

骨 科 学

DOI: 10.13406/j.cnki.cyxh.000259

明胶海绵预注射在椎体成形术中预防骨水泥渗漏的体外研究

徐林飞, 胡侦明, 江 维, 沈皆亮, 王智方
(重庆医科大学附属第一医院骨科, 重庆 400016)

【摘要】目的:以离体椎体标本为对象,研究明胶海绵预注射在椎体成形术中预防骨水泥渗漏的效果。**方法:**选用老年女性尸体胸腰椎标本制成压缩骨折模型,随机分为单纯骨水泥组(A组)、明胶海绵预注射+单纯骨水泥(B组)。在 19℃时测定 2 组骨水泥动态粘度后,在离体标本上模拟经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP),骨水泥调和后取第 3、6、9、12 min 4 个时间点分别匀速缓慢推注 5 ml 骨水泥,分别测量每组骨水泥的渗漏率和渗漏量。**结果:**单纯骨水泥粘度随时间延长而增高,且加入明胶海绵对粘度有较大影响,B 组骨水泥的粘度均要比 A 组高,差异具有统计学意义($P=0.000$)。骨水泥调和后第 9 min 是较为适宜的灌注时间点,B 组的渗漏量明显小于 A 组($P=0.035$)。**结论:**传统低粘度骨水泥结合明胶海绵预注射的方法,可明显减少骨水泥渗漏率和渗漏量,较为经济,便于操作,具有良好的临床推广前景。

【关键词】明胶海绵;椎体成形术;骨水泥渗漏

【中图分类号】R683.2

【文献标志码】A

【收稿日期】2013-11-05

In vitro study on prevention of bone cement leakage with gelatin sponge pre-injection during percutaneous vertebroplasty operation

Xu Linfei, Hu Zhenming, Jiang Wei, Shen Jieliang, Wang Zhifang

(Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University)

【Abstract】Objective: To evaluate the prevention of bone cement leakage with gelatin sponge pre-injection during percutaneous vertebroplasty (PVP) operation. **Methods:** The thoracolumbar samples from elderly female corpse were selected to make compression fracture models. The models were randomized into low viscosity bone cement group (group A) and gelatin sponge pre-injection plus low viscosity bone cement group (group B). The bone cement dynamic viscosity under the temperature of 19℃ in both groups was estimated. Bone cement leakage rate and leakage quantity of each group were detected by using imitated percutaneous vertebroplasty (PVP) method and by separately injecting 5 ml bone cement at constantly slow speed at points of 3, 6, 9, 12 min after the bone cement reconciliation. **Results:** The viscosity of low viscosity bone cement increased with the time while adding gelatin sponge exerted great impact on the viscosity. The viscosity of

作者介绍: 徐林飞, Email: franklin spine@163.com,

研究方向: 脊椎退行性疾病基础研究。

通信作者: 胡侦明, Email: spinecenter@163.com。

优先出版: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20150209.1109.009.html>
(2014-04-28)

度和炎性细胞因子的影响及相关性研究[J]. 中国康复理论与实践, 2011, 17(7): 547-553.

[7] 田俊各, 靳洪涛. 独活寄生合剂对佐剂性关节炎大鼠 IL-1、IL-10、TNF- α 的影响[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2008.

[8] 张 新, 吕晓丹, 漆 明, 等. Egr-1 与 TNF- α 在口腔扁平苔藓病损中表达的研究[J]. 重庆医科大学学报, 2012, 37(1): 63-65.

[9] 陈柏松, 徐玉东, 钟淑琦, 等. 大鼠佐剂性关节炎模型的建立与评价[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2005, 39(6): 489-491.

[10] 夏丽萍, 方 芳, 鲁 静, 等. 肿瘤坏死因子样凋亡的微弱诱导剂在类风湿关节炎成纤维样滑膜细胞的表达[J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2010, 26(6): 575-577.

[11] Whalen JD, Lechman EL, Carlos CA, et al. Adenoviral transfer of the IL-10 gene periarticularly to mouse paws suppresses development of collagen-induced arthritis in both injected and uninjected paws[J]. J Immunol, 1999, 162(6): 3625-3632.

[12] 吴元俊, 陈荣华, 陈吉庆, 等. IL-10 抑制人肾系膜细胞环氧化酶-2 及其介导的前列腺素 E2 的释放[J]. 免疫学杂志, 2001, 17(6): 421-424.

[13] 罗 莉, 罗德梅, 刘盼盼, 等. 调节性 T 细胞和转化生长因子 β 与初发类风湿性关节炎相关性研究[J]. 中国实用诊断与治疗, 2011, 25(7): 680-683.

[14] 刘兴祥. 大黄的临床药理作用及其临床应用[J]. 中国中西医结合杂志, 1992, 12(9): 571-573.

[15] 刘国敏, 郭素华, 程维明. 栀子的药理作用及其机制研究新进展[J]. 海峡药学, 2008, 20(11): 8-10.

[16] 陈 梦, 赵丕文, 孙艳玲, 等. 红花及其主要成分的药理作用研究进展[J]. 环球中医药, 2012, 5(7): 556-560.

[17] 伍百贺, 詹 俊, 陈美竹, 等. COX-2 在对乙酰氨基酚致大鼠药物性肝损伤中的作用[J]. 中国肝脏病杂志, 2011, 3(4): 5-8.

(责任编辑: 冉明会)

bone cement viscosity in group B was higher than that of group A, with statistical significant differences ($P=0.000$). The appropriate time point for adding gelatin sponge was 9 min after cement mixing. The leakage quantity of group B was significantly fewer than that of group A ($P=0.035$). **Conclusion:** The traditional method of combining low viscosity bone cement with gelatin sponge pre-injection can obviously decrease percolation rate and percolation quantity of the bone cement. This method is more economical, easier to operate and has a good prospect of clinical promotion.

【Key words】gelatin sponge; percutaneous vertebroplasty; bone cement leakage

骨质疏松症 (osteoporosis, OP) 是一种全身性疾病, 在全球范围内都将其视为最为严峻的健康挑战之一^[1-2], 其最严重的并发症为骨质疏松性骨折 (osteoporotic fracture, OF), 即在受到轻微创伤或日常活动中即可发生骨折。有研究报道骨质疏松性髋部骨折后 1 年内, 死于各种合并症者达 20%, 而存活者中 50% 致残, 生活不能自理, 生命质量明显下降。而仅在 1995 年美国花费在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折 (osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF) 上的医疗费用就高达 7.46 亿美元^[3]。

OF 的常见部位是脊柱、髋部和前臂远端。在美国每年报道的 150 万例新发骨折中, 将近一半是椎体骨折 (70 万例), 数量超过了髋部骨折和踝部骨折的总和^[4]。OVCF 可能会导致骨折部位的疼痛, 椎体塌陷, 脊柱不稳和因椎体高度丢失造成的后凸畸形。传统治疗方案包括药物、支具或卧床休息等保守治疗。但疗效并不确切, 往往会导致慢性腰背部疼痛和后凸畸形, 进而降低生活质量, 其最终结果是其并发症的发病率显著增加^[5]。此外, 为缓解慢性疼痛, 卧床休息往往成为患者的唯一选择, 然而这一治疗手段可能会导致进一步的恶性循环, 即活动量减少, 增加骨量丢失, 进而增加椎体骨折的再发风险。经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 是本世纪兴起的微创脊柱外科的常用技术, 被广泛应用于 OP、侵袭性血管瘤、骨转移瘤等引起的椎体骨质破坏和椎体骨折的治疗。具有手术创伤小、时间短、缓解疼痛迅速等优点^[6], 为饱受 OVCF 困扰的患者带了新的希望。

尽管存在着一些争议^[7-8], 但 PVP 作为治疗 OVCF 和其他病理性椎体骨折的有效方法正在被越来越多的临床医生所采用^[9-10]。骨水泥渗漏是 PVP 术式最常见的并发症, 多数情况下骨水泥渗漏不会出现临床症状, 因而临床医生对其缺乏足够的重视。但既往文献回顾显示 PVP 引起的严重手术并发症如瘫痪、肺栓塞、心脏穿孔等却主要由骨水泥渗漏引起^[11-13]。因此本项研究拟采用明胶海绵预注射, 在离体的压缩骨折椎体上模拟 PVP 术式, 探索降低骨

水泥渗漏率的有效手段, 为进一步提高治疗 OVCF 的临床安全性打下坚实的基础。

1 材料和方法

1.1 材料

重庆医科大学解剖教研室提供的老年女性尸体的胸腰椎标本 10 具 (90 椎, $T_8 \sim L_4$), 平均年龄 71 岁, 平均存储时间 8 个月, 所有标本均经大体及放射学检查排除先天畸形、骨折、肿瘤以及结核等疾病, 并采用双能 X 线吸收仪进行骨密度检查以确定骨质疏松患者, 去除不符合标准的椎体。

明胶海绵 (南京金陵, 中国), MTS858 材料试验机, NDJ-8S 数码粘度仪, 流体灌注压测定系统 (重庆大学), 普通低粘度骨水泥 (昆明笃美, 中国), 椎体成形成套器械 (山东冠龙, 中国), C 型臂 X 光机 (Ziehm, 德国)。

1.2 方法

1.2.1 OVCF 模型制作 大致剔除椎体周围软组织, 再分别置于梯度浓度 NaOH 溶液中反复皂化, 将周围的软组织剔除干净。将椎间关节离断, 切除椎间盘, 游离制成完整单椎体标本。

用游标卡尺测量各个椎体的前、中和后柱高度, 计算各个椎体的体积。然后固定在用牙托粉自制的夹具中置于 MTS858 材料试验机, 先预载 50 N 压力, 作用时间 2 min, 消除标本松弛、蠕变影响, 然后以 5 mm/min 的速度通过椎体前柱沿椎体轴向加压, 压缩的距离为椎体高度的 1/2, 制成压缩骨折模型。

1.2.2 实验分组 体积相近的椎体一一配对, 随机分为 2 组: 单纯骨水泥组 (A 组)、明胶海绵预注射+单纯骨水泥组 (B 组)。在 19 °C 环境温度下, 骨水泥调和后取第 3、6、9、12 min 4 个时间点分别匀速缓慢推注 5 ml 骨水泥。剔除排除标准及制模过程中损耗的椎体, 每组每个骨水泥注射时间点 10 个椎体, 每组 40 个椎体, 共 80 个椎体。

1.2.3 骨水泥粘度测定 在室温 19 °C (一般手术室能达到的最低温度), 利用 NDJ-8S 数码粘度仪 (1~2 000 PaS) 测定骨水泥调和后 15 min 内 A、B 2 组骨水泥的动态粘度, 每隔 1 min 测试 1 次, 重复测量 5 次。

1.2.4 手术方法 将椎体置于自制的固定架上, 用 C 臂机行透视定位, 将穿刺针针尖置于正位透视下椎弓根影的外上缘 (左侧 10 点钟、右侧 2 点钟位置), 选择合适的进针角度轻敲针柄: 当针尖进至椎弓根影的中线处, 在侧位像上针尖应位

于椎弓根 1/2 位置,则说明进针角度正确。继续进针当针尖位于椎弓根影的内缘处,在侧位像上应位于椎体后壁,则说明进针方向合理。再进入椎体 2~3 mm 后拔出穿刺针内芯,置入导针固定后拔出穿刺针套管,再将扩张套管、工作套管依次沿导针置入椎体内,深度超过椎体后缘 2~3 mm。取出扩张套管和导针,将精细钻沿工作套管顺时针旋转缓缓钻入椎体后同向旋转取出。沿工作通道向椎体内注入欧乃派克在 C 臂下观察造影剂的渗漏情况,以此判断有可能发生骨水泥渗漏的椎体裂隙。

1.2.5 骨水泥注射方法 将骨水泥按照不同分组调制完成后,由 5 ml 空针直接注入至骨水泥推杆中,将推杆放入特制的注射支架,利用流体灌注压测定系统来完成骨水泥推注。其中 B 组还需额外完成明胶海绵预注射过程。将无菌的明胶海绵制成 1 mm × 1 mm × 1 mm 颗粒,放入 1 个空针注射器中,连接于三通管的一端;三通管的另一端链接 1 个含有欧乃派克造影剂的注射器;余下的一端暂时封闭。随后将明胶海绵颗粒与造影剂充分混合,制成明胶海绵悬液。将该悬液通过工作通道注入椎体内,利用 C 臂 X 线机观测混有造影剂的明胶海绵在椎体内的分布情况,直至明胶海绵在椎体内形成团块状停止注入,随后注射不同时相混合的骨水泥,观测骨水泥渗漏情况。

1.2.6 骨水泥渗漏检测指标 A、B 2 组各个时间点灌注固定量骨水泥后,分别统计每组发生骨水泥渗漏椎体占总数的比例(渗漏率)和渗漏骨水泥的体积。

1.3 统计学方法

采用 Excel 2003 录入数据,SPSS 17.0 软件包分析数据。计量资料结果以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,骨水泥粘度为重复测量数据,采用重复测量方差分析,若 Mauchly 球形检验结果 $P < 0.05$ 则对自由度进行 Greenhouse-Geisser Epsilon 校正;渗漏率为计数资料,结果以率(%)表示,采用 Fisher 精确概率检验比较组间差异;渗漏量为两因素析因设计,采用多因素方差分析。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 骨水泥的动态粘度测定

本次实验记录了在 19 ℃ 环境下从骨水泥开始调制到混合后 15 min 内的动态粘度(表 1、图 1)。单纯骨水泥粘度随着时间延长粘度不断增加,且在第 9 min 出现一个剧变期,粘度开始剧烈增加,直至 13 min 超出可测量范围。选取第 3、6、9、12 min 骨水泥粘度行两因素多水平重复测量方差分析,结果所示:不同处理因素组间差异有统计学意义($F = 7.81, P = 0.023$),不同时间点骨水泥粘度水平有差异($F = 18\ 593.7, P = 0.000$),且处理因素与时间点间存在交互作用($F = 266.41, P = 0.000$)。

2.2 不同时间点灌注骨水泥渗漏率比较

在环境温度 19 ℃ 下,骨水泥混合调制后第 3 min 作为开始灌注时间,A 组骨水泥渗漏率为 100%,B 组为 80%,比较发现 2 组渗漏率无明显差异;当第 6 min 开始灌注时,A、B

2 组骨水泥渗漏率分别 90%、30%,A 组的渗漏率明显高于 B 组,差异具有统计学意义($P = 0.020$);当第 9 min 开始灌注时,A、B 2 组骨水泥渗漏率分别 40%、20%,A、B 2 组的渗漏率无明显统计学差异;当第 12 min 开始灌注时,在灌注骨水泥后期因骨水泥粘度过高,变得不可推注,A、B 2 组骨水泥渗漏率各为 10%,2 组渗漏率比较并无明显统计学差异;第 15 min 各组骨水泥粘度过高不可注射(表 2、图 2)。

表 1 19 ℃ 下不同时间不同组骨水泥粘度 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Bone cement viscosity of different groups at different time points under the temperature of 19 ℃ ($\bar{x} \pm s$)

时间(min)	3	6	9	12
A组	2.98 ± 0.65	9.06 ± 0.83	84.34 ± 2.98	1 285.00 ± 22.10
B组	3.39 ± 0.11	19.36 ± 0.34	233.60 ± 29.70	1 526.00 ± 33.90

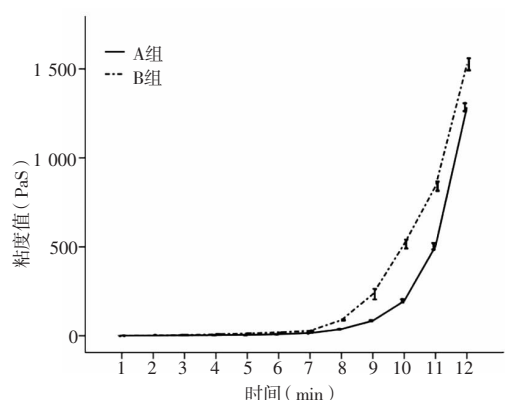


图 1 19 ℃ 下不同时间不同组骨水泥粘度曲线

Fig.1 Time-viscosity curve of different groups under the temperature of

表 2 不同时间骨水泥渗漏率比较 (%)

Tab.2 Comparison of bone cement leakage rate among different time points (%)

时间 (min)	3	6	9	12
A组	100	90	40	10
B组	80	30	20	10
P 值	0.474	0.020	0.628	1.000

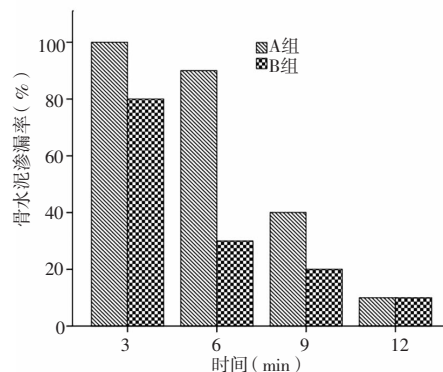


图 2 不同灌注时间点骨水泥渗透率比较

Fig.2 Comparison of bone cement leakage rate among different time points

2.3 不同时间点灌注骨水泥渗漏量比较

在 19 ℃ 环境温度下, 骨水泥混合调制后第 3、6、9、12 min 作为开始灌注时间, 2 组椎体平均渗漏骨水泥体积如表 3 所示。析因设计方差分析显示不同灌注时间渗漏量有统计学差异 ($F=125.109, P=0.000$), A、B 2 组间差异有统计学意义 ($F=9.704, P=0.035$), 开始灌注的时间与组别间无交互作用 ($F=1.509, P=0.232$)。见表 3, 图 3、4。

表 3 不同时间骨水泥渗漏量比较 (ml)

Tab.3 Comparison of bone cement leakage volume among different time points (ml)

组别	3 min	6 min	9 min	12 min
A组	4.11 ± 0.41	3.51 ± 0.23	1.87 ± 0.17	1.13
B组	3.87 ± 0.21	2.81 ± 0.45	1.22 ± 0.24	0.96

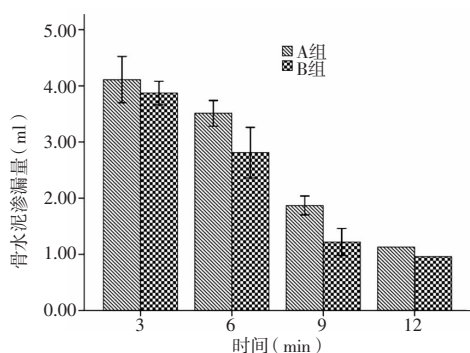


图 3 不同灌注时间点骨水泥渗透量比较

Fig.3 Comparison of bone cement leakage volume among different time points

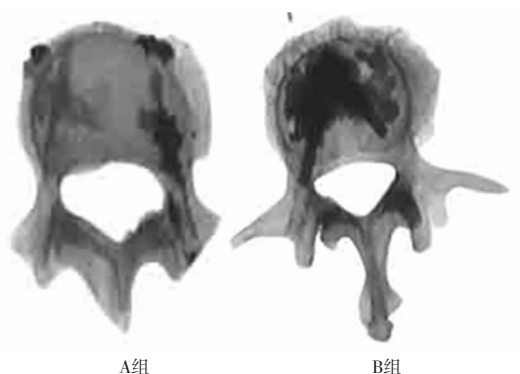


图 4 19℃骨水泥调和 9 min 后 A、B 2 组骨水泥灌注情况

Fig.4 Cement distribution in the vertebral body of A and B groups at 9 min after mixing under the temperature of 19 ℃

3 讨论

骨水泥渗漏是 PVP 术式常见并发症之一, 但文献报道的渗漏发生率却存在较大差异。Hulme 等^[9]系统回顾了 69 项 PVP 和 PKP 的临床研究后指出,

PVP 的渗漏率为 41% (27 项研究包含 2283 个椎体, 95% 可信区间为 32%~50%)。而 Eck 等^[14]对 168 项临床研究的 Meta 分析后发现 PVP 的骨水泥渗漏率只有 17.9%, 其中有症状的渗漏率仅为 1.6%。然而随着 CT 检测的普及, 有学者指出先前的临床报道骨水泥的渗漏率可能被低估^[15-16]。

大量研究证实骨水泥的渗漏与其粘度密切相关。Bohner 等^[17]根据 Hagen-Poiseuille 和 Darcy 定律从体外实验证明了增加骨水泥的粘稠度是降低骨水泥渗漏率的最佳方式。而 Baroud 等^[18]通过构建的体外模型得出了相似的结论, 即高粘度骨水泥可降低渗漏。本项研究中发现单纯骨水泥随着时间延长不断增加, 在 19 ℃ 环境下, 第 8 min 后会出现一个粘度增高的剧变期, 直至 13 min 超过可测量的范围。由此可见单纯骨水泥在较低的室温下, 适宜注射的时程也并非很长, 在临床实践中要求医生对 PVP 操作有较高的熟练度。而高粘度的骨水泥不存在传统骨水泥混合过程中的液态期, 具有瞬间高粘度、可注射时间长等优点, 可以为临床医生提供较为充分的操作时间。但高粘度骨水泥相对高昂的价格限制了其在临床上的规模应用。较多因素可以影响骨水泥粘度的变化, 包括聚合颗粒的大小, 骨水泥的液粉比例、存储条件及温度等^[19-21]。Meng 等^[22]通过体外生物力学实验指出不同直径颗粒和质量的明胶海绵均能显著增加骨水泥的粘度。本次实验亦发现低粘度骨水泥加入明胶海绵后对其粘度具有显著影响, 其可能的原因骨水泥的粘度是根据骨水泥流动时内部分子之间的摩擦力所得, 摩擦力越大, 流动性越小, 粘度相应增加。明胶海绵为固态, 可在一定程度上阻碍骨水泥流动, 因此骨水泥加入明胶海绵时粘度可增大。第 5 min 后骨水泥粘度较单纯低粘度骨水泥组明显增高。这为模拟高粘度骨水泥预防其渗漏提供了可能。

临床上通常将骨水泥随时间发生的形态变化分为 4 期: 液态期、拉丝期、团状期和硬化期。若注射时间过早, 则骨水泥处于液态期, 粘度较低, 因此流动性较大容易发生渗漏; 而若注射时间太晚, 骨水泥处于团状晚期或硬化期, 则应粘度太高, 注射困难且无法在椎体中有较好的弥散分布。本研究发现, 在 19 ℃ 环境下, 单纯低粘度骨水泥调和后随起始注射时间的延长平均骨水泥渗漏率逐渐降低, 平均骨水泥渗漏体积逐渐减少, 在 9 min 时骨水泥渗

漏量显著减少,而在 12 min 后因为骨水泥粘度过高变得不可注射,所以渗漏量随之减少。因此骨水泥混合后 9 min 时开始注射为较为理想的灌注时间点。同时,在第 9 min 灌注点,明胶海绵预注射组骨水泥的渗漏量进一步减少,这提示明胶海绵有效能够有效地预防传统骨水泥的渗漏。

明胶海绵是一种通透性好、柔软、易被组织吸收,具有良好生物相容性和可降解性,已被广泛用于外科止血、栓塞等治疗。明胶海绵预注射能有效预防骨水泥渗漏其可能存在的机制一则是明胶海绵通过增高低粘度骨水泥的粘度,降低了其在椎体内的流动性;再者,明胶海绵预先填充了可能存在的椎体壁破损,直接降低了其渗漏的发生率。杨益民等^[23]通过选择应用陶瓷人工骨在椎体后凸成形术中的应用,指出其预先填补椎体壁的裂隙可以有效预防骨水泥的渗漏。

综上所述,传统低粘度骨水泥可以通过明胶海绵预注射的方式有效降低骨水泥的渗漏率和渗漏量,其具有价格较为低廉,便于操作等优点,在临床实践中有较好的推广前景。

参 考 文 献

- [1] Kanis JA, Melton LJ 3rd, Christiansen C, et al. The diagnosis of osteoporosis[J]. J Bone Miner Res, 1994, 9(8): 1137-1141.
- [2] Nih Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy[J]. JAMA, 2001, 285(6): 785-795.
- [3] Melton L J 3rd. Epidemiology of spinal osteoporosis[J]. Spine, 1997, 22(24S): S2-S11.
- [4] Truumees E, Hilibrand A, Vaccaro AR. Percutaneous vertebral augmentation[J]. Spine J, 2004, 4(2): 218-229.
- [5] Silverman SL. The clinical consequences of vertebral compression fracture[J]. Bone, 1992, 13(S2): S27-S31.
- [6] Rousing R, Hansen KL, Andersen MO, et al. Twelve-months follow-up in forty-nine patients with acute/semiacute osteoporotic vertebral fractures treated conservatively or with percutaneous vertebroplasty: a clinical randomized study[J]. Spine, 2010, 35(5): 478-482.
- [7] Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, et al. A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures[J]. New Engl J Med, 2009, 361(6): 569-579.
- [8] Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, et al. A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures[J]. New Engl J Med, 2009, 361(6): 557-568.
- [9] Hulme PA, Krebs J, Ferguson SJ, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies [J]. Spine, 2006, 31(17): 1983-2001.
- [10] Lee MJ, Dumonski M, Cahill P, et al. Percutaneous treatment of vertebral compression fractures: a meta-analysis of complications[J]. Spine, 2009, 34(11): 1228-1232.
- [11] Harrington KD. Major neurological complications following percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate: a case report [J]. J Bone Joint Surg Am, 2001, 83-A(7): 1070-1073.
- [12] Monticelli F, Meyer HJ, Tutsch-Bauer E. Fatal pulmonary cement embolism following percutaneous vertebroplasty (PVP) [J]. Forensic Sci Int, 2005, 149(1): 35-38.
- [13] Kim SY, Seo JB, Do KH, et al. Cardiac perforation caused by acrylic cement: a rare complication of percutaneous vertebroplasty [J]. Am J Roentgenol, 2005, 185(5): 1245-1247.
- [14] Eck JC, Nachtigall D, Humphreys SC, et al. Comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty for treatment of vertebral compression fractures: a meta-analysis of the literature [J]. Spine J, 2008, 8(3): 488-497.
- [15] McKiernan F, Faciszewski T, Jensen R. Quality of life following vertebroplasty [J]. J Bone Joint Surg Am, 2004, 86-A(12): 2600-2606.
- [16] Schmidt R, Cakir B, Mattes T, et al. Cement leakage during vertebroplasty: an underestimated problem? [J]. Eur Spine J, 2005, 14(5): 466-473.
- [17] Bohner M, Gasser B, Baroud G, et al. Theoretical and experimental model to describe the injection of a polymethylmethacrylate cement into a porous structure [J]. Biomaterials, 2003, 24(16): 2721-2730.
- [18] Baroud G, Crookshank M, Bohner M. High-viscosity cement significantly enhances uniformity of cement filling in vertebroplasty: an experimental model and study on cement leakage [J]. Spine, 2006, 31(22): 2562-2568.
- [19] Farrar DF, Rose J. Rheological properties of PMMA bone cements during curing [J]. Biomaterials, 2001, 22(22): 3005-3013.
- [20] Ruger M, Schmoelz W. Vertebroplasty with high-viscosity polymethylmethacrylate cement facilitates vertebral body restoration in vitro [J]. Spine, 2009, 34(24): 2619-2625.
- [21] Nicholas MK, Waters MG, Holford KM, et al. Analysis of rheological properties of bone cements [J]. J Mater Sci Mater Med, 2007, 18(7): 1407-1412.
- [22] Meng B, Qian M, Xia S X, et al. Biomechanical characteristics of cement/gelatin mixture for prevention of cement leakage in vertebral augmentation [J]. Eur Spine J, 2013, 22(10): 2249-2255.
- [23] 杨益民, 任志伟, 李 萌, 等. 选择性应用陶瓷人工骨在椎体后凸成形中预防骨水泥渗漏的作用 [J]. 西安交通大学学报 (医学版), 2012, (04): 494-497.

(责任编辑:唐宗顺)