

基础研究

单侧 PKP 骨水泥注射过中线分布对压缩性骨折椎体两侧刚度的影响

陈柏龄¹, 谢登辉^{1,2}, 黎艺强¹, 庄新明¹, 杨晓曦¹, 于滨生¹, 郑召民¹

(1 中山大学附属第一医院脊柱外科 510080 广州市; 2 广州市儿童医院骨科 510120 广州市)

【摘要】目的:评价单侧椎体后凸成形术(PKP)中骨水泥注射超越椎体中线与否对椎体轴向及两侧刚度的影响。**方法:**3 具防腐成人胸腰椎椎体标本(T4~L1)用于实验。通过 MTS 平台给椎体施加轴向压力,制作压缩性椎体骨折模型,同时进行球囊辅助下经单侧椎弓根穿刺椎体后凸成形术,根据骨水泥是否过椎体中线分为两组,骨水泥注射不过椎体中线(A 组, $n=9$);骨水泥注射过椎体中线(B 组, $n=8$),骨水泥注射量为椎体体积的 10%。24h 后放置在 MTS-858 材料实验平台上,给标本分别施加 0~300N 轴向和侧方压力载荷,记录并比较骨水泥注射术后,两组椎体轴向及两侧的刚度差异。**结果:**轴向压缩载荷下, A 组与 B 组间轴向压缩刚度无显著差异($P>0.05$);在椎体侧方压缩载荷下,尽管 A 组椎体骨水泥穿刺侧的刚度与 B 组间差异无显著性($P>0.05$);但在非穿刺侧刚度上, B 组显著高于 A 组,差异有显著性($P<0.05$)。**结论:**行单侧 PKP 时,若骨水泥填充不过椎体中线时,则非穿刺侧刚度明显低于穿刺侧,而骨水泥填充过中线时,则两侧椎体刚度可同时得到显著强化。

【关键词】生物力学;经皮椎体后凸成形术;骨水泥;侧方压缩

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2011.02.07

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2011)-02-0118-04

Effects of cross-midline cement distribution on the stiffness of varied sites in compressive fractured vertebrae after unipedicular PKP: a biomechanical study/CHEN Bailing, XIE Denghui, LI Yiqiang, et al// Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2011, 21(2): 118-121

【Abstract】 Objective: To evaluate the effects of cross-midline cement injection on axial and bilateral vertebral stiffness of varied sites in compressive fractured vertebrae after unipedicular PKP. **Method:** Vertebral bodies harvested from 3 cadaver spines(T4-L1) were experimentally induced into compressive vertebral fractures models by MTS. Subsequently the specimens were stabilized using transpedicular balloon-assisted PKP (group A, $n=9$, unipedicular hemivertebral, non cross-midline cement injection, group B, $n=8$, unipedicular cross-midline cement injection) and the volume of cement filling were 10% of the vertebral body. Then the stablized vertebral bodies were subjected to axial and sided compression loads(0-300N, cycled) by MTS 24 hours later. After that, the stiffness was measured and compared between the two groups. **Result:** Under axial loading, the stiffness between group A and B showed no significant difference ($P>0.05$). While under sided compression loading, despite of no difference of stiffness in penetration side between group A and B ($P>0.05$), the stiffness in non-penetration side in group B increased more than that in group A ($P<0.05$). **Conclusion:** When performing unipedicular balloon-assisted kyphoplasty, cross-midline cement distribution or not will impact the side-related stiffness significantly.

【Key words】 Biomechanics; Percutaneous kyphoplasty; Bone cement; Lateral compression

【Author's address】 Department of Spine Surgery, 1st Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510080, China

经皮椎体成形术(PVP)及后凸成形术(PKP)

均对老年骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)有着优良的止痛效果和椎体强化稳定作用。而经单侧椎弓根穿刺的 PKP 术似乎比双侧穿刺 PKP 术式更受欢迎^[1-4], 但该术式存在穿破椎弓根内壁, 损

第一作者简介: 男(1968-), 副主任医师, 博士, 研究方向: 脊柱外科
电话: (020)81330584 E-mail: berlinch2007@yahoo.com.cn

伤脊髓的风险,且穿刺角度较小,会导致骨水泥分布位置不佳(局限于半侧椎体),并可能带来术后非穿刺侧椎体的塌陷再骨折,因此,骨水泥注射是否过中线尚存在争议。笔者就骨水泥注射是否过中线对椎体轴向及双侧刚度的影响进行了研究,报告如下。

1 材料与方法

1.1 标本来源

选用 3 具成年人防腐胸腰椎标本(T4~L1),平均死亡时年龄为 58 岁。所用 30 个椎体标本经 X 线摄片排除肿瘤、骨折或其他明显破损,DEXA 扫描明确椎体骨密度。用解剖刀具将椎体分离,细致剥离并切除椎间盘组织、软骨终板,保留骨性终板的完整。完全切除包括双侧椎弓根在内的后部椎弓骨性结构。逐个椎体标记编号后,将分离出的胸腰椎椎体标本(T4~L1)用生理盐水纱布包裹,双层塑料袋密封,置于-20℃低温冰箱内保存。生理盐水纱布包裹椎体标本可保持其良好的粘弹性。将胸腰椎椎体分层分组方式分成 3 组:A 组($n=9$)为经单侧椎弓根 PKP 术且骨水泥填充局限于椎体半侧组;B 组($n=8$)为经单侧椎弓根 PKP 术且骨水泥填充超过中线组。

1.2 椎体压缩性骨折模型的建立

实验前,将胸腰椎标本在室温下解冻 30min。以甲基丙烯酸甲酯(自凝牙托粉)填平椎体上下终板凹陷处。将胸腰椎椎体固定于 MTS 材料实验机(MTS 858 bionix II machine, MTS System Inc, Minneapolis, MN, USA)上,限制椎体多向移位,保证垂直压缩力沿椎体前中 1/3 轴施加(图 1)。指令 MTS 在位移控制模式下施加力,压缩速率为 5mm/min,根据之前测量所得椎体前缘的高度规定压缩位移。胸腰椎椎体前缘高度下降超过 25%(椎体前缘的高度丢失 $\geq 25\%$)停止加压,从而产生椎体前缘高度较小,后缘高度较大的楔型压缩骨折模型^[9]。

1.3 经皮椎体后凸成形手术

将骨折模型已建立的胸腰椎椎体从-20℃低温冰箱中取出,在室温下解冻 30min。PKP 手术操作流程基本同前^[10],均由同一手术医生在 C 型臂 X 线机透视下完成。单侧穿刺半侧椎体后凸成形术(好 hemivertebral kyphoplasty, Hemi-PKP)均经残余椎弓根完成,骨水泥注射量为椎体体积

的 10%(椎体体积由排水法测量-阿基米德原理)。通过术中 X 线透视下控制骨水泥注射的压力及适当调整穿刺针的进入深度以确保骨水泥是否过椎体中线,且术后 X 线片上画定椎体中线并进行测量(图 2)。我们将不过中线骨水泥注射的纳入标准定义为:①PMMA 填充单侧椎体,不过中线;②PMMA 填充达到中线(图 2)。手术后将椎体置于 4℃环境下 24h,使 PMMA 完全聚合。

1.4 生物力学测试

包埋好的标本需保证上平面水平(用水平尺校验),并置于水平工作台(用水平尺校验)上,以利于轴向压缩负载的准确施加。将椎体标本固定于 MTS 材料实验机夹具上,使轴向加载中心位于椎体上终板的中心(图 1)。每一个标本在正式测试前均进行调谐,以保证 MTS 指令与输出一致。用正式载荷量的 25%保持调谐,使指令与输出间的差异小于 1%。测试开始前,给标本头侧施加 100N 的初始载荷以模拟生理状态并且减少粘弹性物体的蠕变现象。

轴向压缩测试分别在三个时相完成:完整状态、VCF 骨折模型建立后及骨水泥强化后。每个时相的生物力学测试都通过 MTS 给标本的头侧施加 0~300N 轴向连续压力载荷,共 5 个循环。压力-线性位移分别由设置在 MTS 试验机内的四种传感器同步记录并输出到 MTS 专用电脑。数据采集速度设为 100 次/秒,测试步骤均按顺序阶段性进行,均衡各实验步骤的初始条件,减少实验误差,使测试连续、简单、迅速。每个标本测试均在 1h 内完成,实验中用加湿器使标本保证湿润。数据分析时,取第三个循环中 0 到最大载荷间的位移进行计算,得出完整状态、压缩后及骨水泥强化后的椎体刚度。

1.5 数据分析统计处理

各组椎体在三个时相所测得的刚度数值用均数 $\pm$ 标准差表示,采用 SPSS 11.5 软件包对数据进行统计分析,使用单因素方差分析和 t 检验进行组间两两比较。设 $P<0.05$ 为差异有显著性。

2 结果

B 组中,1 例椎体因测试中毁损,数据予以剔除。两组椎体不同时相下不同椎体部位的刚度测量数据见表 1,轴向压缩载荷下,A 组与 B 组间轴向压缩刚度差异无显著性($P>0.05$);在椎体侧方



图 1 轴向负载作用域 O0 点建立椎体压缩性骨折模型,分别在 O1(椎体侧中央)、O2(椎体的侧方 1/3)、O3(椎体的侧方 1/3)点测试被测椎体中央、穿刺侧及非穿刺侧椎体的刚度示意图 图 2 两组中骨水泥在椎体内的填充位置 a 骨水泥填充后分布于半侧椎体内 b 骨水泥填充后分布超过椎体中线

表 1 各组椎体不同时相下不同椎体部位的刚度

	A组(n=9)			B组(n=8)		
	中央	穿刺侧	非穿刺侧	中央	穿刺侧	非穿刺侧
完整状态	260.48±64.15	—	—	257.60±31.44	—	—
椎体压缩后	217.83±60.22	194.54±54.68	203.24±59.91	216.29±25.69	206.04±20.21	212.66±35.36
椎体强化后	251.37±53.34	238.57±53.81	170.40±41.91	250.41±41.27	244.67±45.94	232.97±40.50

压缩载荷下,A组与B组间骨水泥穿刺侧刚度无显著性差异($P>0.05$),但在非穿刺侧刚度上,B组显著高于A组,组间差异有显著性($P<0.05$)。

A组中,椎体压缩后与椎体强化后时相比较:椎体中央及穿刺侧刚度有显著差异($P<0.05$),非穿刺侧椎体刚度在椎体强化前后无显著差异($P>0.05$)。骨水泥强化后时相,Bonferroni法多重比较显示:非穿刺侧与椎体中央刚度和穿刺侧的刚度均有统计学差异($P<0.01$),穿刺侧与椎体中央刚度的差别无统计学意义($P>0.05$)。B组中,椎体压缩后与椎体强化后时相比较:椎体中央、穿刺侧及非穿刺侧刚度均有显著差异($P<0.05$)。骨水泥强化后,椎体中央刚度、穿刺侧和非穿刺侧的刚度以及各椎体间的刚度均无统计学差异($P>0.05$);A、B组各椎体间刚度差别有统计学意义($P<0.01$)。

3 讨论

本试验使用了刚度指标来反映椎体的强度,原因主要有:(1)骨的刚度与强度存在显著的相关性^[7,8],刚度可很好地反映其强度^[9]。(2)本实验需要进行椎体不同部位的循环压缩试验以明确椎体

力学性能,故不能进行压毁椎体的强度测定。

3.1 骨水泥注射量对椎体刚度重建的影响

PKP术的最佳骨水泥注射量尚存在争议。Belkolf等^[11]的研究显示,单一椎体仅注射2ml骨水泥即可恢复伤椎的骨刚度。近年来,Molly等^[10]通过力学研究发现,伤椎所属脊柱节段不同,其椎体强度/刚度恢复所需的骨水泥剂量也各不相同:一般恢复伤椎的骨刚度,胸椎仅需要2ml,胸腰椎、腰椎节段则分别需要4ml、8ml的骨水泥;而恢复椎体刚度所需的骨水泥注射剂量约在4ml左右。因此Molloy认为注射骨水泥剂量为椎体体积的16%即可恢复椎体的强度,而注射29%方可恢复椎体的刚度。我们发现中国人椎体与国外并不完全相同,注射椎体体积10%剂量的骨水泥即可有效恢复椎体的刚度,因而每个椎体骨水泥剂量依据椎体体积的10%注射。Liebschner等^[12]的有限元分析结果显示骨水泥填充量小于椎体体积的15%即可将椎体的刚度恢复至伤前水平;骨水泥注射剂量过大易造成椎体的力学失衡,通过增加骨水泥的注射量来提高伤椎的刚度和强度并非最佳选择,相对较少量的骨水泥注射及尽量使骨水

泥在椎体中的对称分布应是发展的方向。

3.2 骨水泥在椎体中的分布对椎体刚度重建的影响

在临床应用上,单侧穿刺 PKP 术节约手术时间且能降低双侧穿刺的并发症,但有可能造成骨水泥在椎体两侧的分布不均,并最终会导致非穿刺侧椎体的楔形变。但此观点仍有争议^[13-16]。因此,近年来关于单、双侧穿刺骨水泥填充效果的对比研究越来越受到重视^[1-4,13-16]。

目前关于单、双侧穿刺骨水泥填充的对比力学实验结果及观点并不统一。Tohmeh 等^[15]与 Steinmann 等^[16]通过体外力学实验发现,无论单侧 PVP 还是 PKP,在重建伤椎刚度和强度方面,与双侧穿刺相比并无明显的差异。Liebschner 等^[12]则认为单侧穿刺的 PVP 在恢复椎体稳定性方面并不如双侧穿刺手术,究其原因在于单侧穿刺骨水泥填充的不均衡性及可能导致的力学偏转(toggle)。Tohmeh 等^[15]与 Steinmann 等^[16]的关注重点仅在于穿刺方式(单、双侧)对椎体整体力学重建的影响。而 Molloy^[14]则更多地关注骨水泥在椎体中的分布对椎体整体力学重建的影响。他们的力学研究均采用单一的轴向压缩试验,而未考虑到椎体侧边情况(boundary condition)^[10]。本实验对强化椎不仅进行了轴向压缩试验,还进行了椎体两侧的侧方压缩试验,因此能充分评价椎体力学重建的程度和平衡性。

本研究结果显示行单侧椎弓根穿刺 PKP 时,骨水泥填充局限于半侧椎体可基本恢复椎体的轴向压缩强度。但在侧方压力载荷下,非穿刺侧刚度明显低于穿刺侧。当骨水泥填充越过中线,则两侧椎体刚度可得到较均衡的强化,从而使椎体力学性能得到平衡强化,降低术后椎体力学偏转和非穿刺侧再发楔形骨折的风险。本研究选用的防腐胸腰椎标本与活体数据存在差异,另外,由于尸体死亡年龄及本身骨密度不同则无法消除实验误差及混杂因素的影响,在后期实验中将进一步得到改进。

4 参考文献

1. Sun G, Jin P, Li FD, et al. Preliminary study on a single balloon cross-midline expansion via unipedicular approach in kyphoplasty[J]. Chin Med J, 2008, 121(18): 1811-1814.
2. Ryu KS, Park CK, Kim MK, et al. Single balloon kyphoplasty using far-lateral extrapedicular approach: technical note and

preliminary result [J]. J Spinal Disord Tech, 2007, 20 (5): 392-398.

3. Chung HJ, Chung KJ, Yoon HS, et al. Comparative study of balloon kyphoplasty with unilateral versus bilateral approach in osteoporotic compression fracture [J]. International Orthopaedics, 2008, 32(6): 817-820.
4. Papadopoulos EC, Edobor-Osula F, Gardner MJ, et al. Unipedicular balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fracture: early result [J]. J spinal Disord Tech, 2008, 21(8): 589-596.
5. Zheng Z, Luk KD, Kuang G, et al. Vertebral augmentation with a novel Vessel-X bone void filling container system and bioactive bone cement [J]. Spine, 2007, 32(19): 2076-2082.
6. 郑召民, 李佛保. 经皮椎体成形与后凸成形术——问题与对策 [J]. 中华外科杂志, 2006, 86(27): 1878-1880.
7. Keaveny TM, Wachtel EF, Ford CM, et al. Differences between the tensile and compressive strengths of bovine tibial trabecular bone depend on modulus [J]. Journal of Biomechanics, 1994, 27(9): 1137-1146.
8. Kim MJ, Lindsey DP, Hannibal M, et al. Vertebroplasty versus kyphoplasty: biomechanical behavior under repetitive loading conditions [J]. Spine, 2006, 31(18): 2079-2084.
9. Fyhrie DP, Vashishth D. Bone stiffness predicts strength similarly for human vertebral cancellous bone in compression and for cortical bone in tension [J]. Bone, 2000, 26(2): 169-173.
10. Molly S, Mathis JM, Belkoff SM. The effect of vertebral body percentage fill on mechanical behavior during percutaneous vertebroplasty [J]. Spine, 2003, 28(14): 1549-1554.
11. Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, et al. The biomechanics of vertebroplasty: the effect of cement volume on mechanical behavior [J]. Spine, 2001, 26(14): 1537-1541.
12. Liebschner MAK, Rosenberg WS, Keaveny TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty [J]. Spine, 2001, 26(14): 1547-1554.
13. Knavel EM, Ehteshami RA, Thienlen KR, et al. Clinical outcomes with hemivertebral filling during percutaneous vertebroplasty [J]. Am J Neuroradiol, 2009, 30(3): 496-499.
14. Molloy S, Riley LH, Belkoff SM. Effect of cement volume and placement on mechanical-property restoration resulting from vertebroplasty [J]. Am J Neuroradiol, 2005, 26: 401-404.
15. Tohmeh AG, Mathis JM, Fenton DC, et al. Biomechanical efficacy of unipedicular versus bipedicular vertebroplasty for the management of osteoporotic compression fractures [J]. Spine, 1999, 24(17): 1772-1776.
16. Steinmann J, Tingey CT, Cruz G, et al. Biomechanical comparison of unipedicular versus bipedicular kyphoplasty [J]. Spine, 2005, 30(2): 201-205.

(收稿日期: 2010-08-10 修回日期: 2010-10-27)

(英文编审 蒋欣/刘思麒)

(本文编辑 刘彦)