

综述 ·

骨质疏松性椎体压缩骨折的微创介入治疗——椎体成形术和后凸成形术

刘宏建 综述 杜靖远 审校

【中图分类号】R815; R683.2 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2004)04-0305-04

椎体骨折是绝经后骨质疏松症最常见的并发症,是导致老年人死亡不可低估的原因^[1]。在美国,共有 2400 万骨质疏松症患者,并以每年新增 75 万患者的速度递增^[2],因骨质疏松性椎体骨折每年有 15 万人需住院治疗,每年因各种病因导致椎体骨折者总治疗费用约 7.46 亿美元^[3]。目前该病主要的治疗方法是卧床休息、口服钙剂和止痛剂、佩带支具、物理和康复治疗等,但是尽管应用了许多抗骨质疏松药物,仍有大量的骨折发生^[4]。Lindsay 等认为在开始应用抗骨质疏松药物后的一年内,将有 19% 的患者发生椎体骨折,84% 的患者将遗留慢性胸腰部疼痛^[5]、脊柱畸形(后凸畸形、侧凸畸形)等,限制日常活动,影响脊柱功能,降低生活质量。

经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)是 1985 年法国放射学家 Calibert 等在治疗 1 例颈椎椎体血管瘤患者时首次采用的^[6]。20 世纪 80 年代中期的法国和 90 年代中后期的美国,放射学家和骨科医生开始将此技术成功地应用于骨质疏松性椎体压缩骨折^[7]、恶性肿瘤的椎体转移^[8]、多发性骨髓瘤、椎体恶性淋巴瘤、椎体血管瘤、外伤性椎体压缩性骨折^[9]等脊柱疾患,其目的是通过骨水泥注入椎体,强化椎体,重建脊柱稳定,减轻和消除椎体病变引起的疼痛^[10],许多文献证明 PVP 具有安全性高、有效缓解疼痛、并发症少、疗程短、显著改善生活质量等诸多优点,但它无法恢复塌陷椎体的高度以及纠正后凸畸形,后凸畸形将导致持续的胸腰部疼痛和脊柱功能障碍,患者易摔跤形成新的骨折,此外,后凸畸形对患者呼吸和胃肠功能的影响也不容忽视^[11]。2000 年美国骨科医生 Wong 等^[12]首次应用了经皮球囊扩张后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)。

手术原理

PVP 的设计原理是在 C 型臂放射线机和/或 CT 机监视下,经皮穿刺,再经椎弓根途径(可以是单侧或双侧)注射聚甲基丙烯酸甲酯(polymethylmethacrylate, PMMA)骨水泥进入骨折的椎体,其目的是恢复椎体的正常生物力学性能和缓解疼痛。止痛的确切机制尚不清楚,可能与以下因素有关:①椎体内微骨折的稳定和生物力学性能的恢复;②PMMA 固化时散热反应破坏了椎体内的感觉神经末梢;③脊髓、神经根的部分减压也许可以解释瞬间止痛的机制。一些体外的实验也支持此推断^[13]。

PKP 是 PVP 的改良,手术分为两步:首先经椎弓根途径(胸腰段和腰段)或椎弓根外途径(中胸段)穿刺,采用可膨胀球

囊(1 个或 2 个)将塌陷的椎体撑开复位,纠正后凸畸形,恢复椎体正常高度并在椎体内形成一个空腔,然后取出球囊,低压下注射骨水泥,稳定脊柱。与 PVP 相比,有以下优点:①恢复椎体高度,矫正脊柱变形;②低压下注射骨水泥;③骨水泥的粘滞度可以较高,减少骨水泥的泄漏。但也将面临更复杂的器械操作,可膨胀球囊的正确放置,原骨折椎体生物力学进一步遭受破坏和相邻椎体再骨折的危险等问题;再者,2001 年在美国购买一套包括 2 个可膨胀球囊、2 具注射器、一套操作工具、6 个单位的骨水泥和一枚骨穿针的价格共约 3400 美元^[14]。

适应证和禁忌证

适应证:伴有持续和严重疼痛的椎体骨折,疼痛时间超过 3~4 周者^[15];骨折后椎体塌陷伴有后凸畸形者;因骨质疏松引起的腰背痛伴有椎管狭窄,疼痛向下肢放射,无法耐受全麻下后路手术者^[16];恶性肿瘤的椎体转移、椎体血管瘤和多发性骨髓瘤肿瘤未波及椎体后壁者;因椎体骨折长期卧床形成褥疮等并发症者;经系统的非手术治疗无效、疼痛进行性加重的骨质疏松性椎体压缩骨折者等。也有应用 PVP 注射酒精治疗椎体血管瘤的报道。

禁忌证:椎体高度完全丢失或丢失超过正常椎体高度的 2/3 者;因病理性和/或外伤性椎体后壁的完整性破坏者;爆裂性椎体骨折和高能量骨折处于急性期者;游离骨片进入椎管者;无法耐受急诊椎板减压椎管探查者;孕妇;与椎体塌陷无关的疼痛患者;凝血障碍者;双侧椎弓根骨折者;椎体的实体瘤;对可膨胀球囊材料过敏者;不具备急诊行椎管探查手术条件的医院等。

术前评价

术前须认真体检,并拍摄 X 线片和 MRI 检查确定腰背痛确系椎体的病理性和/或外伤性骨折所致,手术时间最好在症状出现后 7 个月以内^[17]。有文献要求 PKP 应在骨折后 4 周内进行,时间过长将影响疗效,且长期卧床将出现无法控制的并发症。清晰的 X 线片应包括骨折部位的站立位(如果病情允许)正侧位片。MRI 的目的是进行诊断和鉴别诊断,多发性骨折者应与多发性骨髓瘤鉴别,椎体肿瘤患者 CT 可以确定椎体附件是否被肿瘤波及、椎管是否狭窄、有否游离骨片进入椎管等。行 PVP 之前,有学者认为椎体静脉造影可评价椎体静脉的充盈情况并明确骨水泥可能泄漏的部位^[18]。核素骨扫描的价值有限,当椎体高度丢失大于 15% 时,其阳性率仅为 20%^[19]。

手术方法

患者在两种手术中均采取俯卧位,全麻、区域神经阻滞麻

作者单位:430022 武汉,华中科技大学同济医学院附属协和医院骨科

作者简介:刘宏建(1968-),男,河南洛阳人,博士,副教授,主要从事骨质疏松症、股骨头坏死和脊柱脊髓损伤的研究。

醉或局麻,经椎弓根途径最常用,也可经椎体后外侧途径。PVP 术中,直视下用一长 10~15 cm 针尖带有斜面的 10~14 号套筒骨穿针,最好有 CT 的引导,经单侧和/或双侧椎弓根穿刺途径^[20],如果第一次单侧穿刺已充填椎体预计缺损的 50%,则不必双侧穿刺^[21],有人认为双侧注射能够更好地维持椎体高度的平衡;注入 1~11 ml(平均 7 ml)骨水泥,针尖达椎体的中前 1/3 椎体正中时,开始准备骨水泥,20 ml PMMA 粉剂与 5 ml PMMA 单体液混合,内加 2 g 钽粉或硫酸钡粉或钨粉,待混合物成为牙膏状,用 5~10 个 1 ml 或 3 ml 注射器推注骨水泥,也有使用 20 ml 注射器的报道。正侧位严密监控,要求椎体良好充盈且防止骨水泥泄漏;当水泥已达椎体后 1/4,推注时有明显阻力、骨水泥进入骨外结构或静脉丛时,应立即停止操作。通常一次手术治疗 1~2 个椎体,也有一次治疗 6 个椎体的报道。

PKP 与 PVP 不同的是穿刺成功后将穿刺针拔出,沿通道放置一个带直径为 4.19 mm 的套管针的套管,沿套管通道放入前方带有可膨胀球囊的穿刺针,在压力仪的监测下开始膨胀球囊,使塌陷的椎体高度恢复,然后球囊减压后取出,用一相同的套管注射骨水泥,适用于 T₅~L₅ 椎体,球囊内压为 70~250 b/in² (1 b/in² ≈ 6.9 kPa),膨胀后椎体内空腔的平均容积为 2.6 ml (0.5~5 ml),最多有一次治疗 7 个椎体的报道^[22],术中严密监测患者血压、心率、血氧饱和度和神经功能的变化。

充填材料

目前在两种手术中最常用的骨水泥仍是 PMMA,因其阻光度差,需添加钽、钨、钨或三者的混合物,根据病情也有添加抗生素和抗肿瘤药物的。骨水泥的粘滞度与室温、用量、种类、配制的粉液比例等诸多条件有关,粘滞度高,不易泄漏,但推注困难;粘滞度低,推注容易,但易泄漏;PMMA 的应用前景并不乐观,其弊端是:①应用时有放热反应,温度 47~100 °C,高温可致细胞死亡;②PMMA 注射后的椎体与相邻的未注射椎体的力学强度不同,易导致应力集中;③PMMA 易泄漏到相邻的解剖结构中;④PMMA 的单体有一定的毒性;⑤PMMA 作为一种永久植入物,其长期的生物相容性是有害的^[23]。理想的骨水泥应具备以下条件:①较慢的生物可降解性,通过爬行替代最终被自体骨取代;②具备生物活性和生物相容性好;③可注射性和良好的渗透能力;④无毒、无致畸;⑤与骨折椎体紧密结合,固化后能够既瞬间又持久地维持椎体的正常生物力学性能;⑥术者具有充分操作的固化时间;⑦可负载各种蛋白质和抗肿瘤、抗感染、抗骨质疏松的药物等;⑧不散热或低散热;⑨合理的价格;⑩适当的粘滞性和较高的放射透光度。目前,已开发了一些新的骨水泥^[24],这些骨水泥有的在体内几乎不被降解,有的尚处于动物实验阶段,其组成成分较复杂,受多种因素控制,能否象 PMMA 一样可以有效止痛,尚处未知;还有一些新的骨水泥是骨诱导因子(如 BMPs)的良好载体,但也有脊椎无法控制的骨化的危险^[25]。Gerard 等^[26]在骨质疏松尸体椎体和成熟雌羊的椎体上,分别注射一种新的骨传导材料——天然珊瑚颗粒和该珊瑚颗粒复合纤维蛋白,在植入后 2 个月和 4 个月分别观察了两种材料的吸收和成骨情况,认为新材料与假手术组相

比,成骨增加,遗憾的是未进行生物力学性能的对比测试。

术后处理

术后宜行 CT 扫描以进一步了解骨水泥的分布和充填情况,排除骨水泥压迫脊髓和神经根;患者保持仰卧位 1~2 h,待骨水泥完全固化,严密观察 4~6 h,留院观察 1~2 d,防止可能出现的难以控制的疼痛、神经并发症和其它不适;陈旧性骨折术后残留肌痛的患者,可进行理疗,鼓励患者进行适当的有氧锻炼,提高骨质量,放弃佩带支具。

术后短期疗效和长期随访结果

早期大量文献报道了 PVP 的短期效果,病例数在 4~29 例,随访时间 2~18 个月,术后 48 h 内疼痛明显减轻,VAS 疼痛评分有不同程度的下降,疼痛缓解率在 67%~100%,但均未设对照组。Grados 治疗 40 例,经 12~84 个月(平均 48 个月)的系统长期随访,术后 1 个月的 VAS 疼痛评分由 80 mm 下降到 37 mm,随访后期下降到 34 mm,长期随访结果满意。Barr 等^[27]报道了 47 例连续随访 3 年的结果,63%的患者疼痛完全缓解,32%的中度缓解,5%的无明显改善;Maynard 等^[28]采用核素骨扫描的方法,认为骨代谢率高的椎体预示着术后将有良好的疼痛减轻;Graders 认为,PVP 治疗后邻近未治疗的椎体骨折发生率与骨水泥治疗后的椎体相比升高。

PKP 显示出更少的骨水泥泄漏等术后并发症。Garfin 等^[29]报道 PKP 治疗 376 例 603 个椎体,90%的患者症状和功能得以改善,大多数患者椎体高度明显恢复,从术前估计椎体前方高度恢复 68%上升到 84%,后凸畸形减少了 17%,明显并发症的发生率对于每个骨折椎体为 0.7%,每位患者为 1.2%,仅有 2 例脊髓损伤和 1 例硬膜外腔出血需行椎板减压椎管探查。

并发症

PVP 的短期并发症低于 10%,最常见的是椎管内和椎间孔的骨水泥泄漏,发生率在 30%~73%,但多数报道认为其并不导致严重的临床后果。其它并发症还有骨水泥泄漏引起的根性疼痛、脊髓和神经根的受压及热损伤、少量骨水泥经终板渗入椎间盘间隙;骨质疏松症患者,因俯卧位胸椎后路进针的力量所致的肋骨骨折;深静脉血栓形成;术后无症状的经肺部摄片或 CT 扫描证实的肺栓塞^[30];短暂的发热和缺氧;椎管狭窄;股神经麻痹;椎体内感染;截瘫;死亡等。

大多学者认为并发症的发生率低且持续时间短暂,多数症状可应用非甾体类抗炎药物得以缓解。远期并发症有相邻未治疗椎体的骨折和局部骨吸收的加速,其发生率为 10%~25%,尤其好发于陈旧性骨折术后的患者,原因可能是:①手术使用的 PMMA 骨水泥导致的局部短节段的刚度过高;②多节段椎体骨折,未强化的椎体顺应性差,增加了后凸畸形的趋势,加之应力集中,所以易于骨折。术后疼痛缓解期,若疼痛再发,应高度警惕新的骨折发生。预防方法:①减少强化椎体的骨水泥的用量;②使用具有生物活性的骨水泥取代 PMMA;③为了

降低 PMMA 单体的散热反应,可以调整 PMMA 的粉液比,还有将待注射的盛有 PMMA 的注射器直接放入无菌冰冻生理盐水中进行冰浴的报道^[31]。

PKP 的并发症有骨水泥的泄漏、球囊膨胀过程中被锐利的骨折断端刺破、硬膜外血肿、轻度的脊髓损伤引起的短暂的下肢麻痹和短暂的急性呼吸窘迫综合征。

生物力学

Belkoff 等^[32]在尸体椎体的生物力学实验中证明,PKP 治疗后 97% 的椎体的丢失高度和刚度恢复到正常,而 PVP 治疗后有 30% 的椎体恢复了丢失高度,但无法恢复刚度。Wilson 等^[33]发现两种手术的生物力学性能相比没有明显差异。Lim 等^[34]在 30 个骨矿密度相似的尸体胸腰段椎体上,进行了 PMMA 和新型的可注射磷酸钙骨水泥的生物力学对比实验,结果显示两种骨水泥均易低压注射,渗透良好,PMMA 的渗漏部位最常见于椎体的前外侧,两种骨水泥均能有效增加椎体的抗压强度,并达到正常椎体的力学要求。

存在的问题与未来的展望

无论是 PVP 还是 PKP,大量文献报道均获得了令人鼓舞的疗效,其基本设计原理已被美国 FDA 认可,但其确切治疗机制(例如止痛机制)和远期疗效目前仍不十分清楚。

手术适应证的选择,骨质疏松症患者应经多学科系统非手术治疗无效,并确定腰背疼痛确系椎体压缩性骨折所致,准确掌握手术时机。

手术的最佳时机:当骨折后椎体发生变形,最好在一周以内采用 PKP 治疗。但也有学者认为当其它非手术治疗均失败时,再行两种微创手术,短期内可使大多数患者的症状得以缓解,还有人认为 PVP 仅适用于 MR 信号显示异常的病例。

在一种新的手术流行和公认之前,特别是治疗非恶性病变的手术,将其危险性降至最低显得尤为重要。PVP 和 PKP 的并发症较少,失败率低,但多数骨质疏松性椎体骨折的患者认为在医师指导下通过卧床休息和药物应用可以减轻症状,个别医师往往认为椎体的损害是不可挽回而错过了治疗的最佳时机。

早期的 PVP 的报道存在不足:①病例数量较少,随访时间短;②缺乏前瞻性的、与药物应用等非手术疗法形成对照的研究;③有的缺乏适应证便盲目应用 PVP 进行治疗;④夸大疗效,回避不良结果。

PVP 无法完全地恢复椎体的正常解剖结构和彻底地纠正后凸畸形,且相邻的未治疗椎体的骨折率升高,其生物力学机制未明。临床操作中,在骨水泥的充填途径上,采用单侧或双侧椎弓根穿刺均有报道,两种穿刺途径的合理性及其生物力学对比效果尚未知。

应用在 PVP 中推注骨水泥的注射器,经各种改良,可有效控制注射容量和压力,操作方便,使用安全,价格合理,大大提高了手术效率并减少了泄漏的发生;在穿刺针的改良上,有人在体外进行了侧方开口与常规前方开口穿刺针的对比,发现前

者能够明显防止骨水泥的泄漏,因此操作工具的改良对减少术中、术后并发症至关重要,遗憾的是这些改良的工具没有得到公认和很好的推广应用。

骨质疏松性椎体压缩骨折是一种全身性系统性疾病的局部表现,而两种手术均属局部治疗,目前尚存在椎体内注射 PMMA 骨水泥可引起相邻未治疗椎体的骨折率升高等诸多尚未良好解决的问题。

提高骨质疏松患者的骨质量应摆在首位,重在早期预防,加强健康教育,早期药物应用,坚持适当的体育锻炼,避免摔跤,不能待骨折发生后,再应用药物和手术治疗。

尽管 PKP 的效果令人鼓舞,与 PVP 相比,减少了水泥的泄漏,纠正了椎体变形,但也存在增加相邻未强化椎体骨折的危险,况且严重的神经并发症虽然较少但确实存在,今后仍有很多工作待完成。

应建立多学科平台,骨科医师从事 PKP 和 PVP 的微创操作,放射科医师从事影像支持和协助操作,风湿病科医师从事骨质疏松药物应用的研究和指导,三个学科通力合作,共同参与术前病人选择和术后疗效评价,同时加强既熟练脊柱外科微创操作又掌握介入影像操作的复合型人才的培训。

PKP 的手术器械和材料的优化,包括一次性球囊,价格惊人,如何研制一种符合国情、价格合理、可反复使用或可吸收的膨胀球囊,或使用记忆合金球纠正椎体塌陷,骨水泥充填椎体缺损等仍须在材料学方面努力。

PMMA 在两种手术中得到应用,但其存在无法弥补的弊端,在椎体充填材料方面,复合成骨诱导因子的、生物相容性好的、可生物降解的、可注射性的、可取代 PMMA 的能达到或接近正常椎体生物力学性能的骨水泥的基础研制和开发势在必行,生产出公认和标准的骨水泥产品,扩大该产品在骨科其它疾病中(如股骨头坏死、四肢长管状骨的骨缺损等)的微创应用相信很快会成为现实。

随着注射技术的改进和理想的骨水泥的开发,用于骨质疏松患者的其它骨折部位(如桡骨远端、股骨颈、大转子、胫骨平台等)的微创治疗和预防性治疗将成为可能。

参考文献:

- [1] Genant HK, Cooper C, Poor G, et al. Interim report and recommendation of the world health organization task force for osteoporosis[J]. Osteoporos Int, 1999, 10(4): 259-264.
- [2] Watts NB, Harris ST, Genant HK. Treatment of painful osteoporotic vertebral fractures with percutaneous vertebroplasty or kyphoplasty[J]. Osteoporos Int, 2001, 12(6): 429-437.
- [3] Predey TA, Sewall LE, Smith SJ. Percutaneous vertebroplasty: new treatment for vertebral compression fractures[J]. Am Fam Physician, 2002, 66(4): 611-615.
- [4] Linville DA. Vertebroplasty and kyphoplasty[J]. Southern Med J, 2002, 95(6): 583-587.
- [5] Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture[J]. JAMA, 2001, 285(3): 320-323.
- [6] Galibert P, Deramond H, Rosat P, et al. Note préliminaire sur le traite-

- ment des angiomes vertébraux par vertébroplastie percutanée[J]. Neurochirurgie, 1987, 33(2): 166-168.
- [7] Mathis J, Petri M, Naf N. Percutaneous vertebroplasty treatment of steroid-induced osteoporotic compression fractures [J]. Arthritis Rheum, 1998, 41(1): 171-175.
- [8] Weill A, Chiras J, Simon JM, et al. Spinal metastase: indications for and result of percutaneous injection of acrylic surgical cement[J]. Radiology, 1996, 199(1): 241-247.
- [9] Martin JB, Jean B, Sugiu K, et al. Vertebroplasty: clinical experience and following-up results[J]. Bone, 1999, 25(suppl 2): 11-15.
- [10] Cotton A, Boutry N, Cortet B, et al. Percutaneous vertebroplasty: state of the art[J]. Radiographics, 1998, 18(2): 311-320.
- [11] Schlaich C, Minne HW, Bruckner T. Reduced pulmonary function in patient with spinal osteoporotic fractures[J]. Osteoporos Int, 1998, 8(4): 261-267.
- [12] Wong X, Reiley MA, Garfin S. Vertebroplasty/ kyphoplasty [J]. J Woman's Imaging, 2000, 2(1): 117-124.
- [13] Belkoff SM, Maroney M, Fenton DC, et al. An in vitro biomechanical evaluation of bone cements used in percutaneous vertebroplasty[J]. Bone, 1999, 25(2): 23-26.
- [14] Hardouin P, Fayada P, Leclerc H, et al. Kyphoplasty[J]. Joint Bone Spine, 2002, 69(3): 256-261.
- [15] Grados F, Depriester C, Cayrolle G, et al. Long-term observations of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty[J]. Rheumatology, 2000, 39(12): 1410-1414.
- [16] Chung SK, Lee SH, Kim DY, et al. Treatment of lower lumbar radiculopathy caused by osteoporotic compression fracture: the role of vertebroplasty[J]. J Spin Disord Techn, 2002, 15(6): 461-468.
- [17] Cortet B, Cotton A, Boutry N, et al. Percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: an open prospective study[J]. J Rheumatol, 1999, 26(10): 2222-2228.
- [18] McGraw JK, Heatwole EV, Strnad BT, et al. Predictive value of intraosseous venography before percutaneous vertebroplasty[J]. J Cardiovasc Intervention Radiol, 2002, 13(2): 149-153.
- [19] Nelson DA, Kleerekoper M, Havsta S, et al. Vertebral deformities in osteoporosis may be transient events: the "rebound" phenomenon [J]. J Bone Miner Res, 1991, 6(suppl): 275.
- [20] 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.
- [21] Hardouin P, Grados F, Cotton A, et al. Should percutaneous vertebroplasty be used to treat osteoporotic fractures? An update[J]. Joint Bone Spine, 2001, 68(3): 216-221.
- [22] Lane JM, Garardi FP, Khan SN, et al. Preliminary outcome of the first 226 consecutive kyphoplasties for the fixation of painful osteoporotic vertebral compression fractures[J]. J Bone Miner Res, 2000, 15(suppl 1): 198.
- [23] Heini PF, Berlemann U, Kaufmann M, et al. Augmentation of mechanical properties in osteoporotic vertebral bones a biomechanical investigation of vertebroplasty efficacy with different bone cements [J]. Eur Spine J, 2001, 10(2): 164-171.
- [24] Heini PF, Berlemann U. Bone substitutes in vertebroplasty[J]. Eur Spine J, 2001, 10(suppl 2): 205-213.
- [25] Ohura K, Hamanishi C, Tanaka S, et al. The healing of segmental bone defects, induced by bioresorbable calcium phosphate cement combined with rhBMP-2[J]. J Bioceramics, 1997, 9(2): 247-250.
- [26] Gerard C, Herve B, Herve P, et al. Experimental vertebroplasty using osteoconductive granular material [J]. Spine, 2000, 25(9): 1070-1076.
- [27] Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, et al. Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spine stabilization[J]. Spine, 2000, 25(8): 923-928.
- [28] Maynard AS, Jensen ME, Schweickert PA, et al. Value of bone scan imaging in predicting pain relief from percutaneous vertebroplasty in osteoporotic vertebral fractures[J]. Am J Neuroradiol, 2000, 21(10): 1807-1812.
- [29] Garfin SR, Yuan H, Deiley MA. New technology in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful body compression fractures[J]. Spine, 2001, 26(14): 1151-1175.
- [30] Bernhard J, Heini PF, Villiger PM. Asymptomatic diffuse pulmonary embolism caused by acrylic cement: an unusual complication of percutaneous vertebroplasty[J]. Ann Rheum Dis, 2003, 62(1): 85-86.
- [31] Chavali R, Resjiek R, Knight SK, et al. Extending polymerization time of polymethylmethacrylate cement in percutaneous vertebroplasty with ice bath cooling[J]. Am J Neuroradiol, 2003, 24(3): 545-546.
- [32] Belkoff, Stephen M, Mathis, et al. An ex vivo biomechanical evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture [J]. Spine, 2001, 26(2): 151-156.
- [33] Wilson DR, Myers ER, Mathis JM, et al. Effect of augmentation on the mechanics of vertebral wedge fractures[J]. Spine, 2000, 25(2): 158-165.
- [34] Lim TH, Brebach GT, Renner SM, et al. Biomechanical evaluation of an injectable calcium phosphate cement for vertebroplasty[J]. Spine, 2002, 27(12): 1297-1302.

(收稿日期: 2003-09-08)