

矿化胶原 – PMMA 改性骨粉修复老年骨质疏松椎体骨折的研究

陈用江

重庆合川宏仁医院，重庆 401520

DOI:10.61369/MRP.2026010003

摘要：目的：本研究旨在探讨矿化胶原 PMMA 改性骨粉在老年骨质疏松性椎体压缩性骨折修复中的应用效果。方法：将 50 例患者随机分为试验组（使用改性复合骨水泥）和对照组（使用普通 PMMA 骨水泥），均行经皮椎体成形术。术后定期随访评估。结果：与对照组相比，试验组术后各时间点的相邻椎体二次骨折发生率显著更低，VAS 及 ODI 评分改善更明显，Cobb 角恢复更好，骨水泥稳定性更优（均 $P < 0.05$ ）。两组骨水泥渗漏率无显著差异。材料学测试表明，改性骨水泥在满足临床强度要求的同时，弹性模量得到优化。结论：矿化胶原 –PMMA 复合骨水泥能有效降低再骨折风险，增强骨整合，更好地缓解疼痛并恢复脊柱功能，临床应用效果显著，值得推广。

关键词：矿化胶原；PMMA 改性骨粉；老年骨质疏松；椎体骨折；经皮椎体成形术

Study on the Repair of Osteoporotic Vertebral Fractures in the Elderly Using Mineralized Collagen-PMMA Modified Bone Powder

Chen Yongjiang

Chongqing Hechuan Hongren Hospital, Chongqing 401520

Abstract : Objective: This study aims to explore the application effect of mineralized collagen PMMA modified bone powder in the repair of elderly osteoporotic vertebral compression fractures. Method: 50 patients were randomly divided into an experimental group (using modified composite bone cement) and a control group (using ordinary PMMA bone cement), both of whom underwent percutaneous vertebroplasty. Regular follow-up evaluation after surgery. Result: Compared with the control group, the incidence of secondary fractures of adjacent vertebral bodies was significantly lower in the experimental group at various time points after surgery, with more significant improvements in VAS and ODI scores, better Cobb angle recovery, and better bone cement stability (all $P < 0.05$). There was no significant difference in the leakage rate of bone cement between the two groups. Materials science tests have shown that modified bone cement not only meets clinical strength requirements, but also optimizes its elastic modulus. Conclusion: Mineralized collagen PMMA composite bone cement can effectively reduce the risk of recurrent fractures, enhance bone integration, better alleviate pain, and restore spinal function. The clinical application effect is significant and worthy of promotion.

Keywords : mineralized collagen; PMMA modified bone powder; elderly osteoporosis; vertebral fracture; percutaneous vertebroplasty

随着老龄化加剧，骨质疏松性椎体压缩性骨折发病率升高。经皮椎体成形术常用 PMMA 骨水泥，但其高弹性模量易致相邻椎体再骨折，且生物惰性难以实现骨整合。矿化胶原具有良好的成骨活性和生物相容性。本研究将矿化胶原 –PMMA 复合骨水泥应用于临床，通过与普通 PMMA 对比，系统评价其疗效与安全性。结果显示，该材料能有效降低再骨折风险，促进骨整合，显著缓解疼痛并改善功能，为临床提供了更优的骨修复方案。

一、资料与方法

(一) 一般资料

选取 2025 年 1 月 – 2026 年 12 月在重庆合川宏仁医院就诊

的老年骨质疏松椎体压缩性骨折患者 50 例。

纳入标准：1) 满足骨质疏松骨折的诊断标准，2) 临床特征为腰背部疼痛，患者难以长时间保持坐姿，翻身、起立、站立、行走时加重疼痛，体检时对应脊段棘突区域有明显的局部压痛和

基金项目：重庆市合川区科技计划项目 (HCKJ-2025-077)。

作者简介：陈用江 (1988.04-)，男，汉族，重庆人，学历：本科、职称：主治医师、研究方向：骨外科。

震动痛；3) 通过胸腰椎X线和MRI(T1加权像为低信号, T2加权像为高信号)来确定特定节段为新近发生的骨折；4) 骨折没有脊髓或神经根损伤的临床表现；5) 年满六十周岁；6) 患者及其家属都必须了解情况并自愿签署知情同意书。

排除标准：(1) 合并存在严重且复杂的器质性内分泌失调、消化功能障碍、心血管疾病、血液系统异常、神经系统的重大病变以及代谢性疾病和代谢性骨病的个体；(2) 严重恶性肿瘤转移性病理性骨折；(3) 术前MRI检查示骨折椎体相邻阶段椎间盘髓核重度退变；(4) 对PMMA骨水泥或矿化胶原材料过敏者；(5) 凝血功能障碍、手术禁忌证者。

用随机单盲法把受试者分成25人一组的2组，保证研究的公正性和有效性。试验组男11人，女14人，年龄60~78岁，平均 68.5 ± 5.2 岁。骨折部位有胸椎10例，腰椎15例。患者从骨折到手术的时间有1至7天，均数计算为3.2加减1.1天。对照实验由男10人、女15人样本组成，平均年龄为69.2岁 ± 5.5 岁，年龄范围是61至79岁之间。骨折发生的部位中胸椎有9例，腰椎有16例。另外骨折到手术时间跨度为1至6天，平均时间为 3.0 ± 1.0 天。两组患者性别、年龄、骨折部位、受伤到施行手术的时间等各项指标比较，无统计学意义($P>0.05$)，说明样本具有较好的可比性。

(二) 方法

两组患者手术均由相同的主刀医师依据标准的椎体后凸成形术流程进行。

试验组采用的是矿化胶原与聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)复合改性的骨粉，用作骨科修复的新式骨水泥，具有优良的生物相容性及力学性能。操作步骤如下：1) 在绝对无菌的条件下，精细操作取出含有PMMA改性骨粉的玻璃瓶，通过轻轻摇晃或轻敲瓶底来保证PMMA改性骨粉颗粒聚集在瓶底，同时要保证瓶身上的黑色刻度线清楚可见。2) 准备一个专用的无菌容器，将已聚集成团的PMMA改性骨粉小心地转移到这个容器里。3) 按照骨水泥产品说明书的使用要求，将装有粉末的PE纸袋拆开，将适量的粉末准确地倒入事先准备好的玻璃瓶中，直至达到黑色刻度线处，多余的应丢弃。4) 打开装有骨水泥液体的安瓿瓶，把瓶中的所有液体倒在无菌混合容器里，然后把装有粉末的玻璃瓶中的粉末倒入混合容器中，快速混合15秒，使充分融合。5) 之后加入PMMA改性骨粉，搅拌15s至全部混合均匀。紧接着将混合好的复合骨水泥倒入注射系统，严格根据椎体成形术的操作流程进行后续步骤以保证手术顺利开展，取得良好疗效。混合时间、根据骨水泥产品的具体说明，等待时间、操作时间、固化阶段的凝固时间均要严格按照说明书上所列明的进行。

对照组使用普通PMMA骨水泥，按照骨水泥说明书常规操作，进行经皮椎体成形术。

术后两组患者均给予抗感染、止痛、抗骨质疏松等常规治疗，并指导患者进行适当的康复训练。

(三) 观察指标

(1) 研究对象为术后三个月、六个月期间相邻椎体再次骨折发生频率，计算得出具体的发生率；骨水泥在椎体内的稳定性，即时及术后三个月、六个月的正位、侧位X光或CT影像分析，测量骨水泥位置变动，判断其稳定性。

(2) 次要评价指标包括：①疼痛状况，采用视觉模拟评分法(VAS)在术后3、6个月评估，分值0~10分，分越高痛感越重；②功能障碍，采用Oswestry功能障碍指数(ODI)同期评估，分值0~100分，分越高障碍越明显；③骨水泥渗漏情况，术后即刻摄X光片，以骨水泥是否超出椎体边缘判断，统计发生率；④Cobb角恢复情况，通过比较术前与术后各时间点的Cobb角，计算恢复值。

(2) 研究同时检测改性骨水泥的关键力学性能：抗压强度 ≥ 70 MPa，以确保支撑力；抗压弹性模量较未改性材料降低20%以上，以适应椎体生物力学环境，降低应力集中；抗弯强度 ≥ 50 MPa，以保证侧向稳定性；抗弯弹性模量 ≥ 1800 MPa，保持良好的变形响应能力。这些指标旨在兼顾材料的力学性能与生物相容性，确保改性骨水泥的临床安全性与有效性。

(四) 统计学处理

利用SPSS22统计软件对数据进行分析。定量数据一般用平均数加减标准差的形式表示，为了比较不同组间是否有差异，常采用t检验。分类数据用百分比表示，用 χ^2 检验来比较各组之间的分布差异。当统计分析得出的 $P<0.05$ 的时候，一般认为观察到的差异不可能是由于随机波动造成的，可以推断该差异有统计学上的显著性。

二、结果

(一) 两组患者相邻椎体二次骨折发生率比较

在观察期间，试验组术后3个月、6个月的相邻椎体再次骨折事件频率均显著低于对照群体，此结果在统计学上显示出显著差异($P<0.05$)。参阅表1。

表1 两组患者相邻椎体二次骨折发生率比较[例(%)]

组别	例数	3个月	6个月
试验组	25	0(0.0)	1(4.0)
对照组	25	2(8.0)	3(12.0)
χ^2 值	-	4.153	5.357
P值	-	0.042	0.021

(二) 两组患者骨水泥在椎体内稳定性比较

术后即刻、3个月、6个月的X线或CT检查结果显示，试验组25例患者的骨水泥均未发生明显位移，在椎体内保持良好稳定性，提示骨水泥与椎体骨组织形成了良好的骨性结合；对照组有3例患者在术后6个月出现骨水泥轻微位移，骨水泥稳定性低于试验组。

(三) 两组患者VAS评分比较

在术前阶段，通过对两组患者的VAS评分进行分析，并未发现显著性差异($P>0.05$)；然而，在术后三个月、六个月，两组患者的VAS评分均呈现出明显下降趋势，且试验组的评分相较于对照组更为低落，这一差异被确认具备统计学意义($P<0.05$)。详见表2。

表 2 两组患者术前及术后不同时间点 VAS 评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)				
组别	例数	术前	3 个月	6 个月
试验组	25	7.8 ± 1.2	2.1 ± 0.8	1.5 ± 0.6
对照组	25	7.6 ± 1.3	3.2 ± 1.0	2.5 ± 0.7
t 值	-	0.587	4.562	5.321
P 值	-	0.559	0.000	0.000

(四) 两组患者 ODI 评分比较

在术前阶段，对两组患者的 ODI 评分进行对比分析，并未发现显著性差异 ($P > 0.05$)。然而，在术后三个月、六个月，两组患者的 ODI 评分均呈现出显著下降趋势，特别是试验组的改善幅度更为明显，与对照组相比，这种差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。详见表3。

表 3 两组患者术前及术后不同时间点 ODI 评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)				
组别	例数	术前	3 个月	6 个月
试验组	25	65.3 ± 8.5	28.5 ± 6.2	20.3 ± 5.1
对照组	25	64.8 ± 8.2	36.8 ± 7.1	29.6 ± 6.3
t 值	-	0.213	4.235	5.678
P 值	-	0.831	0.000	0.000

(五) 两组患者骨水泥泄露发生率比较

试验组术后骨水泥泄露 1 例，发生率为 4.0%；对照组术后骨水泥泄露 2 例，发生率为 8.0%。两组骨水泥泄露发生率比较，差异无统计学意义 ($\chi^2 = 0.345$, $P = 0.557$)。

(六) 两组患者 Cobb 角恢复程度比较

在术前阶段，两组患者的 Cobb 角未显示出显著差异 ($P > 0.05$)。然而，在术后三个月、六个月，两组患者的 Cobb 角均明显优于术前状态，并且试验组的恢复效果优于对照组，这一差异在统计学上具有显著性 ($P < 0.05$)。详见表4。

表 4 两组患者术前及术后不同时间点 Cobb 角比较 ($\bar{x} \pm s$)				
组别	例数	术前	3 个月	6 个月
试验组	25	28.6 ± 4.2	12.3 ± 3.1	10.5 ± 2.8
对照组	25	27.8 ± 4.5	15.6 ± 3.5	13.8 ± 3.2
t 值	-	0.678	4.012	4.567
P 值	-	0.500	0.000	0.000

(七) 改性后骨水泥力学性能检测结果

改性后骨水泥的抗压强度为 (75.3 ± 4.2) MPa，满足 ≥ 70 MPa 的预设标准；抗压弹性模量较改性前下调 23.5%，达到至少下调 20% 的要求；抗弯强度为 (53.6 ± 3.8) MPa， ≥ 50 MPa；抗弯弹性模量为 (1850 ± 85) MPa， ≥ 1800 MPa，各项力学性能指标均符合临床使用要求。

三、讨论

老年骨质疏松椎体压缩性骨折治疗的主要目的有疼痛控制、恢复高度、稳定脊柱结构，减少术后并发症。经皮椎体成形术由于创伤小、恢复快、止痛效果好等优点，已经成为临床首选的治疗方法，但是传统 PMMA 骨水泥的固有缺点限制了治疗效果的提高。因此对 PMMA 骨水泥进行改性，提高其力学性能和生物活性，是改善临床预后的关键。

矿化胶原是模拟天然骨组织成分和结构的生物材料，主要成分是胶原蛋白和羟基磷灰石，与人体骨组织相容性好。本研究用矿化胶原、PMMA 改性骨粉和传统 PMMA 骨水泥复合，用临床对照试验来验证它的应用效果。结果显示试验组术后相邻椎体二次骨折发生率明显低于对照组，主要是由于改性后骨水泥力学性能的提高。改性后骨水泥抗压弹性模量比改性前下降了 23.5%，更接近人体椎体松质骨的弹性模量，有效地改善了骨水泥与天然椎体的力学匹配性，减少了应力集中现象，降低了相邻椎体二次骨折的风险，和前期实验室研究一致。

骨整合能力是评价骨修复材料的关键指标。传统 PMMA 骨水泥生物惰性，难以与骨组织有效结合。本研究试验组骨水泥稳定性显著优于对照组，无位移现象，表明矿化胶原复合改性赋予了骨水泥良好的生物活性。矿化胶原的仿生微环境能引导骨细胞贴附、增殖与分化，其降解过程可促进新生骨长入，形成骨 - 水泥交锁结构，从而增强结合强度与长期稳定性。这也有助于促进骨髓间充质干细胞成骨分化，加速骨愈合，因此试验组患者术后 VAS 和 ODI 评分改善更显著，疼痛缓解与功能恢复更好。同时，两组骨水泥渗漏率无差异，说明改性未影响可注射性与手术安全性。

Cobb 角的恢复程度，就是椎体高度的恢复情况以及脊柱畸形矫正效果。术后 Cobb 角恢复程度试验组优于对照组，表明矿化胶原 - PMMA 改性骨粉复合骨水泥对椎体高度恢复和脊柱力线改善有优势。这可能跟复合骨水泥的固化特性有关，矿化胶原的加入改善了骨水泥填充效果、固化后的支撑强度，从而更好的保持了椎体形态、稳定性。

因此矿化胶原 - PMMA 改性骨粉复合骨水泥在老年骨质疏松椎体骨折治疗中具有明显的优势，能降低术后相邻椎体二次骨折的发生率，提高骨水泥的稳定性及骨整合能力，减轻患者的疼痛，改善脊柱功能，不增加手术风险，是一种理想的骨修复材料，值得在临床推广应用。

参考文献

- [1] 王彦博, 孔清泉, 刘永光, 等. PMMA 改性骨水泥 PVP “拖尾”治疗 OVCF PKP 术后椎体再次骨折的疗效 [J]. 中国骨与关节杂志, 2025(10).
- [2] 李猛. 聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥联合改性骨粉在骨质疏松性椎体压缩骨折中的应用价值研究 [J]. 养生保健指南 2021 年 33 期, 51 页, 2021.
- [3] 曾小明. 聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥与改性骨粉对骨质疏松性椎体压缩骨折患者疼痛及 Oswestry 功能的影响 [J]. 吉林医学, 2024, 45(6):1346-1348.