

• 技术与方法 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2018.15.021

3 种不同内固定方式在上胸椎刚度的试验研究*

杨立井¹, 肖增明^{1△}, 梁栋柱², 贺聚良³, 刘云¹

(1. 广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科, 南宁 530022; 2. 南方医科大学广东省医学生物力学实验室, 广州 510515; 3. 广西医科大学附属肿瘤医院骨与软组织外科, 南宁 530021)

[摘要] **目的** 比较上胸椎前路椎弓根钉板系统(ATPSPS)、后路椎弓根钉棒系统(PTPSRS)和前路普通椎体钉板系统(AVBSPS)在上胸椎的刚度。**方法** 12例防腐尸体标本分成3组,各组标本随机分配使用以上3种不同的内固定器械固定。测试各标本在原始状态下的轴向压缩、前屈、后伸、左右侧屈等5个方向的刚度。将所有标本模拟手术行T2椎体次全切除(损伤状态)后,再测试各标本在损伤状态下各方向的刚度。根据分组结果,选择相应的内固定系统进行安装固定,再测试各个方向上的刚度。**结果** 在原始状态及损伤状态下,各组之间的各向刚度差异无统计学意义($P>0.05$)。各标本行固定后,各组之间在各个方向上的刚度差异均有统计学意义($P<0.05$)。ATPSPS组的前屈刚度大于其他两组,各组间比较差异有统计学意义($P<0.05$)。PTPSRS组的轴向压缩刚度和后伸刚度大于其他两组,各组间比较差异有统计学意义($P<0.05$)。AVBSPS组的侧屈刚度小于其他两组,差异有统计学意义($P<0.05$),而其他两组差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** ATPSPS在各方向上的刚度均高于AVBSPS,前屈刚度大于PTPSRS,而轴向压缩刚度和后伸刚度不及PTPSRS,左右侧屈刚度则与PTPSRS相当。

[关键词] 上胸椎;前路椎弓根螺钉;前路椎弓根钉板系统;刚度试验

[中图分类号] R687.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2018)15-2051-04

Experimental study on rigidity effect of 3 kinds of different internal fixation at upper thoracic spine*

YANG Lijing¹, XIAO Zengming^{1△}, LIANG Dongzhu², HE Juliang³, LIU Yun¹

(1. Department of Spine Orthopedics, First Affiliated Hospital, Guangxi Medical University, Nanning, Guangxi 530022, China; 2. Guangong Provincial Laboratory of Medical Biomechanics, Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong 510515, China; 3. Department of Bone and Soft Tissue Surgery, Affiliated Tumor Hospital of Guangxi Medical University, Nanning, Guangxi 530021, China)

[Abstract] **Objective** To compare the rigidity at upper thoracic spine among the anterior transpedicular screw-plate system (ATPSPS), posterior transpedicle screw-rod system (PTPSRS) and anterior vertebral body screw-plate system (AVBSPS). **Methods** Twelve embalmed cadaver specimens were divided into three groups. The specimens in each group were randomly allocated to use the above 3 different internal fixation devices for conducting fixation. The stiffness of each specimen on the directions of axial compression, flexion and extension, and left and right lateral bending was detected under original status. All specimens conducted the simulated corpectomy of T2 (damage status). Then the rigidity on various directions was re-detected on the damage status. The corresponding internal fixation system was selected for conducting the install and fixation according to the grouping results. The intra-group and inter-group rigidities on different directions were compared among original status, damage status and after internal fixation. **Results** The rigidities on different directions under original and damage status had no statistical difference among various groups ($P<0.05$). After conducting fixation in each group, the rigidity after fixation on different directions had statistically significant difference among groups ($P<0.05$). The stiffness of anterior flexion in the ATPSPS group was greater than that in the other two groups ($P<0.05$). The rigidity of axial compression and extension in the PTPSRS group

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(81460349)。 作者简介:杨立井(1985—),主治医师,博士,主要从事脊柱骨病基础与临床的研究。 △ 通信作者, E-mail:zm-xiao@163.com。

was greater than that in the other two groups, the difference among groups was statistically significant ($P < 0.05$). The stiffness of lateral bending in the AVBSPS group was smaller than that in the other two groups, the difference was significant ($P < 0.05$), but the difference between the other two groups had no statistical significance ($P > 0.05$). **Conclusion** The rigidity of ATPSPS in all directions is higher than that of AVBSPS. The anterior flexion rigidity is greater than PTPSRS, and the axial compression and extension rigidity are less than PTPSRS, but the lateral bending rigidity is equivalent to PTPSRS.

[Key words] upper thoracic spine; anterior transpedicular screw; anterior transpedicular screws-plate system; stiffness test

椎弓根螺钉固定在临床上多应用于脊柱后路手术,然而在下颈椎有使用前路椎弓根螺钉固定的报道,且取得了良好的临床结果^[1-4]。使用后路椎弓根钉棒系统(PTPSRS)行脊柱后路固定时,内固定系统所有的椎弓根螺钉均通过椎弓根构成全椎弓根螺钉固定,固定强度可靠。笔者根据解剖数据,设计一套上胸椎前路逆向椎弓根钉板内固定系统(ATPSPS),其包含两枚由前向后的椎弓根钉及两枚椎体钉。设计的初衷是希望借助前路椎弓根螺钉具有较长的钉道长度及通过椎弓根这一关键骨性通道,以提高较普通椎体钉板系统(AVBSPS)的固定强度。本研究对比 3 种固定方式对脊柱稳定性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 标本 取 12 例含颈 7-胸 5 的人非新鲜防腐尸体标本,肉眼仔细检查,确认无脊柱畸形,椎体、前纵韧带、肋骨、肋间肌肉等结构无破坏,行 X 线片及 CT 检查排除畸形、肿瘤等骨结构破坏性病变。

1.1.2 试剂 本实验固定标本两端所使用的材料为 II 型义齿基托树脂粉剂和 II 型义齿基托树脂液剂,由上海新世纪齿科材料有限公司生产,配制比例约为 1:1。

1.1.3 仪器 实验使用的试验机为美国波音公司生产的 ElectroForce 3510 材料试验机,其使用配套软件为 WinTest 系统,可施加压力及拉力等干预措施,测量时可得出精确的载荷-位移数据。



图 1 试验所使用的 3 种内固定器械

1.2.1 标本处理 将标本于肋横突关节外约 1 cm 处切断肋骨并去除远端的肋骨及肌肉。仔细剔除椎旁肌,保护韧带和关节突关节囊的完整。仔细去除椎体前方附着的软组织,但注意保持前纵韧带和肋横突关节囊的完整。标本范围内的硬脊膜囊、脊髓及肋间神经根等保持原结构,肋骨之间的肋间肌亦予保留。使用固定材料固定标本的上下端,上端为颈 7、下端为胸 5。标本处理期间,保持标本的湿度,包埋后用薄膜塑料将标本包装好,避免风干,常温下放置,实验时拆开使用。

1.2.2 标本分组 12 例标本使用随机数字表法分成 3 组,每组标本使用 1 种内固定方式,见图 1。AVBSPS 组标本使用的固定器械为前路普通椎体钉板系统,ATPSPS 组标本所使用的内固定器械为前路椎弓根钉板系统,PTPSRS 组使用的内固定器械为后路椎弓根钉棒系统^[5],见图 1。

1.2.3 标本操作及测试 根据分组结果,测试各个标本原始状态下在轴向压缩、前屈、后伸、左屈、右屈等 5 个方向上的刚度。于胸 2 椎体前方做一纵向开口槽,切除开口槽双下端对应的椎间盘组织,暴露软骨终板并小心刮除,保持终板下骨结构完整,模拟手术中胸 2 椎体次全切除,制作成损伤模型,并在上述 5 个方向上进行刚度测试。测试完成后,取同具尸体与植骨槽等高度的两根肋骨条作植骨块填充骨槽,按分组编号选择相应的内固定系统进行安装固定,之后再测试标本在各个方向上的刚度,见图 2。



图 2 轴向压缩刚度实验

1.2 方法

1.2.4 观察指标 测试并记录各标本在原始状态、

表 1 各组在各状态下及各个运动方向上的平均刚度值($\bar{x} \pm s, N/mm$)

项目	轴向压缩	前屈	后伸	左屈	右屈
原始状态					
ATPSPS 组	258.5±2.7	222.0±18.5	185.0±5.0	117.0±3.7	116.3±6.1
PTPSRS 组	261.0±3.4	225.8±10.0	184.3±4.0	113.3±4.4	112.0±4.6
AVBSPS 组	260.8±4.3	224.5±9.2	183.3±6.7	111.5±4.5	113.0±6.4
F	1.015	0.083	0.103	1.757	0.603
P	0.400	0.921	0.903	0.227	0.568
损伤状态					
ATPSPS 组	172.3±8.8	137.8±6.4	101.5±7.2	52.5±2.4	53.3±3.0
PTPSRS 组	173.0±7.5	139.8±6.1	105.0±3.7	53.8±3.9	53.8±3.9
AVBSPS 组	179.5±1.7	137.8±5.9	103.3±3.4	53.0±5.9	53.1±2.9
F	1.292	0.141	0.476	0.162	0.021
P	0.321	0.870	0.636	0.853	0.980
固定后					
ATPSPS 组	282.5±5.2	261.8±5.9	207.0±2.9	132.5±3.9	132.0±6.5
PTPSRS 组	300.8±2.8	240.3±5.5	230.5±8.1	133.8±4.9	133.0±4.1
AVBSPS 组	274.0±3.9	241.5±7.2	191.8±6.2	123.0±3.6	123.3±6.6
F	44.910	14.959	40.859	7.989	7.546
P	0.000	0.001	0.000	0.010	0.012

损伤状态及安装内固定后在轴向压缩、前屈、后伸、左侧屈、右侧屈等 5 个方向上的载荷-位移数据,通过所得数据计算对应的刚度值。

1.3 统计学处理 采用 SPSS21.0 统计软件进行分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用单因素方差分析及 LSD 检验法,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

各标本行内固定后,肉眼检查未见螺钉未进入椎管,椎弓根螺钉未穿破椎弓根及椎体。各标本均顺利完成各项测试,未见内固定器械断裂、下沉、松动或脱出,均未发现应力性骨折等。原始状态及损伤状态在轴向压缩、前屈、后伸、左右屈等各个方向上的刚度差异无统计学意义($P > 0.05$)。3 组内固定后刚度均较原始状态下刚度提高。轴向压缩刚度 PTPSRS 组较原始模型提高约 15%,ATPSPS 组及 AVBSPS 组分别提高约 9%和 5%,3 组间差异有统计学意义($P < 0.05$);前屈刚度各组较原始状态亦有提高,ATPSPS 组最大,较原始模型提高约 18%,PTPSRS 组及 AVBSPS 组相当,分别提高约 6%和 7%,3 组间差异有统计学意义($P < 0.05$);后伸刚度 PTPSRS 组最大,ATPSPS 组次之,AVBSPS 组最小,分别提高约 25%、12%、5%;左右屈刚度 ATPSPS 组和 PTPSRS 组相当,大于 AVBSPS 组,见表 1。

3 讨 论

当肿瘤、结核等造成脊柱的前中柱破坏时,这些

病灶组织易向后方凸向椎管,导致脊髓压迫和(或)脊柱失稳,引起神经功能受损,严重可导致截瘫。正常生理状态下,胸椎为后凸结构,脊髓在椎管内偏向腹侧,前中柱破坏时,致压物易压迫靠近椎体后缘行走的脊髓,特别合并后凸成角畸形时,脊髓更容易受压。研究显示,生理条件下,脊柱前中柱承受负荷较后柱大,在模拟前中柱不稳定的实验研究中,使用后路椎弓根系统固定模型后其稳定性较原始模型减少约 40%^[6]。另一项研究表明,胸腰椎前中柱骨折后经椎弓根钉系统固定不能使其恢复至原来的生物力学性能,椎体骨折累及范围越大,单纯靠后路椎弓根螺钉固定的力学性能越差,前中柱重建是减少后路内固定器械承载的关键^[7]。因此,行后路固定并对前中柱进行有效重建,对减少远期内固定失败具有重要意义。上胸椎后路手术时,因解剖结构复杂,通过后路行前中柱病灶清除并对其重建难度大、风险高,因而往往需再次行前路手术进行病灶清除和重建。有学者认为,上胸椎前中柱破坏导致脊髓受压时,单纯前路手术既能在直视下去除破坏的病灶组织而达到椎管减压的目的,又能重建脊柱的序列及稳定性^[8]。在脊柱稳定性的重建过程中,使用内固定器械坚强固定为局部骨性融合提供良好的环境^[9]。影响内固定系统固定强度有多方面的因素,如骨质量、螺钉的直径、螺纹结构、置入方向和深度等。

在体外,通过测定标本在三维运动方向上活动度

改变来评价脊柱-内固定复合体的稳定性是一种可行的方法^[10]。颈腰椎的活动度较大,通过该方法测定是合适的,而对于有胸廓限制而活动度较小的胸椎,特别是轴向旋转运动非常小,若使用此方法进行实验,则与体内实际情况差距较大。因此,本实验未测定轴向旋转,而测定轴向压缩、前屈、后伸、左屈、右屈等 5 个方向的刚度,以比较不同内固定方式的固定效果。刚度是指物体抵抗变形的能力,刚度可特定至各加载方向^[11]。根据载荷-位移数据,可分别计算出各个方向的刚度值。刚度越大,脊柱-内固定复合体固定越牢固,抗变形能力越强。对比安装内固定前后刚度变化,即可反映出某种内固定方式对标本稳定性的影响。对比不同内固定方式在相同条件下的刚度,即可反映出不同内固定方式的固定强度。

在上胸椎行前中柱清除病灶后,重建脊柱稳定性的方式有前路植骨内固定^[9,12]、后路椎弓根钉固定加前路钛笼植骨融合^[13-14]等方式。有研究表明后路椎弓根螺钉的初始固定强度优于前路钢板^[15]。前路手术并行内固定安装时,若能借助椎弓根螺钉的固定优势,理论上有助于提高脊柱-内固定复合体的初始稳定性。本实验结果表明,使用 ATPSPS 时,在前屈刚度上优于 PTPSRS 和 AVBSPS。这说明前路椎弓根固定在前屈支撑能力相对于另外两种固定方式具有一定的优势。在后伸刚度上,ATPSPS 的固定强度不及 PTPSRS,但却比 AVBSPS 的刚度大,这证实了前路两枚椎弓根螺钉具有更好的固定效果。在侧方刚度上,ATPSPS 和 PTPSRS 的固定能力相当,均大于 AVBSPS。在轴向压缩刚度上,各组的垂直压缩刚度均不同,PTPSRS 的刚度值最大,ATPSPS 次之,AVBSPS 最小。笔者推断,PTPSRS 的 4 枚螺钉均通过椎弓根这一力核结构,因此相对于其他两种内固定方式而言其刚度值较大,而 ATPSPS 的刚度大于 AVBSPS 的原因是其两枚椎弓根螺钉通过椎弓根并突破后方皮质骨而具有更稳当的固定效果。

本实验在体外模拟人体的部分运动,实验标本已切除大部分肋骨及肌肉,消除了胸廓限制等的影响因素,因此实验结果与体内必然有一定的区别。

参考文献

[1] ZHAO L J, XU R M, JIANG W Y, et al. A new technique for anterior cervical pedicle screw implantation [J]. *Orthop Surg*, 2011, 3(3): 193-198.

- [2] YUKAWA Y, KATO F, ITO K, et al. Anterior cervical pedicle screw and plate fixation using fluoroscope-assisted pedicle axis view imaging: a preliminary report of a new cervical reconstruction technique [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(6): 911-916.
- [3] 徐荣明, 赵刘军, 马维虎, 等. 下颈椎前路椎弓根螺钉内固定解剖学测量及临床应用 [J]. *中华骨科杂志*, 2011, 31(12): 1337-1343.
- [4] 赵刘军, 徐荣明, 马维虎, 等. 下颈椎损伤前路椎弓根螺钉固定的初步临床运用 [J]. *中华创伤杂志*, 2012, 28(9): 780-784.
- [5] 罗巨利, 詹新立, 肖增明, 等. 体外生物力学评价上胸椎前路钛板内固定装置的三维运动稳定性 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 31(17): 3119-3123.
- [6] 王向阳, 池永龙, 徐华梓, 等. 脊柱前中柱稳定性对椎弓根螺钉内固定器前屈压缩刚度的影响及其意义 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2003, 18(9): 614-616.
- [7] 王向阳, 戴力扬, 徐华梓, 等. 胸腰椎不同程度前中柱骨折内固定后的生物力学特征及前路重建的意义 [J]. *中华创伤杂志*, 2006, 22(3): 214-217.
- [8] 肖建如, 贾连顺, 袁文, 等. 上胸椎肿瘤的手术途径及术式探讨 [J]. *中华外科杂志*, 2001, 40(5): 19-22.
- [9] 薛峰, 滕红林, 冯大鹏, 等. 颈胸段脊柱脊髓损伤前路减压、钛网和钢板内固定术的疗效评价 [J]. *脊柱外科杂志*, 2007, 5(1): 15-17.
- [10] 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, 20(13): 1217-1220.
- [11] 瞿东滨. 脊柱内固定学 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 160.
- [12] 吴新军, 牟洪, 艾买提江·苏来满. 一期前路病灶清除植骨及内固定术治疗颈椎及颈胸段脊柱结核 [J]. *世界最新医学信息文摘*, 2016(98): 33-34.
- [13] 张振武, 饶小华, 田纪青. 一期前后联合入路手术治疗严重胸腰段及腰椎骨折 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2010, 16(3): 228-234.
- [14] 王彪, 郝定均, 郭华, 等. 颈胸段脊柱结核的手术治疗策略 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 23(2): 97-103.
- [15] SCHMIDT R, WILKE H J, CLAES L, et al. Pedicle screws enhance primary stability in multilevel cervical corpectomies: biomechanical in vitro comparison of different implants including constrained and unconstrained posterior instrumentations [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(16): 1821-1828.

(收稿日期: 2018-01-02 修回日期: 2018-03-08)