

文章编号:1004-7220(2010)02-0089-05

采用“漏斗技术”植入椎弓根螺钉固定 胸段脊柱的生物力学研究

刘良乐¹, 汤呈宣¹, 杨国敬¹, 张力成¹, 鲁成林^{2,3}, 张东升^{2,3}, 潘可平¹

(1. 温州医学院附属第三医院 骨科, 温州 325202; 2. 上海大学 力学系, 上海 200072; 3. 上海市应用数学与力学研究所, 上海 200444)

摘要: 目的 研究用“漏斗技术”植入椎弓根螺钉对固定胸段脊柱生物力学性能的影响。方法 采集成人胸节段脊柱(T6~T10)标本14具。将这些标本分为两组,每组7具,分别用“漏斗技术”和Magerl技术作椎弓根螺钉固定。对完整和固定的脊柱标本分别测量各种体位下的位移刚度、包括纵向压缩、前屈、后伸、左右侧屈及轴向旋转,并测量椎弓根螺钉的拔出强度。结果 与完整脊柱段相比,两种技术内固定均使脊柱标本的位移刚度明显增加($P < 0.05$),但这两种技术间无显著差异。用“漏斗技术”固定的螺钉拔出强度明显低于Magerl法固定($P < 0.05$)。结论 由于“漏斗技术”咬除了椎弓根后侧部分骨质,可提高置钉的准确性和安全性。虽然该技术对固定脊柱的刚度无显著影响,但可降低螺钉的锚固强度。因此,我们建议将其作为胸椎椎弓根螺钉固定的一种补充方法。

关键词: 胸椎; 椎弓根; 生物力学; 漏斗技术

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

Biomechanical study on thoracic spine segment fixed by pedicle screws placed with “funnel technique”

LIU Liang-le¹, TANG Cheng-xuan¹, YANG Guo-jing¹, ZHANG Li-chen¹, LU Cheng-lin^{2,3}, ZHANG Dong-sheng^{2,3}, PAN Ke-ping¹ (1. Department of Orthopedics and Spine Surgery, the Third Affiliated Hospital of Wenzhou Medical College, WenZhou 325200, China; 2. Department of Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 3. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai 200444, China)

Abstract: Objective To investigate mechanical properties of the thoracic spine fixed with pedicle screws that were placed using a “funnel technique”. **Method** Fourteen thoracic spinal segments (T6 to T10) were collected from adult cadavers. These specimens were divided into two groups, 7 in each, and fixed with pedicle screw using funnel and Magerl techniques. The displacement stiffness of the spinal segment and the pull-out strength of the pedicle screw were tested for intact and fixed spinal specimens. The displacement stiffness was measured from different loading directions, including axial compression, anterior flexion, posterior extension, lateral bending and axial torsion. **Results** Compared to the intact spine segments, the displacement stiffness is significantly increased ($P < 0.05$) at all directions in the segments fixed with either funnel or Magerl technique; however, there is no significant difference between the groups fixed with different technique. The screw pull-out strength is significantly decreased ($P < 0.05$) in spine segments fixed with Funnel technique compared to those fixed with Magerl technique. **Conclusions** Since funnel technique removed a portion of bone from the posterior side of the vertebral pedicle, it can raise the accuracy and safety for the placement of pedicle screw. Although this technique does

收稿日期:2010-02-04; 修回日期:2010-03-16

基金项目:温州市科技计划项目(Y20090287)

作者简介:刘良乐(1981-),研究方向:脊柱生物力学。

通讯作者:汤呈宣(1967-),教授,主任医师, Tel: (0577)65866122, E-mail: liuliangle@163.com。

not affect the stiffness of fixed spinal segment, it may decrease the anchor strength of pedicle screw. Accordingly, we recommend that the funnel technique can be considered as a complement method for the fixation of vertebral fracture using pedicle screws.

Key words : Thoracic spine; Pedicle screws; Biomechanical properties; Funnel technique

“漏斗技术”是一种利用磨钻或咬骨钳咬除部分椎弓根后侧的皮质骨,然后用小刮匙去除松质骨,探子查找椎弓根入口,并在直视下将椎弓根螺钉置入的方法。Yingsakmonkol 等^[1]于2002年首次报道将该技术应用于尸体胸椎标本,其置钉失败率仅为6% (13/216),王涛等^[2]亦通过对照实验证实,该技术在胸椎置入失败率为12.5%,远低于文献报道的21.1~54.7%^[3]。

然而,国内外尚缺乏对“漏斗技术”的生物力学性能进行评估。部分学者推测,“漏斗技术”咬除了椎弓根后侧的部分皮质和松质骨,势必影响胸椎弓根螺钉的固定强度。而且,咬除皮质的范围存在较大人为随意性,使“漏斗技术”的应用备受争议。

自2008年12月至2009年8月,笔者分别采用“漏斗技术”和传统 Magerl 法在14具尸体胸椎标本上置钉,分别测试其固定刚度和拔出强度,并进行比较,以评估“漏斗技术”的生物力学性能。

1 资料与方法

1.1 标本制备及实验准备

新鲜 T1~T12 尸体标本14具,男8具,女6具,年龄21~49岁,平均38.9岁。所有标本均通过X线排除脊柱结核、肿瘤、骨质疏松、退行性变等病理状态。将标本从 T5/6 和 T10/11 椎间盘处离断,制成 T6~T10 每5节椎体共14个功能节段(Function Spinal Unit, FSU)。仔细剔除全部椎旁肌肉,保留所有椎间韧带,以自然中立位用双层塑料袋密封在-20°低温冰柜中保存15~30 d不等。

实验前1天,将新鲜冰冻标本在室温下解冻,实验于8 h内完成。将胸椎两端各1节椎体用聚甲基丙烯酸甲酯包埋制成平台,最中间1节椎体以 Panjabi 方法制成前、中柱损伤模型,剩余两节椎体用于钉棒内固定(见图1)。测试顺序依次为:①正常完整模型;②损伤-内固定状态。

1.2 生物力学实验

应用德国 Zwick 万能材料试验机(2 500 N)加

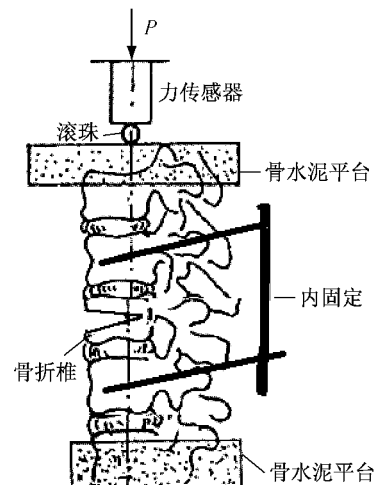


图1 胸椎骨折负荷加载示意图

Fig.1 Loading schematic diagram of thoracic vertebral fracture

载负荷,通过KG-数显光栅高精度测微仪测量最中间1节椎体节段的位移。首先进行预加载实验确定各个功能节段的轴向中心压缩点,以中心压缩点位置以及前、后、左、右各20 mm处逐级施加负荷250 N,使胸椎产生非破坏的轴向、前屈、后伸、左右侧屈等生理活动。每次实验中先进行预加载2次,测量第3次加载后的数值,以去除软组织蠕变松弛的影响(图2(a))。扭转实验在国产 NT-100B 扭转试验机上进行,将胸椎标本左、右旋转至5°,通过 YK-14 连续数字式应变仪测量其两侧扭矩(图2(b))。上述测定完毕后,截取每节经内固定椎体,在国产万能试验机上以5 mm/min的速率垂直拔出(图2(c))。实验过程中定期喷洒生理盐水以保持标本湿润。

1.3 胸椎内固定方法

在14个完整胸椎功能节段生物力学数据测试结束后,实验标本随机分为两组,各7个功能节段,均破坏造成损伤模型,分别采用“漏斗技术”和 Magerl 法固定。①前者取胸椎下关节突关节面的外侧缘与横突根部中点相交处作为大致进钉点;然而用咬骨钳移除覆盖在椎弓根表面的皮质骨,直径约10 mm;接着用小刮匙移除椎弓根后部的松质骨;继续移除松质骨直到椎弓根峡部,这样在椎弓根的皮质

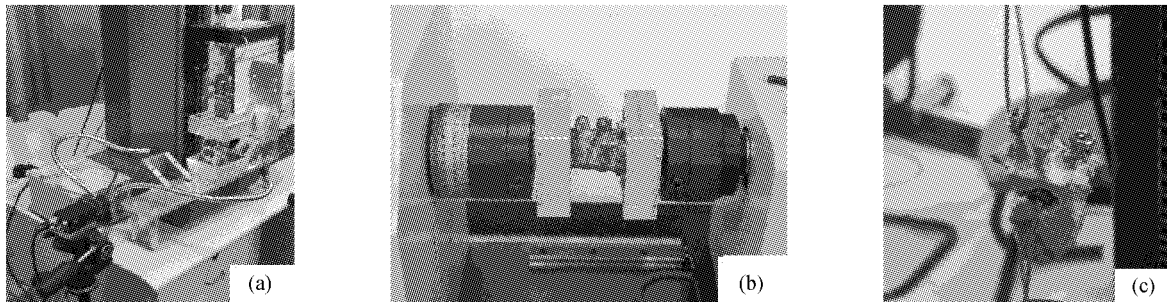


图2 胸椎弓根生物力学测试实物图 ((a)位移-刚度实验,(b)扭转实验,(c)拔出力实验)

Fig.2 The photo of biomechanical test on thoracic pedicle ((a) displacement-stiffness test, (b) torsion test, (c) pull-out test)

边界内就形成了一个“漏斗状”结构(见图3);用直径2 mm的探针仔细探测椎弓根峡部,没有发现问题后用丝攻进行攻丝,最后置入螺钉,并上棒;②后者以经胸椎上关节突外缘垂线与横突平分线的交点为进钉点,用咬骨钳移除覆盖在椎弓根表面的少量皮质后利用胸椎开口器直接刺入,攻丝后置入螺钉,

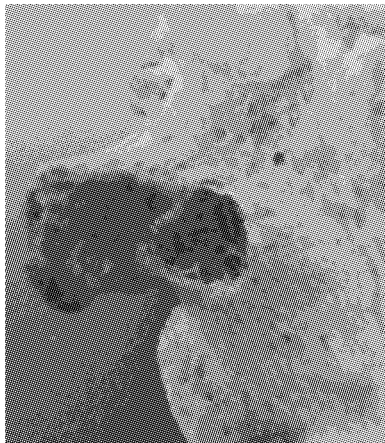


图3 漏斗技术示意图

Fig.3 The schematic diagram of “Funnel technique”

最后上棒。上述螺钉直径为4.5 mm,螺钉长度为50 mm。钉棒及置钉工具均为美国Depuy公司提供的产品。

1.4 数据统计

所测得数据均通过SPSS软件计算其均值、标准差,以 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。采用q检验比较3组间在不同状态下的刚度差异,其中轴向压缩、前屈、后伸、左右侧屈运动比较载荷达到250 N时的相对位移值(位移越大,刚度越小),旋转运动中比较椎体旋转 1° 至 5° 时所测得的相对扭矩值(扭矩越大,刚度越大)。拔出实验时,记录全过程的拔出曲线,直至螺钉被拔出10 mm,并采用成组t检验比较两种固定方法的最大拔出出力差异。

2 结果

2.1 不同状态下的刚度比较

刚度-位移测试结果见表1,在轴向压缩、前屈、后伸、左右侧屈及轴向旋转各种状态下,两种内固定组的刚度均高于正常完整组,差异有显著性意义

表1 不同固定技术在各种生理状态下的位移-刚度比较 ($\bar{x} \pm sd$)

Tab.1 The comparison results of displacement-stiffness using different fixing techniques in all kinds of position ($\bar{x} \pm sd$)

组别	n	轴向压缩	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左旋转	右旋转
正常模型	14	69.31 ± 5.07	78.32 ± 5.99	49.41 ± 6.93	57.55 ± 5.83	58.83 ± 5.81	1.04 ± 0.07	1.07 ± 0.65
漏斗技术	7	53.29 ± 4.88	42.05 ± 4.51	30.97 ± 4.19	49.63 ± 4.73	49.10 ± 2.50	1.76 ± 0.12	1.79 ± 0.09
Magerl法	7	54.25 ± 3.99	43.74 ± 4.19	31.40 ± 3.25	46.67 ± 2.03	50.27 ± 2.96	1.82 ± 0.06	1.72 ± 0.36
合计	28	61.12 ± 9.53	60.61 ± 18.75	40.30 ± 10.74	52.85 ± 6.81	54.26 ± 6.44	1.42 ± 0.39	1.41 ± 0.36
	F	40.956	158.51	36.791	13.505	13.946	300.746	341.309
	P	0.786	0.554	0.887	0.270	0.640	0.180	0.097

注:1. 轴向压缩、前屈、后伸、左右侧屈取相对位移值(单位:10 mm);左、右旋转取旋转 5° 时的相对扭矩值(单位: $N \cdot m$)。2. F值为q检验结果,P值为漏斗技术与Magerl法比较值

($P < 0.05$), 显示标本经内固定后刚度提高; 但“漏斗技术”内固定组与 Magerl 法内固定组数值相近, 差异无统计学意义($P > 0.05$), 显示“漏斗技术”咬除椎弓根后侧的部分皮质和松质骨, 并未影响椎弓根螺钉的固定刚度。

2.2 螺钉轴向最大拔出力比较

全部 56 枚螺钉均记录其拔出力曲线(图 4(a), (b)), 典型曲线由上升期和下降期组成, 曲线的最高峰即为最大拔出力数值。两种内固定组的平均最大拔出力结果见表 2。两组间采用独立样本 t 检验进行分析, 研究显示, “漏斗技术”组的最大拔出力(789.09 ± 27.33) N 低于 Magerl 法固定组(887.93 ± 19.14) N, 两者相差 11.1%, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。

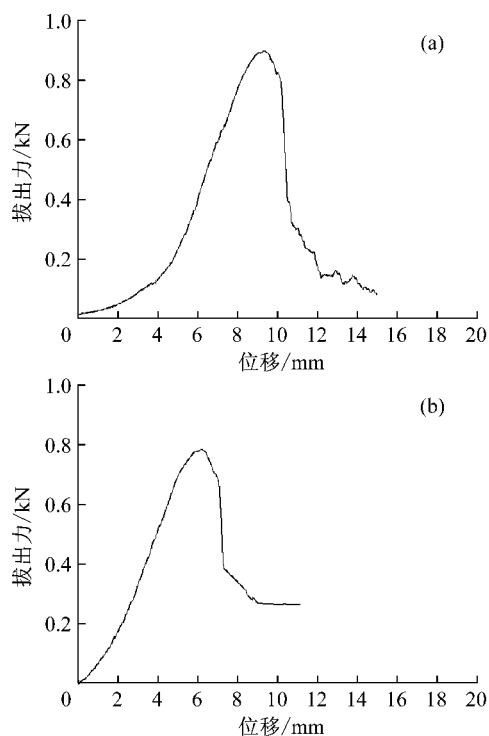


图4 不同固定技术在胸7椎体上的拔出力曲线 ((a) Magerl 法, (b) 漏斗技术)

Fig.4 The pull-out curve of the seventh thoracic vertebra using different fixing techniques ((a) Magerl technique, (b) Funnel technique)

3 讨论

3.1 胸椎弓根螺钉置入方法的比较

胸椎弓根周径细小, 解剖结构复杂多变, 与周围

重要血管、脏器毗邻关系密切, 以及由于骨折、退行性变等各种原因导致椎弓根和进钉点解剖学标志的异常, 均使得置钉困难, 而螺钉固定失败后极易造成严重后果。因此, 各种不同的置钉技术被应用来提高置钉的准确性和安全性。

表2 不同固定技术下最大拔出力比较[单位: ($\bar{x} \pm sd$) N]

Tab.2 The comparison results of pull-out strength using different fixing technique[unit: ($\bar{x} \pm sd$) N]

组别	n	拔出力	t	P
漏斗技术	28	789.09 ± 27.33	15.674	0.000
Magerl 法	28	887.93 ± 19.14		

传统的徒手置钉方法, 如 Magerl 法、Roy-Camille 法等采用直接用开路器打入, 依靠手术医师的临床经验对解剖标志做出判断, 在正常人体上易于操作。但由于骨折、退行性变、侧凸等解剖学异常, 进钉点及角度不一定正确, 易穿出椎弓根外。部分椎板切除直视下置钉的方法准确性高于传统的置钉方法, 但手术时间长, 且显著影响脊柱稳定性。胸椎弓根旁固定技术(In-Out-In)因其较高的安全性而成为近年来研究的热点, 然而学者比较发现经“椎弓根一肋骨”置钉抗拔出力(423.1 ± 198.7) N 显著小于经椎弓根置钉(783.3 ± 199.5) N^[4]。计算机导航技术因其昂贵的费用和复杂费时的操作限制了其进一步推广。因此, 研究一种具有恒定置钉位点, 简单、安全而又不明显损害螺钉生物力学性能的置钉技术成为临床工作的难点和重点。

3.2 “漏斗技术”的生物力学研究

本研究应用新鲜尸体标本比较胸椎经“漏斗技术”固定和 Magerl 法固定的生物力学特性和差别。就固定方法而言, 区别仅在于前者在螺钉置入时, 咬除了椎弓根后侧皮质直达峡部, 形成一个近似“漏斗”结构, 使接近直视下置入螺钉; 而后者则直接由开路器打入。为保证样本量, 本研究将胸椎截成含相同数目椎体的 FSU, 再次随机分配。并模拟临床实际, 造成前中柱损伤模型, 由同一位在尸体标本上置钉操作经验并熟悉胸椎解剖和两种固定技术的骨科医生完成, 螺钉均准确置入, 最大限度地避免了置钉失败带来的差别。本实验螺钉长度均为 50 mm, 并经 X 线证实所有螺钉的进钉深度均为进钉

点至椎体前缘皮质的80~90%,避免了进钉深度所引起的生物力学差异^[5]。

本实验结果显示,两种内固定组的刚度均高于正常完整组,表明任何一种固定技术都将获得较好的稳定性。进一步研究显示,在正常生理载荷作用下,胸椎FSU在前屈、后伸、左右侧屈及左右旋转等各种状态下,“漏斗技术”内固定组与Magerl法内固定组的所测刚度值无显著差异,表明椎弓根后方极少量皮质及松质骨去除后,对胸椎FSU在各种状态下的稳定性影响不大。就其原因,作者认为可能与以下几点相关:①在胸椎,人体的重心在脊柱前方,因此,胸椎静息时前方椎体是受压应力,而后方韧带受张力。正常情况下,胸椎前方的肋骨和后方粗壮的后纵韧带(张力)限制胸椎过度前屈,前纵韧带和椎间盘复合体限制了胸椎过度后伸,上下关节突和椎间盘共同构成的多关节复合体限制了胸椎的过度侧屈及旋转运动。②Hirano等^[6]研究显示胸腰段脊柱80%的固定刚度由椎弓根构成,其余20%则与前方椎体及后方关节突结构密切相关。本实验中,尽管“漏斗技术”咬除了椎弓根后侧少量骨质,但并未损害上述影响脊柱稳定性(刚度)的重要结构,从而可能使所测刚度值接近。本研究结果与孙寒松^[7]等有相似之处,后者同样认为进钉点咬除少量骨皮质不影响椎弓根螺钉的固定刚度。但本研究采用的是5节椎体FSU而非后者的3节椎体FSU,更符合临床实际;另外咬除骨质更彻底,直达椎弓根峡部,更易于螺钉的准确置入。因此,可以看作上述研究的进一步深入。

本研究着重对“漏斗技术”的抗拔出进行了探讨。结果显示,“漏斗技术”组的最大拔出力低于Magerl法固定组,差异有统计学意义,表明椎弓根后方少量皮质及松质骨去除后,将损害椎弓根螺钉的轴向拔出。该结果与既往相关椎弓根生物力学研究存在差异。传统理论认为,椎弓根螺钉的抗拔出与螺钉的直径、进钉深度、患者的骨密度三者关系最为密切^[6]。Hirano等^[4]通过有限元分析显示胸椎弓根构成了胸腰段脊柱60%的拔出强度,并指出增加螺钉的直径和进钉深度无益于疏松骨质的固定。Weinatein等^[8]进一步总结认为,胸腰段脊柱将近60%的抗拔出强度由椎弓根构成,其余15%~20%和20%~25%则分别由椎体本身和椎体前方

皮质构成,与椎弓根后方皮质关系甚微。然而,Daftari等^[9]实验却显示椎弓根后侧皮质损害将影响螺钉的固定强度。本着所见为实的科学研究精神及本研究中漏斗技术致拔出下降的客观现象,笔者认为,由于不同学者采用的测试方法不同,标本量的差异,以及对FSU的选择也不同,均使结果的可比性受到影响,笔者期待更多的标本量进一步深入研究。

在临床工作中,笔者采用“漏斗技术”评估椎弓根入口结构,从而判断进钉方向、角度以及使用螺钉的直径,避免了开路器可能带来的方向误导。临床随访效果满意,未见螺钉松动、断裂等并发症,部分胸椎骨折患者已于术后1年骨性愈合返院拆除内固定。然而,相差11.1%的拔出强度仍然是不容忽视的,笔者建议,在应用“漏斗技术”时:①进钉点咬除皮质范围不能过大,应以正好暴露椎弓根峡部形成“漏斗”为宜。②不能盲目重复探查骨道,只需探查椎弓根的四壁及深度,以免椎弓根松质骨破坏过多,降低抗拔出强度。③对骨质正常患者,可考虑换用较大直径的螺钉或适当增加进钉深度。④对骨质疏松的患者,适当应用可吸收骨水泥,如聚甲基丙烯酸甲酯或磷酸钙骨水泥等增加抗固定强度。⑤优先考虑应用于置钉高度困难的病例如T3~T6骨折、脊柱侧凸等。

3.3 本研究存在的不足

由于新鲜人类标本的珍贵性,为保证统计比较所需的样本量,本研究忽略了T7和T9椎弓根直径和长度存在的差异,可能对拔出实验结果造成影响。但是,由于对所有的实验标本进行了随机分组,使本研究的误差降到了最低。笔者认为,若在标本充足的情况下对足够数量同节段的椎体进行实验应该是最理想的。

总之,“漏斗技术”咬除了椎弓根后侧部分骨质,探明了骨道,进而准确置钉,能够有效避免置钉失败所带来的并发症。通过生物力学实验,显示其与未咬除骨皮质的椎弓根螺钉固定技术比较,在固定刚度上无显著差异。但拔出实验表明当去皮质范围过大时,将降低螺钉的抗拔出强度,因此,去皮质范围不应过大。考虑置钉错误所带来的灾难性后果,可将该技术作为传统胸椎弓根螺钉置入方法的重要补充,建议应用于置钉高度困难的病例。

(下转第104页)