

椎体成形术治疗胸腰椎骨折的研究进展

周云¹, 章洪喜¹, 唐天驷²

(1. 江苏大学附属第一人民医院骨科, 江苏 镇江 212002; 2. 苏州大学附属第一医院骨科)

【摘要】 自 1984年法国的神经放射学医师 Galibert和 Deramond经皮椎体成形术 (vertebroplasty) 成功地治疗 1例 C₂ 椎体肿瘤, Vertebroplasty迅速地成为治疗骨质疏松性有关的椎体压缩骨折的选择趋势。后来又发展了可矫正后凸畸形的椎体后凸成形术 (kyphoplasty)。近年来, 学者们开始将 Vertebroplasty这一技术应用于创伤性胸腰椎骨折的治疗中, 取得了可喜的成果。本文就这一技术的发展概要、临床应用、生物力学、并发症及充填材料等研究进展进行概述。

【关键词】 脊柱骨折; 胸椎; 腰椎

Progress in research on vertebroplasty for the treatment of thoracolumbar fractures ZHOU Yun*, ZHANG Hong-xi, TANG Tian-si* *Department of Orthopaedics, the First People's Hospital Affiliated to Jiangsu University, Zhenjiang 212002, Jiangsu, China*

ABSTRACT Since French neuroradiologist Galibert and Deramond successfully treated one case C₂ vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty, vertebroplasty has quickly become an except tendency for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. Kyphoplasty was afterwards developed which can correct kyphosis. Scholars have begun applying this technique to the treatment of traumatic thoracolumbar fractures and made gratifying achievement in recent years. This paper overviews the current progress in the research on vertebroplasty development synopsis, clinical application, biomechanics, complications and filling materials.

Key words Spinal fractures; Thoracic vertebrae; Lumbar vertebrae

椎体成形术 (vertebroplasty), 最初源于通过开放性手术, 将凝固性材料骨水泥或骨经椎弓根或直接植入椎体内, 以增强椎体生物力学强度, 防止塌陷, 缓解腰背疼痛。本文就这一技术的发展概要及治疗胸腰椎骨质疏松性压缩骨折和创伤性骨折的有关研究进展, 尤其是新近研究动态作一综述。

1 椎体成形术发展概要

1984年法国的神经放射学医师 Galibert和 Deramond在 X线监视下, 经皮将聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethylmethacrylate, PMMA) 骨水泥注入 C₂ 椎体, 成功地治疗 1例长期疼痛的 C₂ 椎体海绵体状血管瘤, 随访 3年, 结果满意, 于 1987年首先报道了这一技术^[1]。此后, 椎体成形术迅速地成为治疗与骨质疏松有关的椎体压缩骨折的选择趋势, 在欧美风靡一时^[2-3]。1994年, 美国加利福尼亚州的 Reiley等设计研制出一种可膨胀性球囊 (又名可膨胀性骨捣棒) (KyphXTM, inflatable bone tamp, BT), 将骨折塌陷的椎体复位, 挤压邻近骨质, 在椎体内创造出 1个空间, 尔后注入 PMMA 骨水泥, 以恢复椎体高度, 增强椎体强度等, 不仅缓解了患者的疼痛, 且矫正了后凸畸形, 因此该技术被称为椎体后凸成形术 (kyphoplasty), 并于 1998年得到美国 FDA 批准应用于临床^[4-6]。Ky-

phoplasty实际上是 Vertebroplasty的一种变体, 是 Vertebroplasty的发展^[5]。近年来, 学者们开始将 Vertebroplasty这一技术应用于创伤性胸腰椎骨折的治疗中, 取得了可喜的成果^[7-8]。

2 治疗胸腰椎骨质疏松性压缩骨折及创伤性骨折的临床应用

2.1 治疗骨质疏松性胸腰椎压缩骨折 骨质疏松性椎体压缩骨折 (osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF) 是老年人尤其是绝经妇女的常见病, 可导致患者慢性腰背痛、渐进性椎体塌陷引起的驼背畸形、失眠、活动减少、意志消沉甚至生活难以自理等, 严重影响生活质量, 死亡率增加^[6, 9-11]。传统的治疗方法主要是采用姑息性手段, 即卧床休息、服用止痛药与钙剂、理疗、支架支撑等。但卧床对老年人具有潜在的危险, 可加速骨的吸收, 造成肌肉萎缩, 反过来又可加剧疼痛。支架支撑虽然有助于减轻疼痛, 但也会导致骨质的进一步丢失, 并会增加再骨折的概率。经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 和 Kyphoplasty能强化和固定椎体, 恢复压缩椎体的强度和刚度, 迅速缓解疼痛, 为治疗骨质疏松性胸腰椎压缩骨折提供了一个十分有效的新方法。

Amar等^[3]对 97例患者共 258个椎体压缩性骨折行经皮自椎弓根向椎体内注入 PMMA 骨水泥, 平均随访 14.7个月, 通过对患者的步态、睡眠舒适度及对止痛药的需要程度进行比较, 满意率达 74%。Zoarski等^[12]在一组 30例 44个椎体压

缩骨折行 Vertebroplasty治疗中, 23例获 15~18个月的随访, 22例(96%)对治疗结果非常满意。McGraw等^[13]采用 Vertebroplasty对 100例 156个因骨质疏松引起的椎体压缩骨折进行治疗, 97(97%)例术后 24 h即觉疼痛明显减轻, 99例平均随访 21.5个月, 92例(93%)疗效满意, 无一例症状加重。Garfin等^[14]报道, 1998年 10月 - 2000年 3月, 美国 340例患者 603个椎体压缩骨折在发病 3个月内进行了 Kyphoplasty, 患者不仅疼痛得到缓解, 而且椎体高度得到恢复, 后凸畸形获得了纠正, 骨水泥渗漏等并发症明显降低。Lieberman等^[4]按照 SF-36评分法(包括机体功能、作用功能、身体疼痛、一般健康状况、活力、社会功能、情感和精神状态等 8项), 对 30例平均病程为 5.9个月的骨质疏松性椎体压缩骨折患者的 70个椎体行 Kyphoplasty后进行评分, 6个椎体平面发生骨水泥渗漏, 但没有发生与此项技术有关的主要并发症, 70%的椎体高度恢复率达 47%, 治疗后 SF-36 评分显著提高。Phillips等^[15]研究亦表明, Kyphoplasty可有效改善骨质疏松性压缩骨折患者的生理功能, 缓解疼痛, 纠正因椎体压缩骨折所致的脊柱后凸畸形。

2.2 治疗创伤性胸腰椎骨折 创伤性胸腰椎骨折常采用后路椎弓根螺钉系统内固定, 但术后内固定器械疲劳断裂, 去除内固定后椎体塌陷、矫正度丢失、后凸畸形重现等, 日益引起广大临床工作者的关注。这主要是后路经椎弓根螺钉系统复位内固定后, 虽然在影像学上伤椎椎体高度恢复, 但椎体内被挤压破坏的骨小梁系统未能同时得到复位, 椎体内产生空隙, 即“蛋壳样(eggshell)椎体”。经椎弓根向椎体内注入松质骨, 曾一度被推广, 但最近的一些研究表明, 此法并不能重建椎体强度和稳定性, 不能降低内固定失败和矫正度丢失的发生率^[16-17]。Mempelstein等^[17]通过实验研究证明, 结合后路椎弓根螺钉系统复位内固定, 经椎弓根向伤椎椎体内注入磷酸钙骨水泥(calcium phosphate cement, CPC)的 Vertebroplasty, 可有效增强伤椎椎体前柱的稳定性。

在一组临床初步应用报告中, Verlaan等^[18]对 20例无神经损伤的胸腰椎爆裂骨折患者, 于伤后 1周内, 在后路椎弓根螺钉系统复位固定后, 经双侧椎弓根通过球囊扩张, 使伤椎终板复位, 尔后注入 CPC, 于术前、术后正、侧位 X线片和 MR检查椎体高度的变化及骨水泥在椎体内的分布, CPC在伤椎椎体内分布良好, 伤椎中央和前方高度分别得到 78%和 91%的恢复, 有 5例出现骨水泥渗漏, 但没有引起临床不适症状, 表明球囊扩张的 Kyphoplasty治疗胸腰椎爆裂骨折, 并无任何外科技术上的困难, 可以恢复椎体高度, 重建椎间隙的界限。

3 生物力学

以 PMMA 骨水泥及其他骨水泥作充填材料的 Vertebroplasty和 Kyphoplasty的有关生物力学, 学者们从不同的角度进行了研究。

Belkoff等^[19]检测 Vertebroplasty时充填材料对骨质疏松性椎体的剂量效应, 发现经双侧椎弓根注入 2 ml骨水泥后就可以恢复椎体强度。Liebschner等^[20]用有限元分析来研究注入的 PMMA 骨水泥量与重建椎体的力学性能之间的关系, 结果显示椎体刚度的恢复与灌注骨水泥的量紧密相关, 过量充填可导致椎体刚度进一步增加直至超过破坏前的水平, 并将

导致骨水泥的不对称分布, 产生“肘节运动”(“Toggle”), 导致脊柱不稳定, 认为应使骨水泥少量充填和对称分布。

Belkoff等^[21]对 Vertebroplasty和 Kyphoplasty治疗骨质疏松性胸腰椎压缩骨折模型的比较研究发现, 两者均使椎体强度明显增加, 尽管 Vertebroplasty组增加更明显, 但 Kyphoplasty组提高的强度已足够身体日常活动的力学需要; Kyphoplasty组恢复了椎体的刚度, Vertebroplasty组则没有, 部分原因是骨水泥种类的不同之故; 尤其是 Kyphoplasty组椎体丧失高度的 97%得到了恢复, 而 Vertebroplasty组仅 30%得到了恢复。

Bai等^[22]研究了 CPC替代 PMMA 骨水泥在 Vertebroplasty中的作用, 结果显示可生物降解的 CPC可以作为 Vertebroplasty的充填剂, 以替代具有热损害和对骨质重建有不良效应的 PMMA 骨水泥。Tomita等^[23]分别以 CPC和 PMMA 骨水泥作为充填材料, 对骨质疏松性胸腰椎(T₆₋₉及 L₂₋₅)压缩骨折模型进行经双侧椎弓根行 Kyphoplasty, 结果表明, 从生物力学角度, 在 Kyphoplasty中, CPC可作为 PMMA 骨水泥的替代物。

Tohneh等^[24]对单侧与双侧注射 PMMA 骨水泥的 Vertebroplasty治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的生物力学效应进行了对比研究。结果表明, 两者在刚度恢复上相似, 在强度恢复上, 单侧注射虽然小于双侧, 但仍然高于骨折前的水平, 因而认为二者在恢复椎体的机械性能方面效果相似。Steinmann等^[25]对单侧与双侧的 Kyphoplasty生物力学比较, 亦得出了类似的结论, 并综合考虑经椎弓根置管的风险、手术时间、放射线暴露以及费用等, 建议在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折中, 可以采用经一侧椎弓根途径的 Kyphoplasty。

Mempelstein等^[17]在尸体标本上制作 L₁爆裂骨折模型, 然后经椎弓根以 CPC进行骨折椎体的 Vertebroplasty, 椎弓根螺钉的弯曲力矩在屈曲位降低 59%, 在伸直位降低 38%, 平均起始刚度在屈-伸平面增加 40%, 证明经椎弓根向伤椎内充填 CPC, 增强了骨折椎体前柱的稳定性。Verlaan等^[18]将以 CPC强化的 Kyphoplasty应用于胸腰椎爆裂骨折的实验模型中, 通过观测椎体前后移位、上下终板压迫压缩变化, 表明 Kyphoplasty治疗创伤性胸腰椎骨折是安全和可靠的。

4 并发症

主要是由骨水泥渗漏所引起^[11-15, 26-32]。一般认为, 渗漏多由于穿刺针突破椎弓根内缘或椎体后缘、注射骨水泥量过大、骨水泥太稀等因素引起, 且部位越高发生越多。骨水泥渗漏的去处与脊柱的解剖结构有关, 包括向椎旁软组织、椎间隙、硬膜外、椎间孔及椎静脉丛等部位渗漏。骨水泥渗漏至椎旁软组织虽然较常见, 但一般无临床意义。骨水泥渗漏入椎间隙, 虽不会产生急性症状, 但对相邻椎体有机械作用, 有可能增加其骨折的发生率。渗漏至硬膜外、椎间孔, 可产生脊髓、神经根压迫症状; 渗漏至椎体或椎旁静脉, 可引起心肌梗塞、肺栓塞。此二者为严重的并发症。而 PMMA 骨水泥的渗漏, 由于骨水泥聚合时放热, 尚会导致脊髓、神经根的永久性损害。

Garfin等^[14]回顾文献, 骨水泥渗漏在 Vertebroplasty中发生最多, 达 30%至 67%, 在治疗骨质疏松性压缩骨折中, 引起神经根损伤为 4%, 脊髓受压约 0.5%。Phillips等^[26]对 Ver-

tebroplasty和 Kyphoplasty治疗骨质疏松性椎体压缩骨折骨水泥渗漏性进行了比较实验,结果显示 Kyphoplasty骨水泥渗漏率明显低。

Nussbaum等^[133]对报告给FDA医疗设备有关的网站关于Vertebroplasty和 Kyphoplasty的并发症进行了回顾分析,发现因骨水泥渗漏所引发的并发症发生率及严重程度,Kyphoplasty并不亚于Vertebroplasty,认为Kyphoplasty所用的套管较粗,容易损伤椎弓根甚至使其破裂所致。

5 充填材料

目前,作为椎体成形术充填材料的骨水泥主要有两大类:不可降解的骨水泥和可降解的骨水泥。不可降解的骨水泥包括PMMA骨水泥及具有骨传导性的骨水泥如骨水泥玻璃陶瓷增强的基质复合物(orthocomp)等材料。可生物降解的骨水泥主要是磷酸钙骨水泥(calcium phosphate cement, CPC)。

PMMA骨水泥是临床上应用最早、最广泛的一种无机高分子骨修复材料,主要由粉状的甲基丙烯酸甲酯多聚体(polymethylmethacrylate, PMMA)和液态的甲基丙烯酸甲酯单体(methylmethacrylate monomer, MMA)按一定比例混合自行聚合而成。在多种PMMA骨水泥中,欧洲最常用的是单纯骨水泥(simplex P),Simplex P本身就含有10%的硫酸钡,在美国,则多为颅骨成形用的骨水泥(cranioplastic),其本身并不含造影剂^[21, 23, 34-35]。PMMA骨水泥优点是黏度相对较低,注射相对容易,强度恢复较好,但它聚合时产热,在椎体前部可高达113,在椎体中央达112,在椎管内达57,有灼伤邻近组织尤其是脊髓和神经根的可能,并可烧伤椎体内的骨细胞,影响骨折的愈合。单体具有细胞毒性,可引起低血压休克、脂肪栓塞等并发症。组织相容性差,不能为正常骨组织替代,一旦注入,将成为一种永久性的异物存在,并会影响骨的重塑^[28-32, 36-38]。虽然PMMA骨水泥在临床应用中近期效果可靠,但其远期可靠性尚不能确定。

Orthocomp是一种以 BisGMA、 BisEMA 及 TEGDMA (均为甲基丙烯酸甲酯的衍生物)为基质、具有生物活性的骨水泥。尸体生物力学测试表明,和单纯PMMA骨水泥一样,注射后二者均能明显提高椎体的压缩强度(高于压缩骨折前水平),Orthocomp可以恢复刚度,但单纯骨水泥则未能恢复^[39]。虽然它在体内聚合时产生的凝固温度较PMMA低^[37],具有更好的生物相容性,但亦不能诱导骨组织生长,且不能生物降解,与PMMA一样,将永久作为异物存留于体内。

CPC,又名羟基磷灰石水泥(hydroxyapatite cement, HAC),是一种目前研究最多且被认为是最有发展前途的可生物降解的骨水泥,由固相和液相两部分组成^[40-42]。固相为粉末状,是几种磷酸钙盐混合物,包括磷酸四钙、磷酸三钙、磷酸二氢钙、磷酸氢钙、无水磷酸二氢钙、无水磷酸氢钙以及少量羟基磷灰石和氟化物。液相即固化液,可以是蒸馏水、稀酸、血浆、胶原溶液、甘油等。固相粉末与液相固化液按一定比例混合后,可调和成能够任意塑形的糊状混合物。临床上常用的CPC有Bonesource, SRS(skeletal repair system), -BSM等。Bonesource属于磷酸四钙系统, SRS属于磷酸三钙系统, -BSM主要为二水磷酸氢钙。研究表明, CPC不仅具有可注射性和很好的椎体成形能力,还具有骨传导性,组织相容

性好,固化时不产热,因此在临床应用中不会产生严重的炎症反应和异物细胞反应,生物降解与成骨活性协调,在骨重建过程中,逐渐被正常骨取代^[17, 8, 18]。Bai等^[122]、Tomita等^[123]及Belkoff等^[140]对CPC和PMMA骨水泥进行的生物力学比较,均认为CPC是PMMA骨水泥的良好替代物。

6 结语

椎体成形术,不仅对治疗骨质疏松性胸腰椎压缩骨折,而且对创伤性尤其是爆裂型骨折,均有着独特的优势,即创伤小,可以立即起到稳定脊柱的作用,因此在治疗胸腰椎骨折方面具有很好的应用前景。

实验研究和临床应用表明,一方面,Vertebroplasty可恢复骨折椎体的生物力学强度,但不能恢复伤椎的高度,而Kyphoplasty则克服了Vertebroplasty的局限性;另一方面,无论是Vertebroplasty还是Kyphoplasty,均有骨水泥渗漏的潜在危险,而且用于Kyphoplasty的可膨胀性球囊属一次性使用,价格昂贵,不符合我国国情。因此,用可生物降解的充填剂(如CPC)替代传统的无机高分子骨修复材料PMMA骨水泥,设计和应用一种可留置于体内的可吸收生物降解的球囊替代Kyphoplasty中的可膨胀性球囊,以避免骨水泥的渗漏,将是Vertebroplasty今后的发展方向。相信随着科学技术的进步和发展,可吸收降解的、价格合理的生物性球囊以及其他恢复椎体高度和防止渗漏的手术器械一定会应运而生,这样既可简化椎体成形术治疗胸腰椎骨折的操作,又可使之更进一步推广应用。

参考文献

- Galibert P, Deramond H, Rosat P, et al Preliminary note on the treatment of vertebral angima by percutaneous acrylic vertebroplasty. Neurochirurgie, 1987, 33: 166-168.
- Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, et al Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization. Spine, 2000, 25: 923-928.
- Amar AP, Larsen DW, Esnaashari N, et al Percutaneous transpedicular polymethylmethacrylate vertebroplasty for treatment of spinal compression fractures. Neurosurgery, 2001, 49: 1105-1115.
- Liebman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, et al Initial outcome and efficacy of "Kyphoplasty" in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. Spine, 2001, 26: 1631-1638.
- Hardouin P, Fayada P, Lecllet H, et al Kyphoplasty. Joint Bone Spine, 2002, 69: 256-261.
- Truumees E. The roles of vertebroplasty and kyphoplasty as parts of a treatment strategy for osteoporotic vertebral compression fractures. Curr Opin Orthop, 2002, 13: 193-199.
- Meemelstein LE, McLain RF, Yerby SA. Reinforcement of thoracolumbar burst fractures with calcium phosphate cement: a biomechanical study. Spine, 1998, 23: 664-671.
- Verlaan JJ, Helden WHV, Oner FC, et al. Balloon vertebroplasty with calcium phosphate cement augmentation for direct restoration of traumatic thoracolumbar vertebral fractures. Spine, 2002, 27: 543-548.
- Kado DM, Browner WS, Palermo L, et al Vertebral fractures and mortality in older women: a prospective study. Arch Intern Med, 1999, 159: 1215-1220.
- Papaioannou A, Watts NB, Kendler DL, et al Diagnosis and management of vertebral fractures in elderly adults. Am J Med, 2002, 113: 220-228.

- 11 Phillips FM. Minimally invasive treatment of osteoporotic vertebral compression fractures *Spine*, 2003, 28 (Suppl 15): S45-S53.
- 12 Zoarski GH, Snow P, Olan WJ, et al Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures: quantitative prospective evaluation of long-term outcomes *J Vasc Interv Radiol*, 2002, 13: 139-148.
- 13 McGraw JK, Lippert JA, Minkus KD, et al Prospective evaluation of pain relief in 100 patients undergoing percutaneous vertebroplasty: results and follow-up. *J Vasc Interv Radiol*, 2002, 13: 883-886.
- 14 Garfin SR, Yuan HA, Reiley MA. New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures *Spine*, 2001, 26: 1515-1522.
- 15 Phillips FM, Ho E, Campbell-Hupp M, et al Early radiographic and clinical results of balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures *Spine*, 2003, 28: 2260-2267.
- 16 Knop C, Fabian HF, Bastian L, et al Late result of thoracolumbar fractures after posterior instrumentation and transpedicular bone grafting *Spine*, 2001, 26: 88-99.
- 17 Alanay A, Acaroglu E, Yazici M, et al Short-segment pedicle instrumentation of thoracolumbar burst fractures: Does transpedicular intracorporeal grafting prevent early failure? *Spine*, 2001, 26: 213-217.
- 18 Verlaan JJ, Dhert WJA, Verbout AJ, et al Balloon Vertebroplasty in combination with pedical screw instrumentation: a novel technique to treat thoracic and lumbar burst fracture *Spine*, 2005, 30: E73-79.
- 19 Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, et al The biomechanics of vertebroplasty: the effect of cement volume on mechanical behavior *Spine*, 2001, 26: 1537-1541.
- 20 Liebschner MAK, Rosenberg WS, Keaveny TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty *Spine*, 2001, 26: 1547-1554.
- 21 Belkoff SM, Mathis JM, Fenton DC, et al An ex vivo biomechanical evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture *Spine*, 2001, 26: 151-156.
- 22 Bai B, Jazrawi LM, Kummer FJ, et al The use of an injectable, biodegradable calcium phosphate bone substitute for the prophylactic augmentation of osteoporotic vertebrae and the management of vertebral compression fractures *Spine*, 1999, 24: 1521-1526.
- 23 Tomita S, Molloy S, Jasper LE, et al Biomechanical comparison of kyphoplasty with different bone cements *Spine*, 2004, 29: 1203-1207.
- 24 Tohmeh AG, Mathis JM, Fenton DC, et al Biomechanical efficacy of unipedicular versus bipedicular vertebroplasty for the management of osteoporotic compression fractures *Spine*, 1999, 24: 1772-1776.
- 25 Steinmann J, Tingey CT, Gruz G, et al Biomechanical comparison of unipedicular versus bipedicular kyphoplasty *Spine*, 2005, 30: 201-205.
- 26 Phillips FM, Wetzel FT, Lieberman I, et al An in vivo comparison of potential for extravertebral cement leak after vertebroplasty and kyphoplasty *Spine*, 2002, 27: 2173-2179.
- 27 Alvarez L, Pérez-Higueras A, Granizo JJ, et al Predictors of outcomes of percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures *Spine*, 2005, 30: 87-92.
- 28 Chen HT, Wong CS, Ho ST, et al A lethal pulmonary embolism during percutaneous vertebroplasty. *Anesth Analg*, 2002, 95: 1060-1062.
- 29 Lee BJ, Lee SR, Yoo TY. Paraplegia as a complication of percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate: a case report *Spine*, 2002, 27: E419-E422.
- 30 Francois K, Taeymans Y, Poffyn B, et al Successful management of a large pulmonary cement embolus after percutaneous vertebroplasty: a case report *Spine*, 2003, 28: E424-E425.
- 31 Tsai TT, Chen WJ, Lai PL, et al Polymethylmethacrylate cement dislodgment following percutaneous vertebroplasty: a case report *Spine*, 2003, 28: E457-E460.
- 32 Yoo KY, Jeong SW, Yoon W, et al Acute respiratory distress syndrome associated with pulmonary cement embolism following percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate. *Spine*, 2004, 29: E294-E297.
- 33 Nussbaum DA, Gailloud P, Murphy K A review of complications associated with vertebroplasty and kyphoplasty as reported to the food and drug administration medical device related web site *J Vasc Interv Radiol*, 2004, 15: 1185-1192.
- 34 Jasper LE, Deramond H, Mathis JM, et al The effect of monomer-to-power ratio on the material properties of cranioplastic. *Bone*, 1999, 25: 27S-29S.
- 35 Jasper LE, Deramond H, Mathis JM, et al Material properties of various cements for use with vertebroplasty *J Mater Science: Mater in Medicine*, 2002, 13: 1-5.
- 36 Belkoff SM, Molloy S. Temperature measurement during polymerization of polymethylmethacrylate cement used for vertebroplasty. *Spine*, 2003, 28: 1555-1559.
- 37 Deramond H, Wright NT, Belkoff SM. Temperature elevation caused by bone cement polymerization during vertebroplasty. *Bone*, 1999, 25: 17S-21S.
- 38 Ruiz DSM, Bukhardt K, Jean B, et al Pathology findings with acrylic implants *Bone*, 1999, 25: 85S-90S.
- 39 Belkoff SM, Mathis JM, Erbe EM, et al Biomechanical evaluation of a new bone cement for use in vertebroplasty. *Spine*, 2000, 25: 1061-1064.
- 40 Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE. Ex vivo biomechanical comparison of hydroxyapatite and polymethylmethacrylate cement for use with vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2002, 23: 1647-1651.
- 41 Bohner M. Physical and chemical aspects of calcium phosphates used in spinal surgery. *Eur Spine J*, 2001, 10: S114-S121.
- 42 Heini PF, Berlemann U. Bone substitutes in vertebroplasty. *Eur Spine J*, 2001, 10: S205-S213.

(收稿日期: 2006 - 03 - 01 本文编辑: 连智华)