎间盘免受过度扭转的破坏。小关节破坏后,腰椎运动节段抵抗扭转载荷的能力被严重削弱,运动范围明显增大,可导致或加速椎间盘的退变。因此,临床工作中应充分认识到小关节损伤对腰椎抗扭作用所造成的破坏,在腰椎手术中应尽量保持小关节的完整性。必须

破坏时则应选用有足够抗扭强度的内固定器械,同时行融合术。同时,正常人每天要做成千上万次旋转活动,为什么出现小关节的炎症或退变的却仅是少数人?还有人观察到小关节的病变总是继发于椎间盘的退行性变,这说明椎间盘对小关节起到了强大的保护作用,分担了腰椎的大部分负荷,从而使人不至于过早出现病理改变。

4 小结

本实验采用完整腰椎标本测试了生理负荷下侧弯和旋转运动时L₄₋₅节段小关节面受力的情况。结果表明,腰椎侧弯时两侧小关节均受力,而在旋转运动中仅对侧关节面受力。证明小关节在腰椎的侧弯和旋转运动中具有重要的承载功能。

参考文献

1. Haher TR, O'Brien, Dryer JW, et al. The role of the lumbar facet joints in spinal stability. Identification of alternative paths of loading. *Spine*, 1994, 19(23):2667-71.
2. Frymoyer JW, Selby DK. Segmental instability: Rationale for treatment. *Spine*, 1985, 10(3):280-6.
3. Rosenow DE. Does neural blockade and other neurosurgical modalities offer a durable pain relief for spinal disorders. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 2002, 16(1):155-64.
4. Sato H, Kikuchi S. The natural history of radiographic instability of the lumbar spine. *Spine*, 1993, 18(14):2075-9.
5. Schendel MJ, Wood KB, Buttermann GR, et al. Experimental measurement of ligament force, facet force, and segment motion in the human lumbar spine. *J Biomech*, 1993, 26(4-5):427-38.
6. Fujiwara A, Tamai K, An HS, et al. The relationship between disc degeneration, facet joint osteoarthritis, and stability of the degenerative lumbar spine. *Spinal Disord*, 2000, 13(5):444-50.
7. Oda I, Abumi K, Cunningham BW, et al. An in vitro human cadaveric study investigating the biomechanical properties of the thoracic spine. *Spine*, 2002, 27(3):E64-70.
8. Hedman TP, Fernie GR. Mechanical response of the lumbar spine to seated postural loads. *Spine*, 1997, 22(7):734-43.
9. Panjabi MM, Oxland T, Takata K, et al. Articular facets of the human spine. Quantitative three-dimensional anatomy. *Spine*, 1993, 18(10):1298-310.
10. Shirazi-Adl A. Finite-element evaluation of contact loads on facets of an L₂-L₃ lumbar segment in complex loads. *Spine*, 1991, 16(5):533-41.
11. 董凡, 戴冠戎, 侯筱魁. 小关节在腰椎结构刚度中的作用. *中华外科杂志*, 1993, 31(7):417-20.
12. Dong F, Dai KR, Hou XK. The contribution of facet joint to the stiffness of the lumbar spine. *Chin J Surg*, 1993, 31(7):417-20.
13. Kelsey JL, Gittens PB, White AA, et al. An epidemiologic study of lifting and twisting on the job and risk for acute prolapsed lumbar intervertebral disc. *Orthop Res*, 1984, 2(1):61-4.
14. Butler D, Trafimow J, Andersson G, et al. Discs degenerate before facets. *Spine*, 1990, 15(2):111-3.