

基础研究

髂骨垫片对髂骨螺钉疲劳载荷后下沉位移的影响

于滨生, 曾丽雯, 李泽民, 周治宇, 王丽冰

(中山大学附属第一医院脊柱外科 骨科研究所 510700 广州市)

【摘要】目的:评价自主设计的髂骨垫片对髂骨螺钉疲劳载荷后下沉位移的影响。**方法:**6 具成人新鲜尸体腰椎-骨盆标本用于实验。经双能 X 线吸收法测定 L1~L4 平均骨密度后, 随机将髂骨垫片放置在一侧髂骨进钉点处(A 组), 另一侧无垫片作为对照(B 组)。将直径 7.5mm、长度 70mm 的髂骨螺钉分别置入左右侧髂骨, 在 MTS 材料实验机上, 向螺钉尾部施加 100~400N 垂直循环载荷 20000 次, 记录每 5000 次载荷后两侧髂骨螺钉的下沉位移并比较。**结果:**6 具标本的腰椎骨密度为 0.78~1.06g/cm², 平均 0.89±0.06g/cm²。所有螺钉顺利承受 20000 次的垂直载荷。在第 5000、10000、15000 和 20000 次轴向压缩载荷点上, A 组髂骨螺钉的下沉位移分别为 0.28mm、0.36mm、0.48mm 和 0.66mm; B 组髂骨螺钉的下沉位移分别为 0.34mm、0.69mm、0.88mm 和 1.07mm。在第 5000 次载荷点上, A 组和 B 组螺钉下沉位移的差异无显著性($P>0.05$); 在第 10000、15000 和 20000 次载荷点上, A 组与 B 组螺钉下沉位移的差异均有显著性($P<0.05$)。20000 次载荷后 X 线片发现 A 组无螺钉松动, B 组 5 枚螺钉松动。**结论:**髂骨垫片可有效减少髂骨螺钉疲劳载荷后的下沉位移, 防止髂骨螺钉松动。

【关键词】 脊柱-骨盆固定; 髂骨螺钉; 髂骨垫片; 生物力学

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2011.07.14

中图分类号: R318.01 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2011)-07-0588-04

Effect of an iliac bone plate on the subsidence of iliac screw after fatigue loading/YU Binsheng, ZENG Liwen, LI Zemin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2011, 21(7):588~591

【Abstract】 Objective: To evaluate the biomechanical effect of a self-designed iliac bone plate on the subsidence of iliac screw after fatigue loading. **Method:** Lumbo-pelvic specimens from 6 adult fresh cadavers were used in this study, their mean bone mineral densities (BMD) of L1-L4 were measured by using dual-energy radiograph absorptiometry. The iliac bone plate was randomly placed at the iliac screw entry point of one-side ilium (group A), while the other side without iliac bone plate served as the control (group B). Then, the iliac screws with 70mm length and 7.5mm diameter were inserted into the ilium bilaterally. On a MTS testing machine, a dynamic compressive loading of 100-400N was added to the screw head for 20000 cycles. The screw subsidence displacements following each 5000 cyclic loadings were measured and compared between two groups. **Result:** The average BMD value of 6 specimens was 0.89 ± 0.06g/cm², ranged from 0.78g/cm² to 1.06g/cm². All the screws passed the 20000 cyclic loadings smoothly. At the time-points of the 5000th, 10000th, 15000th, and 20000th cyclic loadings, the subsidence displacements of iliac screw in group A were 0.28mm, 0.36mm, 0.48mm and 0.66mm respectively; while those in group B were 0.34mm, 0.69mm, 0.88mm and 1.07mm respectively. After the first 5000 cyclic loadings, no significance with respect to subsidence displacement was detected between two groups ($P>0.05$). However, at the 10000th, 15000th and 20000th cycles, significant difference was noted between two groups ($P<0.05$). After the 20000 cyclic loadings, no screw in group A and 5 screws in group B were found loosen under radiograph. **Conclusion:** The iliac bone plate can effectively resist the subsidence of iliac screw following fatigue loading and protect iliac screw against loosening.

【Key words】 Spino-pelvic reconstruction; Iliac screw; Iliac bone plate; Biomechanics

【Author's address】 Department of Spinal Surgery and Orthopaedics Research Center, the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510700, China

基金项目: 广东省科技计划项目(编号: 2008B050100012, 2009B050700023)

第一作者简介: 男(1966-), 教授, 主任医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱临床与生物力学

电话: (020)82379597 E-mail: hpyubinsheng@hotmail.com

髂骨螺钉固定技术已广泛应用于脊柱畸形、腰骶部外伤和炎症以及髌骨肿瘤疾患的脊柱-骨盆稳定重建^[1]。虽然可提供良好的即刻稳定效果,但髌骨螺钉固定技术在术后 1 年内发生螺钉松动的几率可高达 41%~100%^[2-5]。近期临床研究表明,如果克服髌骨螺钉松动,脊柱-骨盆固定的翻修数量将减少 59%^[5]。通过防止或延缓髌骨螺钉松动的发生,进而提高脊柱-骨盆重建的成功率已成为临床关注的热点问题。研究表明,强力载荷和松质骨内置钉是髌骨螺钉松动的主要原因^[5]。据此,我们设计了一种钛合金髌骨垫片,将传统的髌骨固定由“点”向“面”转化,从而分散髌骨螺钉应力。本研究旨在评价疲劳载荷下髌骨垫片对抗髌骨螺钉松动的生物力学效果,为临床应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验标本与髌骨垫片

6 具成人新鲜尸体腰椎-骨盆标本用于实验。其中男性 2 具、女性 4 具,死亡年龄 52~74 岁,平均 66.4 岁。X 线摄片证实无肿瘤、炎症引起的骨质破坏和解剖学变异,通过双能 X 线吸收法测量仪 (DEXA, Densiscan 1000, Scanco Medical, 瑞士) 测定 L1~L4 的骨密度 (bone mineral density, BMD)^[6,7]。切取完整骨盆标本,并用双层塑料袋密封后,保存在 -20℃ 冷冻箱内。实验前,将标本在室温下解冻 24h,细致剔除附着肌肉,并注意保持各韧带、骨骼和关节结构的完整。将双侧坐骨结节用聚甲基丙烯酸甲酯包埋固定,并且使两侧髌前上棘和耻骨结节所处平面与实验台垂直以模拟人体站立位^[6,7]。

置入髌骨螺钉之前,在髌后上嵴 (posterior

superior iliac spine, PSIS) 处行 20mm×20mm 的截骨^[1,6,7],以预防螺钉顶压皮肤。基于这一截骨尺寸,我们制作了钛合金髌骨垫片 (图 1)。垫片的主要结构是体部、两个侧壁 (厚度为 2mm) 以及与体部垂直的 4 个固定爪。体部的中央开圆口,允许同直径的髌骨螺钉从中穿过,两侧壁间距与髌骨的截骨高度相同。将 4 个固定爪打入髌骨后,垫片的体部、两个壁可与周围髌骨紧密接触。

1.2 髌骨螺钉固定模型的建立

以 PSIS 顶点为中心切除 20mm×20mm 髌骨,其深度与髌骨翼平齐^[1]。在同一骨盆标本上,随机选择一侧髌骨放置髌骨垫片 (A 组),另一侧无垫片作为对照 (B 组)。以截骨面的中心为进钉点,向髌前下嵴用骨锥在髌骨内外板之间开路,深度达 70mm 后,用直径 7.0mm 丝攻扩髓,于双侧髌骨内置入长度 70mm、直径 7.5mm 的钛合金髌骨螺钉 (Medtronic-WeiGao 公司, 中国)^[6,7]。

1.3 生物力学测试

将一侧髌骨螺钉与一条直径 5.5mm、长度 200mm 的连接棒紧密固定,并使连接棒与实验台面保持垂直^[6,8]。将标本的尾端包埋块与 858 型 MTS 材料试验机 (MTS 公司, 美国) 的下方夹具紧密固定 (图 2)。在 MTS 材料试验机上,通过连接棒给髌骨螺钉尾部施加 100~400N 的循环压力载荷^[6,8-10],加载周期为 1Hz,共计 20000 次。2 种髌骨螺钉固定技术的建立与测试顺序随机产生,记录螺钉在每个 5000 次载荷点上的下沉位移。在疲劳测试前后均进行 X 线拍片,以判断螺钉置入的深度、方向及疲劳测试后是否出现螺钉松动 (螺钉周围出现透亮带即为螺钉松动)。实验中,始终用加湿器使标本保持湿润。

1.5 数据统计分析

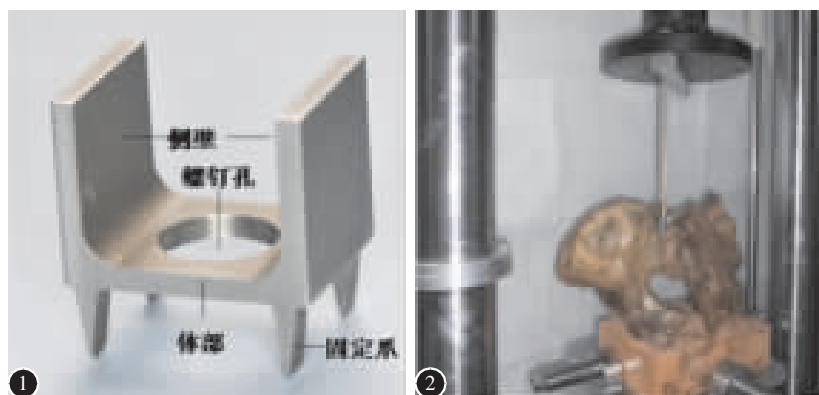


图 1 髌骨垫片实物图 图 2 髌骨螺钉固定的生物力学测试实物图

螺钉的下沉位移定义为循环载荷结束时的螺钉相对于初始状态的垂直位移量^[8]。采用 SPSS 软件(11.5 版),对两侧髂骨螺钉在每 5000 次垂直载荷后的下沉位移量进行配对 *t* 检验, $P < 0.05$ 为显著性差异的判定标准。

2 结果

6 具标本的腰椎骨密度为 $0.78 \sim 1.06 \text{ g/cm}^2$, 平均 $0.89 \pm 0.06 \text{ g/cm}^2$ 。所有髂骨螺钉均准确置入预计钉道, 未见髂骨螺钉穿入髋臼和逸出内外板等情

况。所有螺钉顺利承受 20000 次的垂直载荷。在 20000 次载荷后的 X 线片上 A 组髂骨螺钉周围未见透亮带; 而在 15000 次和 20000 次载荷点上, B 组中 5 枚髂骨螺钉周围出现透亮带, 提示髂骨螺钉已发生松动(图 3)。

两组髂骨螺钉疲劳载荷后的下沉位移见表 1。在第 5000 次载荷点上, A 组与 B 组螺钉下沉位移的差异无显著性 ($P > 0.05$); 在第 10000 次、15000 次和 20000 次的载荷点上, A 组与 B 组螺钉下沉位移的差异均有显著性 ($P < 0.05$)。

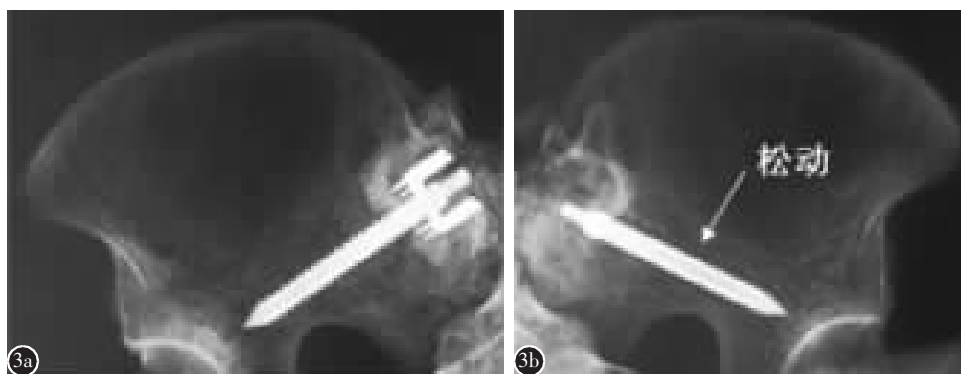


图 3 2 种髂骨螺钉固定技术 20000 次载荷后 X 线片 a 使用垫片的髂骨螺钉固定, 在髂骨螺钉周围未出现透亮带 b 单纯髂骨螺钉固定, 在髂骨螺钉周围出现透亮带

表 1 有垫片和无垫片髂骨螺钉固定不同疲劳载荷后的下沉位移 ($\bar{x} \pm s$, $n=6$, mm)

	髂骨固定螺钉的下沉位移			
	5000次	10000次	15000次	20000次
有垫片组	0.28 ± 0.10	0.36 ± 0.14	0.48 ± 0.19	0.66 ± 0.25
无垫片组	0.34 ± 0.14	0.69 ± 0.28^{①}	0.88 ± 0.33^{①}	1.07 ± 0.39^{①}

注: ①与有垫片组比较 $P < 0.05$

3 讨论

克服髂骨螺钉松动仍然是脊柱-骨盆固定手术的难题^[4]。虽然, 髂骨螺钉通道的影像学及生物力学研究已经确立了理想的置钉部位^[6,11], 并且明确了增加螺钉长度和直径、骨水泥强化可提高髂骨螺钉固定强度^[10-12], 但这些技术均不能有效克服螺钉松动^[12]。Yu 等^[7]对双髂骨螺钉固定技术的生物力学研究发现, 增加髂骨固定点不仅能显著提高脊柱-骨盆的稳定和髂骨螺钉抗松动能力, 而且降低了髂骨螺钉应力。然而在临床实践中, 增加髂骨固定点的同时, 也增加了髂骨量丢失、钉-棒连接难度和皮肤突起的风险^[7]。因此, 降低单枚螺钉的承载应力可能是解决髂骨螺钉松动的理想

途径。

为改善髂骨螺钉强力负荷和松质骨内置钉的不利环境, 我们设计了髂骨垫片, 旨在增加髂骨螺钉的固定面积, 从而分散髂骨螺钉应力。该垫片的形状基于临床中髂骨螺钉置入前的 PSIS 截骨尺寸而设计, 不仅安装操作简单, 而且强化了髂骨螺钉的入口。垫片放置在向外向下方各 30° 的髂骨螺钉的顶点^[6,7], 并且邻近骶髂关节。该部位是脊柱-下肢间传导各种应力的桥梁, 骨质坚硬且内外板间距较宽厚, 可为承载和传导应力提供基础。垫片的两个侧壁、体部和四个固定爪可分别对抗髂骨螺钉的压力、剪切力和牵张力。

虽然人体标本为体外生物力学研究提供了理想材料, 但人体标本在性别、年龄和体格方面存在较大的个体差异。本组 6 具标本的 BMD 值在 $0.78 \sim 1.06 \text{ g/cm}^2$, 为减小这些标本间差异, 本研究将 2 种髂骨螺钉固定方法在同一骨盆标本上建立, 并且进行配对 *t* 检验比较。髂骨螺钉松动通常发生于脊柱-骨盆固定术后半年以后^[2-4], 在此期间, 内固定在人体内至少承受 100 万次的载荷^[13]。

然而在体内,螺钉周围的松质骨随应力发生压缩吸收与修复重塑的动态变化,这一机制与体外研究有所不同。因此,本研究的 20000 次的循环载荷可虚拟为术后较长期的载荷状况。

本研究中,虽然在第 5000 次载荷点时,有髂骨垫片和无垫片组的螺钉下沉位移无显著性差异,然而在 10000 次载荷后,使用垫片的髂骨螺钉下沉位移量显著低于单纯髂骨螺钉;并且,20000 次载荷后的 X 线片上,垫片组的所有髂骨螺钉周围均未发现透亮带,而在无垫片组中 83% 的螺钉周围出现透亮带。这些结果提示,髂骨垫片具有良好的对抗髂骨螺钉下沉的作用。在胸腰椎前路固定系统中,椎体垫片已成为降低椎体螺钉承载量和防止松动的必需装置^[14,15]。如此结构扩大了椎体螺钉的固定面积,将特殊应力的承载由“点”向“面”进行了转化。并且,“面”固定技术已使当今人工髋关节和膝关节获得近 20 年的临床稳定效果。髂骨垫片可能成为防止髂骨螺钉松动的有利工具。

本研究证实了髂骨垫片在压缩疲劳载荷下对抗髂骨螺钉下沉的生物力学作用,为解决髂骨螺钉松动这一临床难题提供了新思路 and 理论依据。然而,髂骨螺钉在体内承载着多种方向的力与力矩,髂骨垫片对这些外力的分担效应、应力传导和转化途径如何,对脊柱-骨盆固定结构稳定性以及对周围骨短期和长期的生物力学影响等诸多重要问题,还需要进一步的研究加以明确。

4 参考文献

- Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD, et al. Pelvic fixation in spine surgery: historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques [J]. J Bone Joint Surg Am, 2005, 87(Suppl 2): 89-106.
- Emami A, Deviren V, Berven S, et al. Outcome and complications of long fusions to the sacrum in adult spine deformity: luque-galveston, combined iliac and sacral screws, and sacral fixation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2002, 27(7): 776-786.
- Mindea SA, Salehi SA, Ganju A, et al. Lumbosacropelvic junction reconstruction resulting in early ambulation for patients with lumbosacral neoplasms or osteomyelitis [J]. Neurosurg Focus, 2003, 15(2): E6.
- Tsuchiya K, Bridwell KH, Kuklo TR, et al. Minimum 5-year analysis of L5-S1 fusion using sacropelvic fixation (bilateral S1 and iliac screws) for spinal deformity[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(3): 303-308.
- Isaacs RE, Hyde J, Goodrich JA, et al. A prospective, nonrandomized, multicenter evaluation of extreme lateral interbody fusion for the treatment of adult degenerative scoliosis: perioperative outcomes and complications [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(26 Suppl): S322-330.
- Yu BS, Li ZM, Zhou ZY, et al. Biomechanical effects of insertion location and bone cement augmentation on the anchoring strength of iliac screw [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2010, [Epub ahead of print].
- Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, et al. Biomechanical advantages of dual over single iliac screws in lumbo-iliac fixation construct[J]. Eur Spine J, 2010, 19(7): 1121-1128.
- Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, et al. Biomechanical comparison of 4 fixation techniques of sacral pedicle screw in osteoporotic condition[J]. J Spinal Disord Tech, 2010, 23(6): 404-409.
- 于滨生, 郑召民, 庄新明, 等. 骨质疏松程度对髂骨椎弓根螺钉固定的生物力学影响 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(10): 277-279.
- 于滨生, 庄新明, 李泽民, 等. 髂骨钉松动后四种翻修技术的生物力学比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(4): 272-276.
- Zheng ZM, Yu BS, Chen H, et al. Effect of iliac screw insertion depth on the stability and strength of lumbo-iliac fixation constructs: an anatomical and biomechanical study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(16): E565-572.
- Akesen B, Wu C, Mehbod AA, et al. Revision of loosened iliac screws: a biomechanical study of longer and bigger screws[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(13): 1423-1428.
- Ashman RB, Bechtold JE, Edwards WT, et al. In vitro spinal arthrodesis implant mechanical testing protocols [J]. J Spinal Disord, 1989, 12(4): 274-281.
- Kanayama M, Ishida T, Hashimoto T, et al. Role of major spine surgery using Kaneda anterior instrumentation for osteoporotic vertebral collapse[J]. J Spinal Disord Tech, 2010, 23(1): 53-56.
- Shimamoto N, Kotani Y, Shono Y, et al. Biomechanical evaluation of anterior spinal instrumentation systems for scoliosis: in vitro fatigue simulation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(24): 2701-2708.

(收稿日期: 2011-03-28 修回日期: 2011-05-07)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)