

经皮椎体成形术 / 椎体后凸成形术对邻近椎间盘退变的影响

张子方, 张昊聪, 宋凯, 于洋, 吴运昌, 王兆翰, 王征
解放军总医院 骨科, 北京 100853

摘要: 目的 探讨经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 和经皮椎体后凸成形术 (percutaneous kyphoplasty, PKP) 在术后早期对邻近椎间盘退变的可能影响及其程度。方法 选取 2010 年 6 月 - 2014 年 2 月我院脊柱外科连续收治的胸腰段骨质疏松性单椎体压缩骨折患者共 124 例, PVP 组 45 例、PKP 组 39 例为观察组, 并选取同时期保守治疗 40 例为对照组。比较术前、术后第 1 天、术后 12 个月、术后 24 个月的视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS), 患者术前、术后 12 个月、24 个月行 MRI 检查, 测量并记录伤椎上位间盘 (UD) 及下位间盘 (LD) 的 MRI 指数 (magnetic resonance imaging index, MRI I)。结果 术后第 1 天, VAS 评分 PVP 组 (2.97 ± 1.33)、PKP 组 (3.05 ± 1.45) 明显优于对照组 (7.67 ± 1.43) (P 均 < 0.05)。MRI I: 术后 12 个月时 PKP 组 UD ($8\ 503.23 \pm 963.87$) 较对照组 ($9\ 904.69 \pm 112.63$) 差 ($P < 0.05$); 术后 24 个月时 PKP 组 LD ($7\ 403.23 \pm 963.62$)、UD ($6\ 535.15 \pm 1\ 077.69$), PVP 组 LD ($8\ 988.55 \pm 1\ 069.59$)、UD ($7\ 885.31 \pm 978.97$) MRI I 均较对照组差 LD ($10\ 168.00 \pm 1\ 279.18$)、UD ($9\ 968.77 \pm 1\ 084.32$) (P 均 < 0.05)。结论 PVP 和 PKP 术在早期极可能加速伤椎相邻节段椎间盘退变、上位间盘尤为显著, 且 PKP 较 PVP 影响更显著。

关键词: 经皮椎体成形术; 经皮椎体后凸成形术; 椎间盘退变; 磁共振指数

中图分类号: R 683.2; R 687.42 文献标志码: A 文章编号: 2095-5227(2018)01-0016-05 DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2018.01.005

网络出版时间: 2017-12-05 16:39

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1117.R.20171205.1639.002.html>

Effect of percutaneous vertebroplasty/kyphoplasty on adjacent intervertebral disc degeneration

ZHANG Zifang, ZHANG Haocong, SONG Kai, YU Yang, WU Yunchang, WANG Zhaoan, WANG Zheng

Department of Orthopaedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: WANG Zheng. Email: wangzheng301@163.com

Abstract: Objective To investigate the incidence of disc degeneration adjacent to the vertebral body of osteoporotic fracture treated with percutaneous vertebroplasty (PVP) or percutaneous kyphoplasty (PKP), and whether adjacent disc degeneration was accelerated by the two procedures. **Methods** From June 2010 to February 2014, a total of 124 patients with osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF) were recruited in our study. They were divided into 3 groups, 45 patients were treated with PVP, 39 patients with PKP and 40 patients with conservative treatment (control group). VAS scores and MRI I were recorded respectively before and at 1 day, 12 months, 24 months after operation. **Results** At the first day after surgery, VAS scores of PVP group and PKP group were higher than that of control group [(2.97 ± 1.33) and (3.05 ± 1.45) vs (7.67 ± 1.43) , $P < 0.05$, respectively]. At 12 months after surgery, the MRI I of upper disc (UD) of fractural vertebral in PKP group was lower than that of control group [$(8\ 503.23 \pm 963.87)$ vs $(9\ 904.69 \pm 112.63)$, $P < 0.05$]. At 24 months after surgery, there were significant differences in MRI I in both the upper and the lower disc of the fractural vertebral between PKP group, PVP group and control group [LD ($7\ 403.23 \pm 963.62$) and $(8\ 988.55 \pm 1\ 069.59)$ vs $(10\ 168.00 \pm 1\ 279.18)$ and UD ($6\ 535.15 \pm 1\ 077.69$) and $(7\ 885.31 \pm 978.97)$ vs $(9\ 968.77 \pm 1\ 084.32)$, $P < 0.05$, respectively]. **Conclusion** PVP and PKP may accelerate the disc degeneration adjacent to the fractured vertebral body in the early stage, especially in the upper disc, and the effect of PKP is more remarkable.

Keywords: percutaneous vertebroplasty; percutaneous kyphoplasty; intervertebral disc degeneration; magnetic resonance imaging index

经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 和椎体后凸成形术 (percutaneous kyphoplasty, PKP) 是临床上公认的治疗骨质疏松性椎体压缩性骨折 (osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF) 的有确切疗效的术式^[1-3]。近 20 年来, PKP、PVP 治疗 OVCF 取得良好的临床疗效, 且该术式具有创伤小、并发症少等优点, 因此得以广泛推

广^[4-6]。PVP、PKP 通过注入骨水泥固定骨折椎体, 缓解疼痛症状、提高患者生活质量, 以达到治疗目的。伤椎注入骨水泥后椎体强度显著增加, 由此引起的相关并发症已被广泛认识, 然而对于伤椎终板及邻近椎间盘的生物学改变认识相对较少。椎间盘营养很大程度上来自于终板血管^[7-8]。因此, 对于椎间盘而言, 椎体终板的血管受损将加速椎间盘退变, 营养物质在退变椎间盘中扩散将极不均匀^[9]。迄今为止, 对 PKP、PVP 手术过程中未发生骨水泥渗漏患者相邻节段椎间盘变化的相关研究较少。本研究选取具有完整随访资料的 OVCF

收稿日期: 2017-09-14

作者简介: 张子方, 男, 在读硕士, 主治医师。研究方向: 脊柱外科。Email: zhangzifang2002@163.com

通信作者: 王征, 男, 博士, 主任医师, 硕士生导师, 副主任。Email: wangzheng301@163.com

病例，利用MRI指数 (magnetic resonance imaging index, MRI I) 评估PVP和PKP术后椎间盘变化，以分析PKP和PVP手术对邻近椎间盘退变的影响。

资料和方法

1 一般资料 选取2010年6月-2014年2月因剧烈腰背痛在我院脊柱外科行诊疗的胸腰段OVCF患者。入选标准：1) 年龄60~75岁；2) 椎体骨折位于T10-L2节段；3) 骨密度T ≤ -2.5(DAX法)^[10]；4) 影像学检查证实为胸腰椎单椎体骨折；5) X-ray检查提示为A1型骨折(AO分型)^[11]，椎体高度丢失不超过椎体高度的1/3，椎体后壁完整，MRI检查提示为新鲜性骨折，且无脊髓受压表现；6) 术前MRI检查证实伤椎邻近椎间盘以改良Pfarrmann等^[12]分级标准，均不低于4级；7) 术后配合随访，并有清晰可用的影像学资料；8) 术后无外伤病史；9) 术中、术后无肺栓塞、神经受损等并发症。排除标准：1) 多发椎体压缩性骨折或既往已行PKP或PVP治疗；2) PKP/PVP术中出现椎间隙骨水泥渗漏；3) 肿瘤等所致的病理性骨折；4) 随访资料不完整；5) 其他不适宜采用PKP或PVP治疗的病

理生理改变。治疗前征得患者及其家属同意，并签署知情同意书。手术组根据术中复位情况分为PVP组和PKP组，保守组为对照组。

2 手术方法 所有手术由同一组医师完成，“C”形臂透视、局部麻醉。患者俯卧位，肩及髂前上棘水平放置衬垫，悬空腹部法复位压缩椎体，复位后C形臂透视，伤椎高度 ≥ 80% 原椎体行PVP术，否则行PKP术。手术选用11G“T”形穿刺针，骨水泥选用聚甲基丙烯酸 (polymethylmethacrylate, PMMA)。PMMA注入量PVP组平均4.5 ml，PKP组平均4.8 ml。术毕回病房，平卧6 h，监测生命体征，6 h后佩戴支具下床室内活动。患者术后第1天复查胸腰段正侧位X线片，患者生命体征稳定，腰背痛症状明显缓解，复查X线片无异常，可于术后第2天带治疗骨质疏松症药物出院。

3 保守治疗方法 治疗包括绝对卧床休息4周，3个月内佩戴腰围间歇性下地活动锻炼、避免过度屈曲活动；口服或静脉注射镇痛药物缓解疼痛症状，口服维生素D和钙剂等抗骨质疏松药物改善骨质量，康复科医师指导患者功能锻炼及相关物理治疗等。

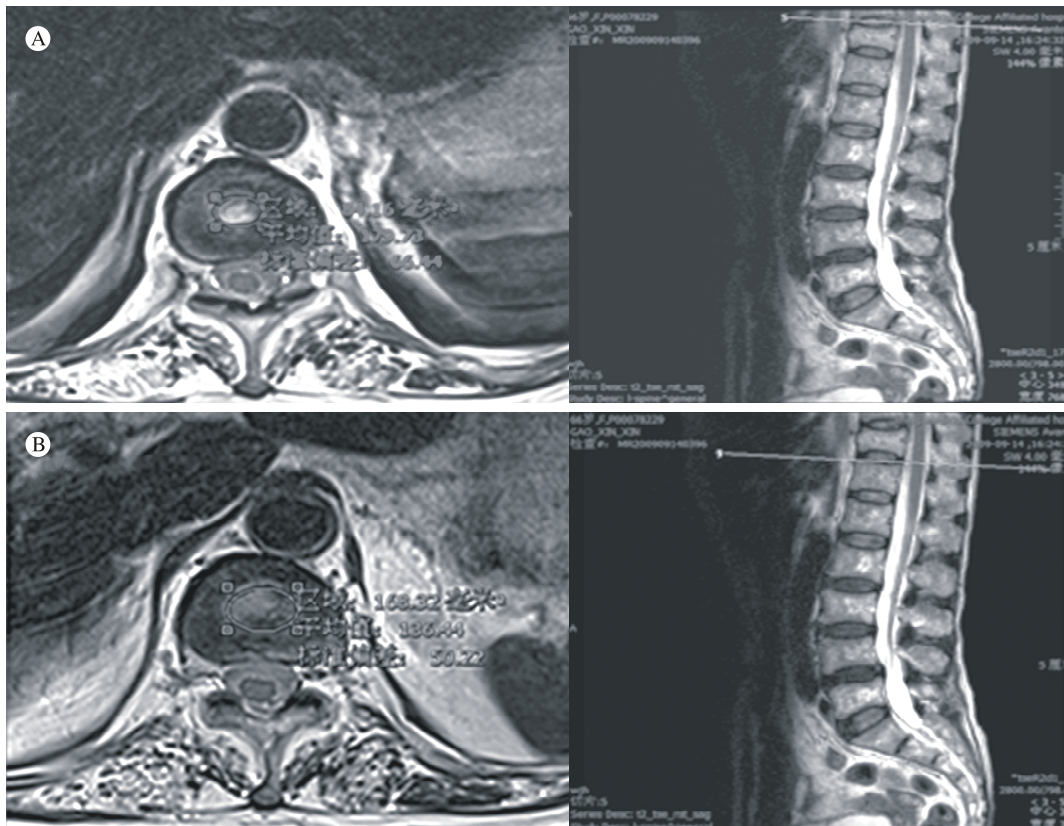


图1 患者伤椎上位、下位间盘MRI I测量示意图

A: 患椎上位间盘轴状位髓核面积; B: 患椎下位间盘轴状位髓核面积

Fig.1 MRI I of upper and lower disc of the fracture vertebra

A: Nucleus pulposus area of upper disc; B: Nucleus pulposus area of lower disc

表 1 三组患者一般情况

Tab. 1 Characteristics of patients in three groups

	Control (n=40)	PVP (n=45)	PKP (n=39)	χ^2/F	<i>P</i>
Sex (M : F)	10 : 30	12 : 33	9 : 30	50.96	0.187
Age (yrs)	67.20 ± 13.70	65.30 ± 9.80	63.40 ± 12.40	1.32	0.608
Bone density (<i>t</i> value)	-2.80 ± 0.63	-2.90 ± 0.75	-3.00 ± 0.58	1.30	0.562
Weight (kg)	63.20 ± 10.50	65.30 ± 11.20	66.20 ± 10.80	1.23	0.438

4 观察指标与测量方法 所有患者至少随访至出院后两年。患者就诊时行 X 线、CT、MRI 等检查, 在术后 1 d、3 个月、12 个月、24 个月时行腰椎 X 线检查, 术后 12 个月、24 个月行 MRI 检查。记录患者入院时、术后 1 d、12 个月、24 个月的腰椎 VAS 评分^[13]。所有数据均由两位骨科医师共同记录。MRI 检查: 行 T1、T2 矢状位及轴位的扫描, 矢状位层厚 4 mm, 间距 0.4 mm, 轴层厚 5 mm, 间距 2 mm。具体参数 T2/T/FSE/MMT/512, T2/S/FSE32/PSAT/512, TR 4 188.00ms, TE 112.00 ms, T1/S/FSE2/PSAT/512, TR 324.00 ms, TE 12.00 ms。利用本院 PACS 系统测量 MRI I, 参考 Sobajima 等^[14]提供的椎间盘 MRI I 计算方法, 选取轴状位上椎间盘最大横切面, 髓核面积乘以平均信号值 (图 1)。计算公式如下:

$$\text{MRI I} = \text{髓核面积} \times \text{平均信号值}$$

5 统计学分析 采用统计软件 SPSS19.0 分析数据, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 计数资料以率表示。三组间一般资料比较采用单因素方差分析及 χ^2 检验; 两实验组骨水泥用量比较采用两独立样本 *t* 检验; 三组间 VAS 评分、MRI I 比较采用重复测量方差分析 (两两比较采用 SNK-*q* 检验)。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结果

1 三组一般情况比较 保守组: 40 例 (女 30 例、男 10 例), 平均年龄 67.2 ± 13.7 岁 (65 ~ 74 岁)。

L1 椎体骨折 18 例 (45.0%)、T12 椎体骨折 9 例 (22.5%)、T11 椎体骨折 7 例 (17.5%)、L2 椎体骨折 6 例 (15.0%)。PVP 组 45 例 (男 12 例、女 33 例), 平均年龄 65.3 ± 9.8 岁 (60 ~ 75 岁)。PKP 组 39 例 (男 9 例、女 30 例), 平均年龄 63.4 ± 12.4 岁 (62 ~ 72 岁)。手术组 L1 椎体骨折 53 例 (63.1%)、T12 椎体骨折 19 例 (22.6%)、L2 椎体骨折 7 例 (8.3%)、T11 椎体骨折 5 例 (6.0%)。三组患者年龄、体质量、骨密度 (*t* 值) 等差异无统计学意义 (*P* 均 > 0.05), 见表 1。PKP 组和 PVP 组骨水泥注入量差异无统计学意义 [(4.5 ± 1.07) ml vs (4.8 ± 1.21) ml, *P* > 0.05]。

2 三组手术前后 VAS 评分比较 PVP、PKP 组优于保守组 (*P* 均 < 0.05); PKP 组与 PVP 组间无差异 (*P*=0.980); 说明手术治疗相比保守治疗能够迅速缓解患者疼痛、提高生活质量。但术后 12 个月、24 个月 VAS 评分, 三组间无差异。见表 2。

3 三组手术前后 MR 检查及 MRI I 比较 三组患者术前上位间盘 (UD)、下位间盘 (LD) MRI I 差异无统计学意义 (*P* > 0.05); 术后 12 个月三组间 LD 退

表 2 三组治疗前后 VAS 评分变化情况

Tab. 2 VAS scores of three groups before and after treatment

Time point	PVP	PKP	Control	<i>F</i>	<i>P</i>
Pre-treatment	8.03 ± 1.57	7.96 ± 1.56	7.87 ± 1.45	6.316	0.398
1st day	2.97 ± 1.33 ^{ab}	3.05 ± 1.45 ^{ab}	7.67 ± 1.43	1.913	0.002
12 months	3.75 ± 1.34 ^b	3.15 ± 1.23 ^b	3.07 ± 1.21 ^b	5.882	0.376
24 months	3.96 ± 1.52 ^b	3.27 ± 1.34 ^b	3.35 ± 1.78 ^b	5.781	0.361

^a*P* < 0.05, vs control group; ^b*P* < 0.05, vs pre-treatment

表 3 各组 MRI 指数比较

Tab. 3 Comparison of MRI I between three groups (mm² × GY)

Level	PVP	PKP	Control	<i>F</i>	<i>P</i>
LD					
Pre-treatment	11 188.55 ± 1 059.55	11 303.23 ± 943.87	11 026.60 ± 1 308.17	6.129	0.382
12th month	10 128.55 ± 1 139.62	10 503.23 ± 955.85	10 104.60 ± 1 312.25	4.937	0.075
24th month	8 988.55 ± 1 069.59 ^{abc}	7 403.23 ± 963.62 ^{ac}	10 168.60 ± 1 279.18	2.513	0.008
UD					
Pre-treatment	11 083.46 ± 1 032.46	11 214.36 ± 741.79	1 0917.45 ± 1 215.73	5.488	0.187
12th month	9 188.55 ± 1 069.59 ^b	8 503.23 ± 963.7 ^{ac}	9 904.69 ± 1 112.63	4.548	0.031
24th month	7 885.31 ± 978.97 ^{abc}	6 535.15 ± 1 077.69 ^{acd}	9 968.77 ± 1 084.32	1.997	0.003

LD: lower disc; UD: upper disc; ^a*P* < 0.05, vs control group; ^b*P* < 0.05, vs PKP group; ^c*P* < 0.05, vs pre treatment; ^d*P* < 0.05, vs 12th month

变差异无统计学意义 ($P > 0.05$), PKP 组 UD 水平与对照组及 PVP 组均有差异 (P 均 < 0.05); 术后 24 个月时 UD 及 LD 退变差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05), 说明随着时间延长三组患者相邻节段间盘均加速退变, 且退变程度有差异, 由 PVP 组、PKP 组依次增加, 且 PKP 组患者 UD 退变更早、更显著。见表 3。

讨 论

本研究证实 PKP、PVP 可以有效缓解 OVCF 患者疼痛症状, 术后不同时间点患者疼痛评分均较术前明显下降, PKP、PVP 组患者疼痛评分确实优于对照组, 显著提高了患者生活质量。PKP、PVP 也具有创伤小等优点, 这与既往研究结果相符^[1-3]。但 PKP、PVP 毕竟是有创操作, 且骨水泥的注入也将带来相关并发症^[15]。骨水泥注入后改变椎体形态和强度, 势必将改变脊柱生物力学, 终将造成远期相关并发症^[16]。邻近节段椎间盘退变就是常见并发症之一。椎间盘的退变受多种因素影响, 如自然老化、遗传和基因因素、累积性损伤、机械性压迫或不稳定等^[17-19]。磁共振是目前公认评价椎间盘的有效工具之一, 椎间盘退变显著标志是含水量的减少, 因此椎间盘 MRI 指数可以灵敏地反映椎间盘退变^[20]。

本研究通过分析骨折椎体邻近节段间盘的 MRI I 结果, 发现 PKP、PVP 确实在术后早期阶段加速了邻近节段椎间盘退变, 这可能和注入的 PMMA 有关, PMMA 是由甲基丙烯酸聚合体和甲基丙烯酸单体组合而成, 后者具有一定细胞毒性^[21], 且发生聚合反应时产生大量热, 严重破坏了椎体内血液供应。由于椎间盘营养物质来源于椎体内血管^[9-10,19], 因此椎体血供的破坏将加速椎间盘退变。本研究还发现 PKP 组邻近节段间盘退变较 PVP 组更为显著, 邻近节段的上位间盘退变较下位间盘更为显著。这可能与生物力学改变相关, 研究发现生物力学因素通过对椎间盘的营养供应、基质代谢等多个方面产生影响, 从而导致椎间盘的退变^[22-24]。PVP 和 PKP 都是通过向伤椎内注入骨水泥、增强伤椎的强度以达到治疗目的, 充填物的灌注改变了椎体内部自然的生物力学结构, 使得伤椎上下软骨终板应力分布不同, 从而破坏了椎体“蛋壳样”效应, 特别是 PKP 组高压力的球囊对椎体内的应力分布改变更为显著, 应力过于集中, 从而加速了椎间盘的退变^[25-27]。学

者们进一步研究发现 PVP、PKP 术后伤椎上位间盘压力增加明显高于下位间盘^[26-27], 这与本研究结果上位间盘退变程度高于下位间盘一致。

本研究尚存在一定缺陷。首先, 选取研究对象为一定时期内来我院就诊的患者, 且为非随机性选取存在一定偏倚。数据测量方面, 尽管由两位经验丰富的骨科医师共同测量, 但由于末次随访时椎间盘尤其是 PKP 组上位椎间盘退变较明显, 所以测量 MRI 指数时只能大概测量髓核面积而达不到精确。最后本研究仅从影像学上进行了描述, 未能阐述手术对间盘影响的具体机制。

综上, 根据本实验结果, 经皮椎体成形术及椎体后凸成形术极有可能加速了邻近椎间盘的退变, 且后者较前者更显著, 对上位间盘影响更为显著。具体是骨水泥作用于其他因素间接引起椎间盘的退变, 还是骨水泥本身直接导致椎间盘退变有待进一步探讨。

参考文献

- 1 Klazen CA, Lohle PN, de Vries J, et al. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II): an open-label randomised trial [J]. *Lancet*, 2010, 376 (9746): 1085-1092.
- 2 Papanastassiou ID, Phillips FM, Van Meirhaeghe J, et al. Comparing effects of kyphoplasty, vertebroplasty, and non-surgical management in a systematic review of randomized and non-randomized controlled studies [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21 (9): 1826-1843.
- 3 孟飞, 曾文魁, 王榆思, 等. PKP 与 PVP 治疗骨质疏松性腰椎压缩骨折的比较分析 [J]. *军医进修学院学报*, 2012, 33 (1): 56-58.
- 4 Tan HY, Wang LM, Zhao L, et al. A prospective study of percutaneous vertebroplasty for chronic painful osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Pain Res Manag*, 2015, 20 (1): e8-e11.
- 5 Stevenson M, Gomersall T, Lloyd Jones M, et al. Percutaneous vertebroplasty and percutaneous balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral fractures: a systematic review and cost-effectiveness analysis [J]. *Health Technol Assess*, 2014, 18 (17): 1-290.
- 6 杨晓清, 张少甫, 胡凡奇, 等. 椎体成形术治疗骨质疏松椎体压缩性骨折现状 [J]. *解放军医学院学报*, 2017, 38 (6): 578-580.
- 7 Arpinar VE, Rand SD, Klein AP, et al. Changes in perfusion and diffusion in the endplate regions of degenerating intervertebral discs: a DCE-MRI study [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24 (11): 2458-2467.
- 8 Muftuler LT, Jarman JP, Yu HJ, et al. Association between intervertebral disc degeneration and endplate perfusion studied by DCE-MRI [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24 (4): 679-685.
- 9 Rajasekaran S, Babu JN, Arun R, et al. ISSLS prize winner: A study of diffusion in human lumbar discs: a serial magnetic resonance imaging study documenting the influence of the endplate on diffusion in normal and degenerate discs [J]. *Spine*, 2004, 29 (23): 2654-2667.
- 10 Neuner J, Carnahan J. Dual X-ray absorptiometry for diagnosis of osteoporosis [J]. *JAMA*, 2014, 312 (11): 1147-1148.

- 11 Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system : fracture description, neurological status, and key modifiers [J] . Spine, 2013, 38 (23) : 2028–2037.
- 12 Griffith JF, Wang YX, Antonio GE, et al. Modified Pfirrmann grading system for lumbar intervertebral disc degeneration [J] . Spine, 2007, 32 (24) : E708–E712.
- 13 Huskisson EC. Measurement of pain [J] . Lancet, 1974, 2 (7889) : 1127–1131.
- 14 Sobajima S, Kompel JF, Kim JS, et al. A slowly progressive and reproducible animal model of intervertebral disc degeneration characterized by MRI, X-ray, and histology [J] . Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30 (1) : 15–24.
- 15 苏祥正, 毛克亚, 刘郑生, 等. 椎体成形术后骨水泥渗漏分析 [J] . 解放军医学院学报, 2014, 35 (10) : 987–989.
- 16 彭晋升, 邹德威, 周建伟. 骨质疏松性椎体压缩骨折骨水泥强化术后再骨折研究进展 [J] . 解放军医学院学报, 2013, 34 (5) : 531–535.
- 17 Salvatierra JC, Yuan TY, Fernando H, et al. Difference in Energy Metabolism of Annulus Fibrosus and Nucleus Pulposus Cells of the Intervertebral Disc [J] . Cell Mol Bioeng, 2011, 4 (2) : 302–310.
- 18 Jiang L, Yuan F, Yin X, et al. Responses and adaptations of intervertebral disc cells to microenvironmental stress : a possible central role of autophagy in the adaptive mechanism [J] . Connect Tissue Res, 2014, 55 (5–6) : 311–321.
- 19 Zhu Q, Gao X, Levene HB, et al. Influences of Nutrition Supply and Pathways on the Degenerative Patterns in Human Intervertebral Disc [J] . Spine, 2016, 41 (7) : 568–576.
- 20 Fan SW, Zhou ZJ, Hu ZJ, et al. Quantitative MRI analysis of the surface area, signal intensity and MRI index of the central bright area for the evaluation of early adjacent disc degeneration after lumbar fusion [J] . Eur Spine J, 2012, 21 (9) : 1709–1715.
- 21 Dahl OE, Garvik LJ, Lyberg T. Toxic effects of methylmethacrylate monomer on leukocytes and endothelial cells in vitro [J] . Acta Orthop Scand, 1994, 65 (2) : 147–153.
- 22 Growney Kalaf EA, Sell SA, Bledsoe JG. Developing a mechanical and chemical model of degeneration in young bovine lumbar intervertebral disks and reversing loss in mechanical function [J] . J Spinal Disord Tech, 2014, 27 (5) : E168–E175.
- 23 Paul CP, Schoorl T, Zuiderbaan HA, et al. Dynamic and static overloading induce early degenerative processes in caprine lumbar intervertebral discs [J] . PLoS ONE, 2013, 8 (4) : e62411.
- 24 Kang R, Li H, Ringgaard S, et al. Interference in the endplate nutritional pathway causes intervertebral disc degeneration in an immature porcine model [J] . Int Orthop, 2014, 38 (5) : 1011–1017.
- 25 Kim JM, Shin DA, Byun DH, et al. Effect of bone cement volume and stiffness on occurrences of adjacent vertebral fractures after vertebroplasty [J] . J Korean Neurosurg Soc, 2012, 52 (5) : 435–440.
- 26 Nagaraja S, Awada HK, Dreher ML, et al. Effects of vertebroplasty on endplate subsidence in elderly female spines [J] . J Neurosurg Spine, 2015, 22 (3) : 273–282.
- 27 Nagaraja S, Awada HK, Dreher ML, et al. Vertebroplasty increases compression of adjacent IVDs and vertebrae in osteoporotic spines [J] . Spine J, 2013, 13 (12) : 1872–1880.