

经单或双侧椎弓根灌注自固化磷酸钙骨水泥椎体成形的效果比较

张 亮, 陈统一, 陈中伟

(复旦大学附属中山医院骨科 200032 上海市)

【摘要】目的:比较经单或双侧椎弓根将自固化磷酸钙骨水泥(autosetting calcium phosphate cement, ACPC)灌注入骨质疏松性压缩骨折椎体的成形效果。**方法:**自 7 具老年新鲜尸体脊柱上取 T10~T12 或 L1~L3 连续三节段椎体共 10 个标本, 分别测定初始中间椎体和相邻椎间盘非破坏性载荷下标本前屈、后伸、侧屈和扭转运动时的应力、应变值和轴向刚度。然后在前屈压缩下造成中间椎体骨折。标本随机分成两组, 分别经单侧和双侧椎弓根将 3ml ACPC 注入椎体后再同前测试, 并测定中间椎体极限抗压强度和刚度。**结果:**成形术后中间椎体在非破坏性载荷下标本前屈、后伸和侧屈运动时应力和轴向刚度较初始无明显增加, 经单侧和双侧椎弓根灌注组之间也无明显差异, 但扭转刚度皆有下降。两组抗压极限强度较初始都有显著性提高。两组相邻椎间盘应力和轴向刚度皆无明显变化。**结论:**经单侧和双侧椎弓根灌注 3ml ACPC 都能较好恢复骨质疏松性压缩骨折椎体的生物力学性能, 对相邻椎间盘的抗压力学性能影响小。

【关键词】 椎体成形术; 磷酸钙; 骨水泥; 生物力学; 脊柱骨折

中图分类号: R683.2, R591.1, R318.01 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2005)-09-0549-04

Biomechanical efficacy of unipedicular versus bipedicular vertebroplasty assisted with autosetting calcium phosphate cement/ZHANG Liang, CHEN Tongyi, CHEN Zhongwei//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2005, 15(9): 549~552

【Abstract】Objective: To compare the effect between unipedicular and bipedicular vertebroplasty assisted with autosetting calcium phosphate cement (ACPC). **Method:** Ten specimens consisting of three continuous thoracolumbar vertebrae were obtained from 7 fresh cadavers. Initial stress, strain and axial stiffness of middle vertebrae and adjacent intervertebral discs were determined respectively during flexion, extension, lateral bending and torsion under nondestructive load. After flexional compression fractures were experimentally created in the middle vertebrae, specimens were divided into two groups randomly. The middle vertebral bodies were then strengthened using either unipedicular or bipedicular injections of 3ml ACPC respectively. A forementioned values and utmost strength and stiffness of middle vertebrae were tested postoperatively. **Result:** Compared with the initial, postoperative stress and axial stiffness of middle vertebrae had no significant increase during flexion, extension or lateral bending under nondestructive load. And there were no significant difference between two groups. But torsion stiffness in both groups declined. Strength significantly increased in two groups while there were no marked difference between them. Stress and axial stiffness of adjacent intervertebral disc had no significant change in either group. **Conclusion:** Both unipedicular and bipedicular vertebroplasty assisted with ACPC can restore biomechanical property of compressed osteoporotic vertebrae while have little effect on adjacent intervertebral disc.

【Key words】 Vertebroplasty; Calcium phosphate cement; Biomechanics; Spine fractures

【Author's address】 Department of Orthopaedics, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai, 200032, China

经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 自 1984 年问世以来^[1], 已经广泛应用到骨质疏松性椎体压缩骨折、椎体血管瘤和椎体

转移性肿瘤等疾病的治疗上。在胸腰段脊柱, 由于经椎弓根灌注入路可以明显减少从针道外漏的危险, 因此已经取代经后外侧入路而被广泛应用。但在临床上经单侧还是双侧椎弓根灌注骨水泥的问题上仍存在争议。本研究旨在通过离体多节段脊

第一作者简介: 男 (1977-), 医学博士, 研究方向: 脊柱外科
电话: (021) 64040738 E-mail: tacetzhang@yahoo.com.cn

柱标本进行生物力学研究来比较经单或双侧椎弓根灌注自固化磷酸钙骨水泥 (autosetting calcium phosphate cement, ACPC) 椎体成形的效果, 评价两者对脊柱生物力学性能的影响。

1 材料和方法

1.1 标本采集

采集 7 具老年人 (年龄在 72~90 岁, 平均 82 岁) 的新鲜脊柱标本, 其中男性 4 例, 女性 3 例, 均摄正侧位 X 线片, 以排除先天性畸形、骨折和肿瘤等病变。采用美国 Hologic 公司生产的 Hologic-2000 型双能 X 线吸收骨密度仪 (Dual energy X-ray absorptinmetry, DEXA) 测试每个脊柱标本胸腰段区域的骨密度, 结果显示平均骨密度值为 $0.672 \pm 0.053 \text{ g/cm}^2$ 。

1.2 标本处理

截取 T10~T12 或 L1~L3 连续三节段椎体标本共 10 个, 剔除附着的肌肉和肋骨, 保持椎间韧带及小关节的完整性。用双层塑料袋密封后冷藏于 -30°C 冰箱内, 保存期 0.5~3 个月。测试当天, 所有的椎体在室温下自然解冻。在测试前用电子数字显示卡尺 (上海量具刃具厂) 测量所有椎体的前后径、横径及高度, 精确到 0.01mm。将标本两端包埋于直径 10cm、厚 33mm 的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 盒中, 暴露中间椎体及其上下方椎间盘, 并标记每一个标本号。浇灌 PMMA 时保持标本平衡。将标本放置在万能材料试验机 (WE-5) 的夹具内, 在中间椎体和其上方椎间盘上粘贴电阻应变片, 并连接在数字应变仪 (YJ-14) 上, 行非破坏性生物力学测试, 进行椎体生物力学性质测量。

1.3 实验方法

按 Kapandji 法确定标本的重心点 (胸椎在椎体正中矢状径的中后 1/3 处, 腰椎在椎体正中矢状径的 1/2 处)。先测量标本在前屈、后伸和侧屈应力下的应变值。采用滚珠液压加载, 准静态加压方式, 加载速率 1.5 mm/min , 轴向载荷 0~500N。用数字显示光栅位移传感器 (KG-101) 测量标本的轴向位移和椎间盘的水平膨出位移值。然后将标本两端固定于扭转试验机 (NS-100B) 上, 同样的准静态加载方式, 加载速率 1.5 mm/min , 扭转载荷 0~4N·m, 分级载荷 $1 \text{ N} \cdot \text{m}$, 测量扭转应力下标本的应变值。再将标本固定在楔形两端的特殊夹具中间, 造成标本前屈位, 然后加载直至造成中间椎

体破坏来模拟椎体压缩性骨折。测试中记录椎体极限载荷和位移。

椎体破坏后先行过伸复位, 再用骨活检水泥注射针 (Osteo-Site™, DBBN-13-10.0-M, COOK Inc) 经中间椎体椎弓根穿刺直至椎体前三分之一, 抽出内芯留置。按粉末与固定液 2.3g:1ml 的比例调配 ACPC (上海瑞邦生物材料有限公司), 装入 10ml 的注射器针筒内通过穿刺针注入椎体内。椎体成形术中, 先将 10 个标本随机分成两组, A 组经右侧椎弓根向椎体注入 3ml ACPC, B 组经双侧椎弓根向椎体注入 3ml ACPC (每侧椎弓根各 1.5ml)。灌注后所有椎体密封于双层塑料袋中, 置于 37°C 水浴箱中 24h。

如前用 PMMA 包埋标本两端, 重复前面的生物力学测试, 记录并计算相关生物力学参数值。

1.4 统计学分析

对所得数据用统计分析软件 SPSS 10.0 中方差分析法 (Two-way ANOVA) 进行统计, 以 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 非破坏性载荷下中间椎体生物力学性能变化

见表 1。中间椎体成形术后与初始比较, 500N 载荷下标本在前屈、后伸和左右侧屈时, A 和 B 组应力及轴向刚度差别皆无统计学意义, A、B 两组之间差别也无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组中间椎体成形术后扭矩-扭角曲线变化如图 1 所示。初始扭转刚度为 $0.21 \pm 0.02 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$, A 组为 $0.14 \pm 0.01 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$, B 组为 $0.16 \pm 0.01 \text{ N} \cdot \text{m}/^\circ$, A、B 两组扭转刚度较初始均有显著性下降 ($P < 0.05$), 两组之间也有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.2 非破坏性载荷下上方相邻椎间盘生物力学性能变化

见表 2。中间椎体成形术后上方相邻椎间盘与初始比较, 500N 载荷下标本在前屈、后伸和左右侧屈时, A 组和 B 组应力及轴向刚度差别皆无统计学意义, 两组之间差别也无统计学意义 ($P > 0.05$)。

2.3 中间椎体极限抗压力学性能变化

极限破坏试验初始极限强度为 $5860 \pm 986 \text{ N}$, 成形术后 A 组为 $8748 \pm 1604 \text{ N}$, B 组为 $9003 \pm 1168 \text{ N}$, 较初始均有显著性增加 ($P < 0.05$), 但两组

表 1 500N 载荷下两组中间椎体成形术后应力(MPa)、应变($\mu\epsilon$)和轴向刚度(N/mm)变化 ($\bar{x}\pm s$)

	前屈			后伸			左侧屈			右侧屈		
	应变	应力	轴向刚度	应变	应力	轴向刚度	应变	应力	轴向刚度	应变	应力	轴向刚度
初始	126 $\pm$ 10	1.45 $\pm$ 0.12	174 $\pm$ 4.6	326 $\pm$ 12	3.95 $\pm$ 0.15	131 $\pm$ 4.0	294 $\pm$ 11	3.11 $\pm$ 0.12	245 $\pm$ 5.4	296 $\pm$ 11	3.13 $\pm$ 0.11	246 $\pm$ 5.3
A组	128 $\pm$ 11	1.47 $\pm$ 0.13	178 $\pm$ 4.7	331 $\pm$ 11	3.98 $\pm$ 0.13	133 $\pm$ 4.1	305 $\pm$ 12	3.17 $\pm$ 0.12	246 $\pm$ 5.6	308 $\pm$ 12	3.21 $\pm$ 0.12	250 $\pm$ 5.5
B组	129 $\pm$ 11	1.47 $\pm$ 0.13	180 $\pm$ 4.9	333 $\pm$ 11	3.99 $\pm$ 0.13	135 $\pm$ 4.2	308 $\pm$ 12	3.19 $\pm$ 0.12	246 $\pm$ 5.6	310 $\pm$ 12	3.21 $\pm$ 0.13	247 $\pm$ 5.4

注:A组与初始、B组与初始比较差别皆无统计学意义,A和B之间差别无统计学意义($P>0.05$)

表 2 两组中间椎体成形术后上方相邻椎间盘应力(MPa)、应变($\mu\epsilon$)和轴向刚度(N/mm)变化 ($\bar{x}\pm s$)

	前屈			后伸			左侧屈			右侧屈		
	应变	应力	轴向刚度	应变	应力	轴向刚度	应变	应力	轴向刚度	应变	应力	轴向刚度
初始	402 $\pm$ 13	0.55 $\pm$ 0.02	120 $\pm$ 5.4	423 $\pm$ 16	0.64 $\pm$ 0.02	85 $\pm$ 5.0	285 $\pm$ 12	0.29 $\pm$ 0.01	167 $\pm$ 6.2	287 $\pm$ 12	0.31 $\pm$ 0.01	169 $\pm$ 6.1
A组	417 $\pm$ 10	0.56 $\pm$ 0.01	117 $\pm$ 5.3	430 $\pm$ 9	0.66 $\pm$ 0.01	82 $\pm$ 4.7	301 $\pm$ 13	0.30 $\pm$ 0.01	162 $\pm$ 5.7	305 $\pm$ 13	0.33 $\pm$ 0.01	166 $\pm$ 5.5
B组	418 $\pm$ 10	0.56 $\pm$ 0.01	116 $\pm$ 5.3	443 $\pm$ 9	0.66 $\pm$ 0.01	82 $\pm$ 4.4	301 $\pm$ 13	0.30 $\pm$ 0.01	163 $\pm$ 5.8	303 $\pm$ 13	0.32 $\pm$ 0.01	165 $\pm$ 5.7

注:A组与初始、B组与初始比较差别皆无统计学意义,A组和B组之间差别无统计学意义($P>0.05$)

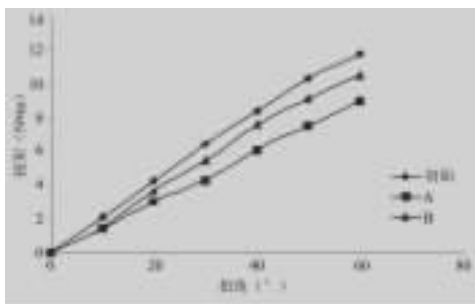


图 1 两组中间椎体成形术后扭矩-扭角变化

之间无显著性差异($P>0.05$)。而极限刚度分别为 $1225\pm 389\text{N/m}$, $822\pm 273\text{N/m}$ 和 $1220\pm 376\text{N/mm}$ 。和初始相比,A组刚度显著性下降($P<0.05$),而B组无显著性差异($P>0.05$),但A、B两组之间无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

经皮椎体成形术目前已在临床得到了广泛的开展和应用^[2]。尤其在骨质疏松性椎体压缩骨折的治疗上,因其缓解疼痛确切,操作相对简便,创伤小,住院时间短,越来越受到临床医师的重视。国内近期也开展了一些基础和临床的研究。但在临床操作上还未规范化,在一些问题上还存在争议。

在胸腰段脊柱进行椎体成形术时,由于经椎弓根灌注入路可以明显减少针道外漏的危险,因此已经取代后外侧途径而被广泛应用。但在选择经单侧还是双侧椎弓根入路灌注骨水泥的问题上意见不一。回顾国内外文献报道,在522例指明灌注路径的椎体成形术中,经双侧椎弓根入路为284例,占54.4%,经单侧椎弓根入路为220例,

占42.1%,经后外侧椎体入路则为18例,占3.5%。为了达到对称分布,许多学者选择经双侧椎弓根灌注椎体。但经双侧椎弓根灌注椎体增加了组织创伤、椎弓根骨折和神经损伤等并发症的发生机会,而且第一次注入的骨水泥会影响对第二次灌注的观察,增加了渗漏的可能。因而一些学者主张在经皮椎体成形术中通过单侧椎弓根灌注骨水泥即可,仅在透视中观察到骨水泥分布不满意再行双侧椎弓根入路^[3,4]。Kim等^[5]认为通过恰当的操作使针尖达到合适位置,经单侧椎弓根灌注同样可以获得满意的双侧分布,而且临床应用发现两者的止痛效果没有统计学差别。

在生物力学研究上,Liebschner等^[6]通过有限元模型研究单侧灌注PMMA认为可使椎体产生与双侧灌注相当的抗压强度,但会造成单侧承重而导致脊柱不稳定,在轴向压缩应力下脊柱有向未灌注侧弯曲倾向。这可能与骨水泥的不对称分布有关。但临床尚未发现由于承重不均而造成对侧骨折的情况。Tohmeh等^[7]认为单侧灌注PMMA在椎体刚度恢复上与双侧灌注近似,而抗压强度恢复虽然小于双侧,但仍然高于正常椎体的水平,从而认为两者在恢复椎体的机械效能方面效果近似。但这些研究仅局限于单个椎体的强度和刚度测试上,对于灌注后连续多节段椎体三维运动方向上的应力-应变情况改变没有进一步的阐述。而应用磷酸钙类骨水泥进行椎体成形术在这些方面的生物力学研究更为缺乏。

本实验通过带上椎间盘的脊柱运动节段进行椎体成形术后研究其三维运动方向上的生物力

学性能变化。结果表明,在 3ml ACPC 总灌注剂量和 500N 的非破坏性载荷下,标本前屈、后伸和左右侧屈时椎体应力-应变情况和轴向刚度较初始皆无显著性差异,经单侧和双侧椎弓根灌注之间也无明显差异。这说明成形术后在非破坏性载荷下两组椎体弹性模量同初始比较皆无明显变化,两种灌注方法都能较好恢复椎体的抗变形能力。扭转力学方面,椎体成形术后两组抵抗扭转变形的能力皆有所下降,这可能与灌注时椎弓根和关节突关节被破坏等有关。而双侧灌注时扭转刚度高于单侧,这可能与双侧灌注 ACPC 达到对称分布,断面上扭矩均匀有关。实验结果也表明,两种灌注方法都能显著提高椎体的最大抗压强度,在恢复椎体极限刚度上经双侧椎弓根灌注与经单侧椎弓根灌注骨水泥无显著性差异。

近来随着椎体成形技术在临床上的进一步应用,人们开始注意到其术后相邻椎体会出现继发性压缩骨折的现象。由此,一些学者开始研究椎体成形术对脊柱整体力学性能的影响。Berlmann 等^[8]通过离体实验表明,灌注 PMMA 椎体成形后可引起相邻椎体抗压生物力学性能下降。Baroud 等^[9]研究中也提示,PMMA 椎体成形后脊柱载荷传递发生异常。其邻近椎间盘压力增高,相邻椎体终板内凸加剧,应力增加,骨折危险度升高。本实验结果表明,经单侧或双侧椎弓根灌注 ACPC 椎体成形后在三维运动方向上中间椎体邻近椎间盘的应力没有明显变化,轴向刚度也无显著性下降,ACPC 椎体成形术对椎间盘的生物力学性能无明显影响,从而对相邻椎体的影响也会减小。这可能与 ACPC 弹性模量接近松质骨,应力遮挡和载荷传递异常效应甚微有关。因而椎体成形术中灌注 ACPC 有可能降低相邻椎体骨折的发生率。

总的看来,在离体生物力学研究方面,经单侧

椎弓根灌注和经双侧椎弓根灌注没有明显差异。由于经单侧椎弓根灌注操作简便,创伤更小,3ml 左右小剂量灌注减少了渗漏几率,因而临床上可能会得到更多的青睐。尽管如此,经单侧或双侧椎弓根灌注的效果应该在临床上进行比较,疼痛缓解程度和并发症发生率有待临床进一步研究。

4 参考文献

1. Galibert P, Deramond H, Rosat P, et al. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty[J]. Neurochirurgie, 1987, 33(2): 166-168.
2. Peters KR, Guiot BH, Martin PA, et al. Vertebroplasty for osteoporotic compression fractures: current practice and evolving techniques[J]. Neurosurg, 2002, 51(Suppl 5): S96-S103.
3. Kaufmann TJ, Wald JT, Kallmes DF. A technique to circumvent subcutaneous cement tracts during percutaneous vertebroplasty[J]. Am J Neuroradiol, 2004, 25(9): 1595-1596.
4. Lane JM, Johnson CE, Khan SN, et al. Minimally invasive options for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Orthop Clin North Am, 2002, 33(2): 431-438.
5. Kim AK, Jensen ME, Dion JE, et al. Unilateral transpedicular percutaneous vertebroplasty: initial experience [J]. Radiology, 2002, 222(3): 737-741.
6. Liebschner MA, Rosenberg WS, Keaveny TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty[J]. Spine, 2001, 26(14): 1547-1554.
7. 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.
8. Berlemann U, Ferguson SJ, Nolte LP, et al. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty: a biomechanical investigation [J]. J Bone Joint Surg (Br), 2002, 84(5): 748-752.
9. Baroud G, Nemes J, Heini P, et al. Load shift of the intervertebral disc after a vertebroplasty: a finite-element study [J]. Eur Spine J, 2003, 12(4): 421-426.

(收稿日期: 2004-11-08 修回日期: 2005-06-24)

(英文编审 蒋欣)

(本文编辑 卢庆霞)

消息

《中国脊柱脊髓杂志》编辑部征文与倡议

腰椎疾患是骨科常见病,是脊柱外科或相关论文评定的重要内容,采用正确的评估方法和实用的评定标准,对腰椎疾患的病情判断、治疗方法选择、治疗效果及预后评估有着重要意义。由于评定方法不统一,使治疗效果的横向比较产生困难,不利于学术交流。目前国内采用的多为“洋”标准,与 13 亿人口大国极不相称,且有的标准也比较陈旧,如常用的“JOA”标准,并不全面,也缺乏时代特点。故我们建议专家们参照过去国内外相关标准,结合我国实际情况,提出自己对评定标准的见解或新的标准(单一疾病的或腰椎疾患的),供同道们讨论。对大家认为较好的或满意的标准,编辑部将在一定时间组织全国有关专家进一步讨论认定后,供全国同道参照!