

# 比较聚甲基丙烯酸甲酯与自固化磷酸钙骨水泥在椎体成形中应用效果的 Meta 分析

https://doi.org/10.12307/2022.106

欧梁<sup>1</sup>, 孔德忠<sup>2</sup>, 徐道情<sup>2</sup>, 倪景<sup>2</sup>, 付兴前<sup>2</sup>, 黄维琛<sup>1</sup>

投稿日期: 2020-09-21

送审日期: 2020-09-23

采用日期: 2020-10-30

在线日期: 2021-02-25

中图分类号:

R459.9; R364; R608

文章编号:

2095-4344(2022)04-00649-08

文献标识码: A

## 文章快速阅读:

### Meta 分析:

椎体成形术中应用聚甲基丙烯酸甲酯与自固化磷酸钙骨水泥填充治疗骨质疏松性椎体骨折。

### 干预措施:

(1) 试验组: 聚甲基丙烯酸甲酯;  
(2) 对照组: 自固化磷酸钙。

### 文章特点—

△聚甲基丙烯酸甲酯是目前椎体成形术中最常用的填充材料, 而自固化磷酸钙骨水泥是一种能够与骨组织自然愈合且被人体吸收和替代的新型填充材料, 可作为前者较为理想的替代材料; 文章首次采用系统评价比较两者在椎体成形术中的临床疗效;

△通过 Meta 分析发现在椎体成形术中应用磷酸钙骨水泥比聚甲基丙烯酸甲酯能更有利于降低邻近椎体骨折的发生; 而两种材料对于减轻骨质疏松症患者术后疼痛、改善 Oswestry 功能评分、恢复椎体形态、降低骨水泥渗漏率的治疗效果相当。

### 干预措施:

(1) 与聚甲基丙烯酸甲酯相比, 在椎体成形术中应用磷酸钙骨水泥对于减少邻近椎体骨折具有显著优势;  
(2) 两种填充材料在疼痛目测类比分、椎体后凸 Cobb 角、椎体高度、骨水泥渗漏率、Oswestry 功能障碍指数、临床疗效有效率等方面疗效相当。

### 干预措施:

(1) 目测类比分;  
(2) 椎体后凸 Cobb 角;  
(3) 椎体高度;  
(4) 骨水泥渗漏率;  
(5) 邻近椎体骨折率;  
(6) Oswestry 功能障碍指数;  
(7) 临床疗效有效率。

## 文题释义:

**自固化磷酸钙骨水泥:** 是一种新型人工骨替代材料, 具有良好的生物相容性和骨传导性, 由磷酸钙粉末和固化液两部分组成, 使用时将两者按一定比例调和成膏状, 广泛用于临床骨缺损修复。

**椎体成形术:** 一种经皮微创手术, 是通过建立工作通道向病变椎体内注入骨水泥或人工骨达到强化椎体的技术。

## 摘要

**目的:** 椎体成形术广泛应用于骨质疏松性椎体骨折的治疗, 目前聚甲基丙烯酸甲酯仍是强化椎体最常用的填充材料, 但其并非是最理想的填充材料。自固化磷酸钙骨水泥是近年来研制成功的一种能够与骨组织自然愈合且被人体吸收和替代的新型填充材料。文章系统评价两种填充材料应用于椎体成形术中的临床疗效和安全性。

**方法:** 检索中国知网、万方、维普、中国生物医学文献、PubMed、EMbase、Cochrane Library 数据库中有聚甲基丙烯酸甲酯与自固化磷酸钙骨水泥治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的临床对照研究, 检索时间均从建库至2020年7月。以目测类比分、椎体后凸 Cobb 角、椎体高度、骨水泥渗漏率、邻近椎体骨折率、Oswestry 功能障碍指数和临床疗效作为结局指标。由2名研究员独立进行文献筛选、数据提取及研究质量评估, 其中随机对照试验采用“Cochrane 偏倚风险评估工具”评估质量, 队列研究采用 Newcastle-Ottawa 量表评估质量, 并使用 RevMan 5.4 软件进行 Meta 分析。

**结果:** ①最终纳入9项研究, 其中有5项随机对照试验和4项回顾性队列研究, 文献总体质量较高, 共593例患者; ②Meta 分析结果显示: 两种填充材料在术后疼痛目测类比分(SMD=-0.45, 95%CI: -1.10-0.21, P=0.18)、椎体后凸 Cobb 角(MD=-0.16, 95%CI: -0.43-0.11, P=0.24)、椎体高度(SMD=0.13, 95%CI: -0.12-0.37, P=0.32)、骨水泥渗漏率(OR=1.30, 95%CI: 0.67-2.54, P=0.44)、Oswestry 功能障碍指数(MD=3.31, 95%CI: -1.34-7.97, P=0.16)、临床疗效有效率(OR=1.00, 95%CI: 0.14-7.27, P=1.00)等方面差异均无显著性意义; 但在邻近椎体新发骨折方面, 自固化磷酸钙骨水泥组明显优于聚甲基丙烯酸甲酯组(OR=2.17, 95%CI: 1.04-4.51, P=0.04)。

**结论:** 与聚甲基丙烯酸甲酯相比, 在椎体成形术中应用自固化磷酸钙骨水泥对于减少邻近椎体骨折具有显著优势, 在疼痛目测类比分、椎体后凸 Cobb 角、椎体高度、骨水泥渗漏率、Oswestry 功能障碍指数等方面疗效相当, 但仍需更多高质量的随机对照研究提供更充足的证据。

**关键词:** 骨; 骨质疏松症; 骨折; 磷酸钙; 聚甲基丙烯酸甲酯; 骨水泥; 椎体成形术; 椎体; Meta 分析

## Comparative clinical efficacy of polymethyl methacrylate and self-solidifying calcium phosphate cement in vertebroplasty: a meta-analysis

Ou Liang<sup>1</sup>, Kong Dezhong<sup>2</sup>, Xu Daoqing<sup>2</sup>, Ni Jing<sup>2</sup>, Fu Xingqian<sup>2</sup>, Huang Weichen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550003, Guizhou Province, China;

<sup>2</sup>Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550312, Guizhou Province, China

Ou Liang, MD, Associate chief physician, Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550003, Guizhou Province, China

<sup>1</sup>贵州中医药大学第二附属医院骨科, 贵州省贵阳市 550003; <sup>2</sup>贵州中医药大学, 贵州省贵阳市 550312

第一作者: 欧梁, 男, 1989 年生, 湖南省永州市人, 汉族, 2018 年湖南中医药大学毕业, 博士, 副主任医师, 主要从事骨关节病研究。

通讯作者: 黄维琛, 硕士, 主任医师, 硕士生导师, 贵州中医药大学第二附属医院骨科, 贵州省贵阳市 550003

https://orcid.org/0000-0002-9106-8585(欧梁)

基金资助: 贵州省中医药管理局课题(QZYY-2019-031), 项目负责人: 欧梁; 国家级大学生创新创业训练计划项目(201910662012),

项目负责人: 倪景

引用本文: 欧梁, 孔德忠, 徐道情, 倪景, 付兴前, 黄维琛. 比较聚甲基丙烯酸甲酯与自固化磷酸钙骨水泥在椎体成形中应用效果的 Meta 分析[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(4):649-656.



**Corresponding author:** Huang Weichen, Master, Chief physician, Master's supervisor, Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550003, Guizhou Province, China

## Abstract

**OBJECTIVE:** Vertebroplasty is widely used in the treatment of osteoporotic vertebral fractures. At present, polymethyl methacrylate is still the most commonly used filling material for strengthening vertebral body, but it is not the most ideal filling material. Self-curing calcium phosphate cement is a new filling material developed in recent years, which can naturally heal with bone tissue and be absorbed and replaced by the human body. This meta-analysis systematically analyzed the clinical efficacy and safety of polymethyl methacrylate and self-solidifying calcium phosphate cement in vertebroplasty.

**METHODS:** China National Knowledge Infrastructure, Wanfang database, Chinese Biomedical Medicine database, PubMed, Embase, and Cochrane Library database were retrieved for clinical control studies regarding with polymethyl methacrylate and self-solidifying calcium phosphate cement treatment of osteoporotic vertebral compression fracture. The retrieval period was from the database inception to July 2020. The visual analogue scale score, vertebral kyphosis Cobb angle, vertebral body height, bone cement leakage rate, adjacent vertebral fracture rate, Oswestry dysfunction index, and clinical curative effect were used as the outcome indexes. All the literature screening, data extraction and research quality evaluation were carried out independently by two reviewers. In addition, the Cochrane Collaboration tool and the Newcastle-Ottawa scale were used to evaluate the quality of randomized controlled trials and cohort studies, respectively. RevMan 5.4 software was used for meta-analysis.

**RESULTS:** (1) A total of nine studies involving 593 patients were included in the meta-analysis; five of which were randomized controlled trials, and four were retrospective cohort studies. All of the selected studies were of high quality. (2) Meta-analysis results showed that there was no significant difference between the two filling materials in the following aspects, including visual analogue scale score ( $SMD=-0.45$ ,  $95\%CI:-1.10-0.21$ ,  $P=0.18$ ), Cobb angle of vertebral kyphosis ( $MD=-0.16$ ,  $95\%CI:-0.43-0.11$ ,  $P=0.24$ ), height of vertebral body ( $SMD=0.13$ ,  $95\%CI:-0.12-0.37$ ,  $P=0.32$ ), leakage rate of bone cement ( $OR=1.30$ ,  $95\%CI:0.67-2.54$ ,  $P=0.44$ ), Oswestry disability index ( $MD=3.31$ ,  $95\%CI:-1.34-7.97$ ,  $P=0.16$ ), and clinical effective rate ( $OR=1.00$ ,  $95\%CI:0.14-7.27$ ,  $P=1.00$ ). However, in terms of new fractures of adjacent vertebrae, the calcium phosphate cement group was significantly better than the polymethyl methacrylate group ( $OR=2.17$ ,  $95\%CI:1.04-4.51$ ,  $P=0.04$ ).

**CONCLUSION:** The application of calcium phosphate cement in vertebroplasty has a significant advantage in reducing adjacent vertebral fractures compared with polymethyl methacrylate. The curative effect is similar in pain visual analogue scale score, vertebral kyphosis Cobb angle, vertebral body height, bone cement leakage rate, and Oswestry dysfunction index. However, more high-quality randomized controlled trials are needed to provide more sufficient evidence.

**Key words:** bone; osteoporosis; fracture; calcium phosphate; polymethyl methacrylate; bone cement; vertebroplasty; vertebral body; meta-analysis

**Funding:** the Project of Guizhou Administration of Traditional Chinese Medicine, No. QZYY-2019-031 (to OL); the National College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program, No. 201910662012 (to NJ)

**How to cite this article:** OU L, KONG DZ, XU DQ, NI J, FU XQ, HUANG WC. Comparative clinical efficacy of polymethyl methacrylate and self-solidifying calcium phosphate cement in vertebroplasty: a meta-analysis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2022;26(4):649-656.

## 0 背景 Background

椎体成形术是治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的一种有效且目前应用广泛的疗法,包括椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)和经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)两种微创手术技术,通常在局麻下操作,患者耐受性好<sup>[1]</sup>。同时,大量临床研究表明椎体成形术能够迅速提高椎体强度,并缓解骨质疏松性椎体压缩骨折患者疼痛和改善躯体活动<sup>[2-3]</sup>。此类手术通过将骨水泥填充到骨折椎体中,实现损伤椎体的力学稳定<sup>[4]</sup>,因此填充材料的选择成为影响手术效果的重要因素。

目前,用于椎体成形术的填充材料包括可注射的聚甲基丙烯酸甲酯(polymethylmethacrylate, PMMA)、复合骨水泥、可生物降解骨水泥和磷酸钙骨水泥(calcium phosphate cement, CPC)等,不同填充材料对椎体的生物力学性能有不同的影响,从而对相邻椎体产生不同的生物力学效应<sup>[5]</sup>。其中,PMMA是椎体成形术中最常用的填充材料<sup>[6]</sup>,具有制备及注入方便、生物力学性能强等优点,

然而PMMA的临床应用也存在一些固有的、不可避免的缺陷,如在注射过程中容易渗漏,导致脊髓和神经损伤,PMMA过度增强了椎体的机械强度,可能会导致邻近的椎体骨折<sup>[7]</sup>,此外,PMMA不能被生物降解,给日后伤椎内固定手术造成困难<sup>[8]</sup>。为了避免这些问题,一种新型的可生物降解的磷酸钙骨水泥填充材料已被研发用于椎体成形术,和PMMA相比,CPC具有较好的骨传导效应和良好的生物相容性,且兼有较强的骨诱导能力,这让CPC成为椎体成形术中有潜在应用价值的填充材料<sup>[9-11]</sup>。虽然CPC是椎体成形术中PMMA的一种较为理想的替代材料,但CPC主要的不足之处在于其吸收降解过快,导致椎体强化失败,椎体力学稳定性降低,甚至引起患椎再骨折<sup>[12-13]</sup>。

PMMA与CPC是常用于修复和促进骨组织损伤后形态和功能的生物替代材料,两者在修复骨质疏松性椎体骨折方面各有利弊,至于哪种是最佳填充材料目前还未达成共识,并且尚无比较PMMA与CPC在修复骨质疏松性椎体压缩骨折中临

床疗效的Meta分析。故作者检索国内外关于PMMA对比CPC在椎体成形术中修复骨质疏松性椎体压缩骨折的临床对照研究,采用Meta分析比较两种填充材料在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折中的临床疗效和安全性,为椎体成形术中填充材料的选择与临床应用提供参考。

## 1 资料和方法 Data and methods

### 1.1 资料来源

1.1.1 检索者 第一、二作者。

1.1.2 资料库 中国知网、万方、维普、中国生物医学文献、PubMed、Embase、Cochrane Library 数据库。

1.1.3 检索词 中文检索词:“聚甲基丙烯酸甲酯、PMMA、磷酸钙、CPC、骨质疏松”;英文检索词:“polymethylmethacrylate, PMMA, calcium phosphate, CPC, osteoporosis”。

1.1.4 检索时间范围 各数据库建库至2020年7月。

1.1.5 文献检索策略 采取主题词和自由词相结合的检索方式,同时,通过手工检索纳入研究的参考文献以对电子检索进行

补充。文献检索由 2 名检索者独立进行并交叉核对结果。

中国知网和 PubMed 数据库的检索策略, 见图 1。

中国知网	PubMed
#1 聚甲基丙烯酸甲酯 in 主题	#1 Polymethyl Methacrylate [Mesh]
#2 PMMA in 主题	#2 polymethylmethacrylate
#3 #1 OR #2	[Title/Abstract]
#4 磷酸钙 in 主题	#3 PMMA [Title/Abstract]
#5 CPC in 主题	#4 #1 OR #2 OR #3
#6 #4 OR #5	#5 calcium phosphate [Mesh]
#7 骨质疏松 in 主题	#6 calcium phosphate [Title/Abstract]
#8 #3 AND #6 AND #7	#7 CPC [Title/Abstract]
	#8 #5 OR #6 OR #7
	#9 osteoporosis [Mesh]
	#10 osteoporosis[Title/Abstract]
	#11 #9 OR #10
	#12 #4 AND #8 AND #11

图 1 | 中国知网和 PubMed 数据库的检索策略  
Figure 1 | Retrieval strategy of China National Knowledge infrastructure and PubMed

## 1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①文献中研究对象是诊断为原发性骨质疏松性椎体骨折的患者; ②干预措施为椎体成形术(包括 PVP 和 PKP), 并应用自固化磷酸钙骨水泥与聚甲基丙烯酸甲酯相比较的临床研究; ③结局指标中有以下 1 项及以上者, 如: 目测类比分、椎体后凸 Cobb 角、椎体高度、骨水泥渗漏率、邻近椎体骨折、Oswestry 功能障碍指数和临床疗效有效率; ④研究类型包括随机对照研究和队列研究, 语言不限。

1.2.2 排除标准 ①术前诊断为骨质疏松性椎体压缩性骨折伴有神经损害、原发或转移瘤性椎体骨折、椎体血管瘤等研究; ②未明确手术方式为椎体成形术的研究; ③动物研究、尸体上材料的生物力学研究、综述等文献。

1.3 数据提取 先应用文献管理软件 NoteExpress 对检索到的文献进行去重, 再通过浏览文题及摘要进行初筛, 最后仔细阅读全文得到最终纳入的研究。采用预先设置的数据提取表对合格的研究进行数据提取, 表内信息包括: 第一作者、发表年份、研究类型、干预措施、随访、结局

指标。若文献存在缺失的数据则尽可能通过联系通讯作者获取。上述文献筛选及数据提取过程均由 2 名评论员独立完成, 并交叉核对, 如通过协商仍存在分歧, 即交由第 3 名评论员仲裁。

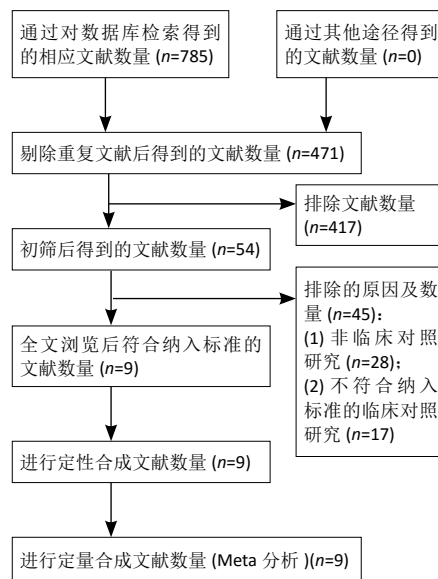
1.4 文献质量评价 由 2 名评论员根据相应的评价标准对每项纳入研究的方法学质量进行评估, 如存在分歧, 便与第三名评论员通过协商讨论一致解决。其中, 随机对照研究采用“Cochrane handbook”中的“Cochrane 偏倚风险评估工具”进行偏倚风险评估<sup>[14]</sup>, 评估内容包括以下 7 个方面: ①随机序列产生; ②分配隐藏; ③对研究者和受试者施盲; ④对研究结果评价施盲; ⑤结果数据的完整性; ⑥选择性报告研究结果; ⑦其他偏倚。而队列研究采用 Newcastle-Ottawa 量表评价文献质量, 该量表主要从研究人群选择、组间可比性及结局测量 3 个方面评价, 总分为 9 分, 6 分及以上说明文献质量较高<sup>[15]</sup>。

1.5 结局指标 主要结局指标为疼痛目测类比分, 次要结局指标包括椎体后凸 Cobb 角、椎体高度、骨水泥渗漏率、邻近椎体骨折、Oswestry 功能障碍指数、临床疗效。

1.6 统计学分析 应用 Cochrane 协作网提供的 RevMan 5.4 软件 (<https://www.cochrane.org/>) 进行数据分析。其中, 连续性变量中测量方法及单位相同者采用均数差 (mean difference, MD) 为效应量, 若测量方式或单位不一致则采用标准化均数差 (standardized mean difference, SMD), 而二分类变量采用比值比 (odds ratio, OR) 作为效应量, 两者均以 95%CI 表示。纳入研究的异质性用 Pearson  $\chi^2$  和  $I^2$  检验进行分析, 若  $P > 0.1$ , 表示各研究间不存在异质性, 若  $P < 0.1$ , 表示各研究间存在异质性; 当  $I^2=0$  时, 表示各研究间是完全同质的, 当  $I^2 > 50\%$  时, 表示存在明显的异质性; 若各研究间不存在明显的异质性, 应用固定效应模型进行分析, 否则, 在排除明显的异质来源后, 采用随机效应模型进行分析。应用逐一排除文献、重新分析的方法进行敏感性分析。以  $P < 0.05$  表示差异有显著性意义。

## 2 结果 Results

2.1 文献检索结果 共检索到 785 篇文献 (中文 741 篇, 英文 44 篇), 利用 NoteExpress 软件删除重复的文献后剩下 471 篇, 根据纳入及排除标准, 通过阅读文题及摘要, 将明显不符合的文献初筛后得到 54 篇, 再通过仔细阅读全文, 获得最终纳入分析的文献有 9 篇<sup>[16-24]</sup>。具体文献检索及筛选流程, 见图 2。



图注: 各数据库初检文献中, 中国知网 (164 篇), 万方 (281 篇), 维普 (103 篇), 中国生物医学文献 (193 篇), PubMed (28 篇), EMBASE (11 篇), Cochrane Library (5 篇)

图 2 | 文献筛选流程图

Figure 2 | Flow chart of literature retrieval and screening

2.2 纳入研究的基本特征 纳入的 9 篇文献中, 中文 7 篇<sup>[16-21, 24]</sup>, 英文 2 篇<sup>[22-23]</sup>, 有 5 篇为随机对照试验<sup>[16-18, 21-22]</sup>, 另 4 篇为队列研究<sup>[19-20, 23-24]</sup>, 共 593 例患者, 其中 PMMA 组 300 例, CPC 组 293 例, 纳入文献基本特征, 见表 1。

2.3 文献质量评价结果 有 5 项随机对照研究采用 Cochrane 风险偏倚评估工具进行评价<sup>[16-18, 21-22]</sup>, 其中 1 篇未提及随机方法<sup>[21]</sup>, 此 5 项研究均未描述盲法, 在随访偏倚、报告偏倚和其他偏倚方面, 均为低风险。此外, 有 4 项队列研究采用 Newcastle-Ottawa 量表评价质量<sup>[19-20, 23-24]</sup>, 其中, 有 3 篇中文文献评分都为 7 分<sup>[19-20, 24]</sup>, 另外 1 篇英文文献为 9 分<sup>[23]</sup>。可见纳入研究的总体文献质量较高, 具体文献质量评价结果, 见图 3 和表 2。

## 2.4 Meta 分析结果

2.4.1 各组疼痛目测类比评分比较 有 7 篇文献报告了术后目测类比评分<sup>[16-17, 19-23]</sup>, PMMA 组 223 例, CPC 组 222 例, 各研究间存在明显的异质性 ( $P < 0.1$ ,  $I^2=90%$ ), 根据手术方式 (PKP 或 PVP)、术后疼痛评估时间 ( $\leq 7$  d 或  $> 7$  d) 进行亚组分析后, 均未明显降低异质性; 再行逐一去除研究的敏感性分析, 未发现异质性明显降低, 经分析和处理后仍无法获得异质性来源, 故采用随机效应模型进行 Meta 分析, 结果显示两组间目测类比评分无显著差异 ( $SMD= -0.45$ ,  $95\%CI: -1.10-0.21$ ,  $P=0.18$ )。根据手术方式不同分为 2 个亚组 (PKP 与 PVP) 进行 Meta 分析, 有 5 篇术式为 PKP<sup>[17, 19, 21-23]</sup>, 另外 2 篇为 PVP<sup>[16, 20]</sup>, 结果表明 PMMA 和 CPC 两种不同的填充材料在 PKP 和 PVP 术后的疼痛目测类比评分方面也均无显著性差异 ( $SMD= -0.48$ ,  $95\%CI: -1.41-0.46$ ,  $P=0.32$ ) 和 ( $SMD=-0.38$ ,  $95\%CI: -1.56-0.80$ ,  $P=0.53$ ), 见图 4。

2.4.2 各组椎体后凸 Cobb 角比较 有 7 项研究报道了术后椎体后凸 Cobb 角<sup>[16-21, 24]</sup>, PMMA 组 252 例, CPC 组 245 例, 各研究间不存在异质性 ( $P=0.72$ ,  $I^2=0%$ ), 采用固定效应模型进行 Meta 分析, 结果显示术后 PMMA 组和 CPC 组在椎体后凸 Cobb 角恢复方面的差异无显著性意义 ( $MD=-0.16$ ,  $95\%CI: -0.43-0.11$ ,  $P=0.24$ )。根据手术方式不同分为 2 个亚组 (PKP 与 PVP) 进行 Meta 分析, 有 3 篇术式为 PKP<sup>[17, 19, 21]</sup>, 另外 4 篇为 PVP<sup>[16, 18, 20, 24]</sup>, 结果表明 PMMA 和 CPC 两种不同的填充材料分别在 PKP 和 PVP 术后椎体后凸 Cobb 角恢复方面也均无显著性差异 ( $MD=-0.18$ ,  $95\%CI: -1.64-0.29$ ,  $P=0.46$ ) 和 ( $MD=-0.15$ ,  $95\%CI: -0.48-0.17$ ,  $P=0.35$ ), 见图 5。

2.4.3 各组椎体高度比较 有 5 篇文献比较了术后椎体高度<sup>[16-18, 21, 23]</sup>, PMMA 组 190 例, CPC 组 193 例, 各研究间无明显异质性 ( $P=0.22$ ,  $I^2=31%$ ), 采用固定效应模型进行 Meta 分析, 结果显示两组间术后椎体高度无显著差异 ( $SMD=0.13$ ,  $95\%CI: -0.12-0.37$ ,  $P=0.32$ )。进一步亚组分析结果表明 PMMA 和 CPC 两种不

同的填充材料在 PKP 和 PVP 术后椎体高度的差异均无显著性意义 ( $SMD=0.21$ ,  $95\%CI: -0.20-0.62$ ,  $P=0.31$ ) 和 ( $SMD=0.05$ ,  $95\%CI: -0.34-0.43$ ,  $P=0.81$ ), 见图 6。

2.4.4 各组骨水泥渗漏率比较 有 5 项研究报道了两种填充材料在术中骨水泥渗漏情况<sup>[16, 19-22]</sup>, PMMA 组 172 例, CPC 组 167 例, 各研究间不存在异质性 ( $P=0.97$ ,  $I^2=0%$ ), 采用固定效应模型进行 Meta 分析, 结果显示术后 PMMA 组和 CPC 组在骨水泥渗漏方面无显著差异 ( $OR=1.30$ ,  $95\%CI: 0.67-2.54$ ,  $P=0.44$ )。亚组分析结果表明 PMMA 和 CPC 两种不同的填充材料在 PKP 和 PVP 术中骨水泥渗漏率的差异均无显著性意义 ( $OR=1.08$ ,  $95\%CI: 0.44-2.67$ ,  $P=0.87$ ) 和 ( $OR=1.63$ ,  $95\%CI: 0.60-4.39$ ,  $P=0.34$ ), 见图 7。

2.4.5 各组邻近椎体骨折率比较 有 5 项研究提供了两种填充材料在术后邻近椎体骨折方面数据<sup>[16-19, 23]</sup>, 且各研究间不存在异质性 ( $P=0.53$ ,  $I^2=0%$ ), 采用固定效应模型进行 Meta 分析, 结果表明同 PMMA 相比, 在预防邻近椎体骨折方面 CPC 更具有优势 ( $OR=2.17$ ,  $95\%CI: 1.04-4.5$ ,  $P=0.02$ )。亚组分析结果表明两种材料在 PKP 术后邻近椎体骨折的差异无显著性意义 ( $OR=1.50$ ,  $95\%CI: 0.60-3.74$ ,  $P=0.39$ ), 但在 PVP 术中, CPC 在预防邻近椎体骨折方面比 PMMA 更为有效 ( $OR=4.07$ ,  $95\%CI: 1.10-15.05$ ,  $P=0.04$ ), 见图 8。

2.4.6 各组 Oswestry 功能障碍指数比较 有 3 项研究报道了两种填充材料术后 Oswestry 功能障碍指数<sup>[16-18]</sup>, 有 1 项研究涉及 PKP 术<sup>[17]</sup>, 有 2 项研究涉及 PVP 术<sup>[16, 18]</sup>, 各研究间存在明显的异质性 ( $P < 0.1$ ,  $I^2=92%$ ), 采用随机效应模型分析, 结果显示 PMMA 组和 CPC 组在术后功能障碍方面无显著性差异 ( $MD=3.31$ ,  $95\%CI: -1.34-7.97$ ,  $P=0.16$ ), 见图 9。

2.4.7 各组临床疗效有效率比较 有 2 项研究比较了两种填充材料在治疗后的临床疗效<sup>[17-18]</sup>, PMMA 组和 CPC 组各 85 例, 研究间不存在异质性 ( $P=1.00$ ,  $I^2=0%$ ), 采用固定效应模型进行 Meta 分析, 结果显示两组间临床有效率无显著差异 ( $OR=1.00$ ,  $95\%CI: 0.14-7.27$ ,  $P=1.00$ ), 见图 10。

2.5 敏感性分析结果 逐一去除各项研究进行敏感性分析发现, 两组在椎体后凸 Cobb 角、椎体高度、骨水泥渗漏率等方面结果较稳定; 而疼痛目测类比评分在去除王雪峰等<sup>[17]</sup>的研究、邻近椎体骨折率在去除余智等<sup>[16]</sup>、王雪峰等<sup>[17]</sup>或徐爱敬等<sup>[18]</sup>的研究、以及 Oswestry 功能障碍指数去除余智等<sup>[16]</sup>的研究后, 效应量发生了显著性改变, 提示结果不稳定, 详见表 3。

2.6 发表偏倚分析 采用漏斗图法对此研究中报道目测类比评分的 7 项研究进行发表偏倚分析, 结果呈不对称的漏斗形分布, 提示纳入研究可能存在发表偏倚, 见图 11。

## 3 讨论 Discussion

3.1 证据总结 椎体压缩性骨折是骨质疏松症患者最常见的骨折类型之一, 其治疗方案的选择有限, 包括镇痛、卧床休息和物理治疗, 以及对骨质疏松症的管理。虽然大多数压缩骨折一般在几个月内痊愈, 但有些患者仍存在持续的疼痛和功能障碍, 需要长期护理或手术治疗。椎体成形术已被广泛应用于治疗骨质疏松性椎体骨折的疼痛, 且较多高质量的随机对照试验和系统评价已证实其有效性和安全性。目前尚不清楚椎体成形术减轻疼痛的机制, 但至少提出了 3 种可能的机制: ①骨折椎体的机械稳定; ②骨水泥聚合过程中高温引起的神经末梢热破坏; ③骨水泥的化学成分造成神经末梢的化学破坏<sup>[25-27]</sup>。由此可见, 发挥关键作用的是术中使用的填充材料——骨水泥。目前, PMMA 骨水泥是椎体成形术中首选的骨水泥, 其理化性质可以显著提高椎体的强度, 迅速缓解疼痛。然而, 随着 PMMA 应用的增加, 人们对它的使用提出了一些质疑, 例如聚合温度过高、组织相容性差、无骨诱导作用以及相邻椎体骨折的风险增加<sup>[28-29]</sup>。相比之下, CPC 因具有良好的生物相容性、可降解性以及成骨作用, 是一种很有前途的可注射型骨替代材料, 尤其是 CPC 复合材料已经涌现<sup>[30-31]</sup>。邓轩虞等<sup>[32]</sup>以 1 : 1 调制的 CPC/PMMA 复合骨水泥作为 PKP 术中填充材料治疗骨质疏松性椎体压缩骨

表 1 | 纳入研究的基本特征

Table 1 | Basic characteristics of articles included

纳入研究	研究设计	样本量 (n)		性别 (男 / 女, n)		年龄 ( $\bar{x}\pm s$ , 岁)		干预措施		随机化方法	随访时间	结局指标
		T	C	T	C	T	C	T	C			
陈远武 <sup>[24]</sup> , 2006	队列研究	15	13	-	-	-	-	PVP+PMMA	PVP+CPC	未用	6个月	②
程兴东 <sup>[21]</sup> , 2012	随机对照试验	23	23	-	-	65.5±4.2	66.5±4.5	PKP+PMMA	PKP+CPC	未提及	2个月	①②③④
张福恒 <sup>[20]</sup> , 2015	队列研究	42	36	-	-	67.8±7.6	66.0±6.0	PVP+PMMA	PVP+CPC	未用	4个月	①②④
贾小林 <sup>[19]</sup> , 2016	队列研究	25	23	11/14	9/14	71.2±5.5	69.6±5.3	PKP+PMMA	PKP+CPC	未用	2年	①②④⑤
徐爱敬 <sup>[18]</sup> , 2018	随机对照试验	45	45	17/28	14/31	66.1±4.0	64.9±3.9	PVP+PMMA	PVP+CPC	随机数字表	1年	②③⑤⑥⑦
王雪峰 <sup>[17]</sup> , 2019	随机对照试验	40	40	13/27	15/25	67.3±5.5	68.3±5.4	PKP+PMMA	PKP+CPC	随机数字表	1年	①②③⑤⑥⑦
余智 <sup>[16]</sup> , 2019	随机对照试验	62	65	26/36	19/36	71.0±6.1	69.0±5.8	PVP+PMMA	PVP+CPC	随机数字表	1年	①②③④⑤⑥
GRAFE <sup>[23]</sup> , 2008	队列研究	20	20	5/15	1/19	68.8±7.6	68.7±9.5	PKP+PMMA	PKP+CPC	未用	3年	①③⑤
BLATTER <sup>[22]</sup> , 2009	随机对照试验	28	28	-	-	-	-	PKP+PMMA	PKP+CPC	随机计划书	1年	①④

表注: ①目测类比评分; ②椎体后凸 Cobb 角; ③椎体高度; ④骨水泥渗漏; ⑤邻近椎体骨折; ⑥ Oswestry 功能障碍指数; ⑦临床疗效; T 代表聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 组; C 代表磷酸钙骨水泥 (CPC) 组; “-” 为不清楚

表 2 | 纳入队列研究的 NOS 评分结果

Table 2 | NOS score results of the included cohort studies

第一作者 / 发表年	暴露组的代表性	非暴露组的代表性	暴露因素确定	结局指标	组间可比性	结局指标的评价	随访时间足够长	暴露组和非暴露组随访的完整性	总分
陈远武 <sup>[24]</sup> , 2006	1	1	1	0	2	1	1	0	7
张福恒 <sup>[20]</sup> , 2015	1	1	1	0	2	1	0	1	7
贾小林 <sup>[19]</sup> , 2016	1	0	1	0	2	1	1	1	7
GRAFE <sup>[23]</sup> , 2008	1	1	1	1	2	1	1	1	9

表 3 | 研究结果敏感性分析表

Table 3 | Sensitivity analysis of research results

去除单项研究	敏感性分析合并效应量 (95%CI)					
	① SMD	② MD	③ SMD	④ OR	⑤ OR	⑥ MD
BLATTER <sup>[22]</sup> , 2009	-0.53(-1.26-0.20)	-	-	1.40(0.66-2.99)	-	-
GRAFE <sup>[23]</sup> , 2008	-0.34(-1.04-0.37)	-	0.06(-1.15-0.27)	-	2.86(1.23-6.67)	-
余智 <sup>[16]</sup> , 2019	-0.57(-1.34-0.21)	-0.03(-0.24-0.17)	0.09(-0.24-0.43)	1.12(0.50-2.53)	1.72(0.77-3.84)*	5.63(4.01-7.25)*
张福恒 <sup>[20]</sup> , 2015	-0.35(-1.07-0.37)	-0.13(-0.33-0.06)	-	1.30(0.64-2.66)	-	-
徐爱敬 <sup>[18]</sup> , 2018	-	-0.07(-0.27-0.12)	0.21(-0.04-0.46)	-	2.06(0.91-4.64)*	1.80(-4.29-7.88)
王雪峰 <sup>[17]</sup> , 2019	-0.68(-1.26-0.99)*	-0.08(-0.27-0.12)	0.13(-0.20-0.46)	-	2.02(0.86-4.75)*	2.52(-4.98-10.03)
程兴东 <sup>[21]</sup> , 2012	-0.34(-1.05-0.37)	-0.10(-0.28-0.09)	0.17(-0.13-0.46)	1.37(0.66-2.82)	-	-
贾小林 <sup>[19]</sup> , 2016	-0.33(-1.02-0.37)	-0.04(-0.23-0.14)	-	1.31(0.63-2.73)	2.32(1.05-5.17)	-
陈远武 <sup>[24]</sup> , 2006	-	-0.07(-0.25-0.11)	-	-	-	-

表注: ①目测类比评分; ②椎体后凸 Cobb 角; ③椎体高度; ④骨水泥渗漏; ⑤邻近椎体骨折; ⑥ Oswestry 功能障碍指数; “-” 表示该测量指标不包含的研究; “\*” 为表示结果发生改变

折, 获得了与 PMMA 骨水泥相似的疗效。HEO 等<sup>[33]</sup> 采用 CPC 骨水泥对 14 例骨质疏松性椎体压缩骨折进行椎体成形术, 随访 2 年后发现其中 6 例骨水泥部分降解, 2 例发生成骨现象, 可见 CPC 具有一定的生物活性。然而, 有研究认为 PCP 在体内生物降解也会引发相应的问题, CPC 骨水泥的降解速度过快, 不利于骨强度的远期维持<sup>[34]</sup>, 但 KLEIN 等<sup>[35]</sup> 发现, CPC 被缓慢吸收, 而不会影响椎体的稳定性。关于在椎体成形术中比较 PMMA 与 CPC 临床疗效的研究数量在不断增加, 在此, 有必要应用系统评价的方法分析两种填充材料的临床疗效和安全性, 为临床工作提供一定的循证学证据。

此次研究共纳入 9 项临床研究, Meta 分析显示, PMMA 与 CPC 在减轻患者椎体成形术后的疼痛、改善 Oswestry 功能评分、恢复椎体形态、降低骨水泥渗漏率等方面治疗效果相当, 但 CPC 在降低邻近椎体骨折这一并发症方面比 PMMA 具有显著优势。

此次研究中, PMMA 和 CPC 在椎体成形术后疼痛评分中的差异无显著性意义, 但纳入的 7 项研究存在较高的异质性<sup>[16-17, 19-23]</sup>, 且敏感性分析结果不稳定, 当去除王雪峰等<sup>[17]</sup> 的研究后两组的差异有显著性意义, 即 PMMA 组缓解疼痛的效果要优于 CPC 组。纳入研究异质性高可能与骨折的分型以及术后疼痛评估的时

间差异等因素相关。具体而言, 有 3 项研究是针对经保守治疗无效的陈旧性骨质疏松性椎体压缩骨折<sup>[17, 22-23]</sup>, 有 2 项研究是新鲜骨质疏松性椎体压缩骨折<sup>[16, 19]</sup>, 还有 2 项研究并未说明骨折至手术的时间<sup>[20-21]</sup>; 其中, 影响最大的是各研究间疼痛的评估时间存在较长跨度, 有 5 项研究在术后 1 周内评估<sup>[16-17, 19-21]</sup>, 有 2 项研究分别在术后半年和 1 年进行评估<sup>[22-23]</sup>。此外, 还存在其他因素, 如骨折的椎体数量等, 且各因素存在相互影响的可能, 并不能依靠统计软件计算出单一因素的影响大小, 并以此来解释结果, 所以此项测量结果更需要谨慎对待。

程兴东 2012	王雪峰 2019	徐爱敬 2018	余智 2019	Blattert 2009	
●	●	●	●	●	Random sequence generation (selection bias)
●	●	●	●	●	Allocation concealment (selection bias)
?	?	?	?	?	Blinding of participants and personnel (performance bias)
?	?	?	?	?	Blinding of outcome assessment (detection bias)
●	●	●	●	●	Incomplete outcome data (attrition bias)
●	●	●	●	●	Selective reporting (reporting bias)
●	●	●	●	●	Other bias

图注：“-”为高偏倚风险；“？”为不明确偏倚风险；“+”为低偏倚风险

图3 | 纳入的随机对照试验偏倚风险评估

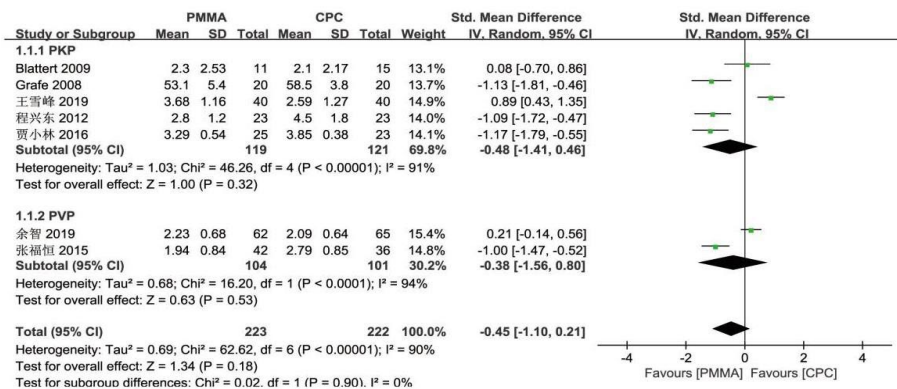
Figure 3 | Risk assessment of bias in randomized controlled trials

文章发现，与 PMMA 组比较，CPC 组可明显减少邻近椎体新发骨折的发生率。既往有较多研究报道 PMMA 可以增加椎体成形术后相邻椎体的负荷，并且由于 PMMA 带来的刚性，增加了骨折形成的可能性<sup>[36-37]</sup>。以往的生物力学研究发现用 PMMA 增强的椎体，其恢复强度明显高于原来的强度，而注入 CPC 的椎体强度与原强度无显著差异，提示邻近椎体骨折的原因是治疗椎体的恢复强度明显高于其他椎体<sup>[38]</sup>。但此项指标仅纳入 5 项研究<sup>[16-19, 23]</sup>，且敏感性分析结果很不稳定，说明 CPC 对比 PMMA 在减少邻近椎体骨折发生方面的优势较小，且随着样本量的减少逐渐缩小至没有显著性意义。

3.2 文章局限性 文章存在以下不足：①纳入的文献有 4 篇是回顾性队列研究，且 5 篇随机对照试验文献中在分配隐藏和盲法方面缺少明确的描述，因此文献总体质量仍有待提高；②纳入的文献数量和样本量均偏少，与循证医学统计分析中要求的大样本、多中心的资料存在较大差距，当然，这可能因为受限于作者文献收集水平，导致符合纳入标准的文献发生漏选；③少部分指标异质性较高，还存在敏感性分析结果不稳定，漏斗图分析发表偏倚的文献数量偏少，并不能排除发表偏倚，这些都削弱了文章的说服力。因此，在评价 PMMA 及 CPC 填充材料在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折的临床有效性及安全性方面存在一定的局限性。

3.3 适用性及对未来研究的启示 文章结果表明 CPC 作为椎体成形术中的填充材料，对骨质疏松性椎体压缩骨折具有较好的临床疗效和安全性，但是目前 CPC 的临床应用量较少，其注射用量及注射时机均无相对统一的认识，应加强这方面的临床研究，以进一步降低骨水泥渗漏的发生。同时，CPC 作为一种可降解的生物材料，其降解速率对椎体强度及稳定性的影响需要充分关注。

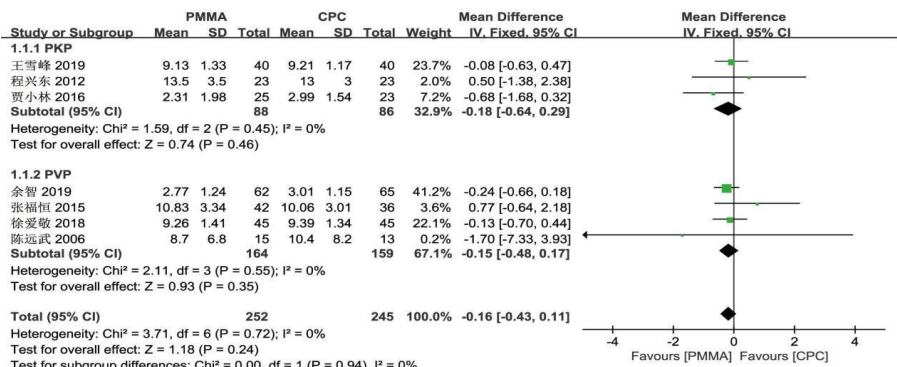
3.4 结论 通过 Meta 分析发现，在椎体成形术中应用 CPC 比 PMMA 能更有利于降低邻近椎体骨折的发生，而两种材料对于减轻骨质疏松症患者术后疼痛、改善 Oswestry 功能障碍指数、恢复椎体形态、降低骨水泥渗漏率的治疗效果相当，但这



图注：两组在椎体成形术后疼痛目测类比分方面无显著差异。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组；CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图4 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术后疼痛目测类比分比较的 Meta 分析森林图

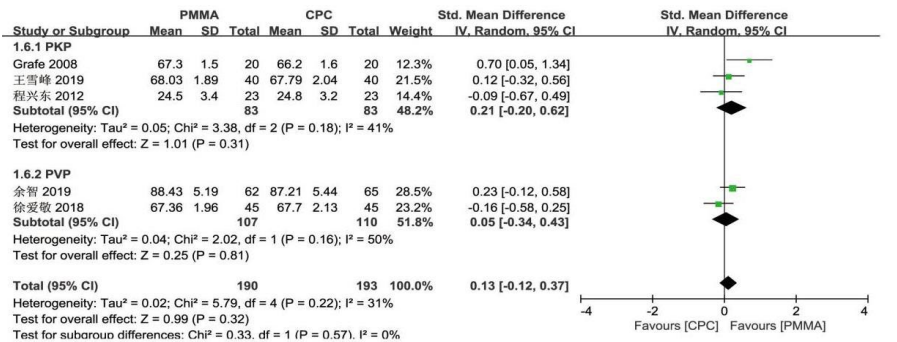
Figure 4 | Forest plot of meta-analysis of visual analogue scale score comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



图注：两组的椎体后凸 Cobb 角无显著差异。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组；CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图5 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术后椎体后凸 Cobb 角比较的 Meta 分析森林图

Figure 5 | Forest plot of meta-analysis of Cobb angle comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



图注：两组的椎体高度无显著差异。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组；CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图6 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术后椎体高度比较的 Meta 分析森林图

Figure 6 | Forest plot of meta-analysis of vertebral height comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



需要进一步高质量大样本的随机对照试验来验证。

**致谢:** 感谢贵州中医药大学第二附属医院骨科全体医护人员的大力支持。

**作者贡献:** 文章设计为第一作者欧梁及通讯作者黄维琛共同完成; 资料收集和数据分析为孔德忠、徐道情、倪景及付兴前; 欧梁撰写论文; 黄维琛审核。

**经费支持:** 该文章接受了“贵州省中医药管理局课题(QZY-2019-031)及国家级大学生创新创业训练计划项目(201910662012)”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明, 在课题研究过程和文章撰写过程不存在利益冲突。

**写作指南:** 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 声明)。

**生物统计学分析:** 该研究经过贵州中医药大学生物统计学专家核实。

**文章查重:** 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

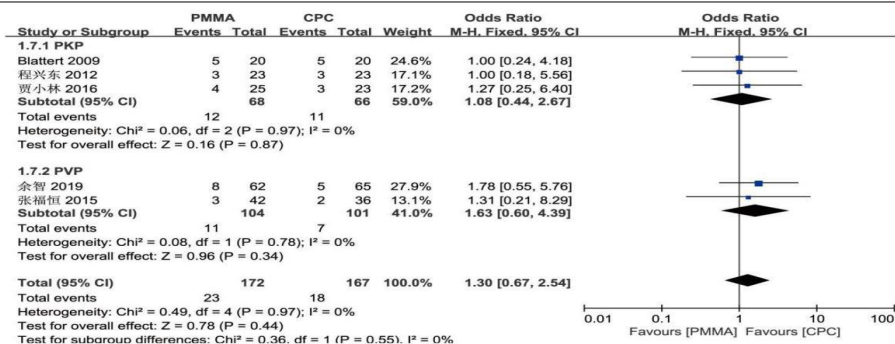
**文章外审:** 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合本刊发稿宗旨。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

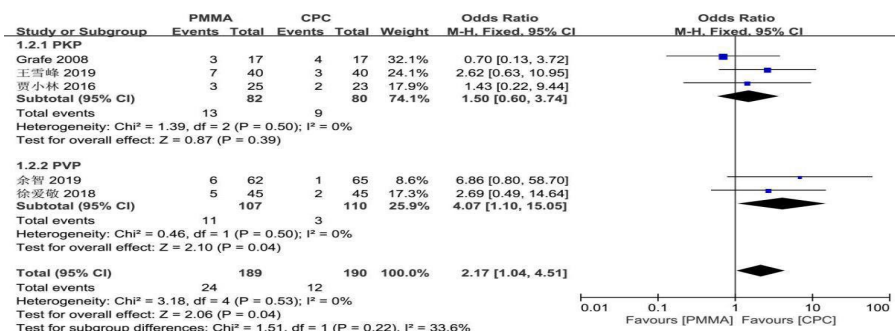
- [1] WEI P, YAO Q, XU Y, et al. Percutaneous kyphoplasty assisted with/without mixed reality technology in treatment of OVCF with IVC: a prospective study. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):255.
- [2] 李凡杰, 杜怡斌, 刘艺明, 等. 椎体成形与弯角椎体成形治疗骨质疏松性椎体压缩骨折: 骨水泥注射后分布与渗漏率的比较 [J]. *中国组织工程研究*, 2020,24(10): 1484-1490.
- [3] BUCHBINDER R, JOHNSTON RV, RISCHIN KJ, et al. Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018; 4(4):CD006349.
- [4] WANG H, SRIBASTAV SS, YE F, et al. Comparison of percutaneous vertebroplasty and balloon kyphoplasty for the treatment of single level vertebral compression fractures: a meta-analysis of the literature. *Pain Physician.* 2015;18(3):209-222.
- [5] LIU H, LIU B, GAO C, et al. Injectable, biomechanically robust, biodegradable and osseointegrative bone cement for percutaneous kyphoplasty and vertebroplasty. *Int Orthop.* 2018;42(1): 125-132.



图注: 两组在椎体成形术中骨水泥渗漏率方面无显著差异。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组; CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图 7 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术中骨水泥渗漏率比较的 Meta 分析森林图

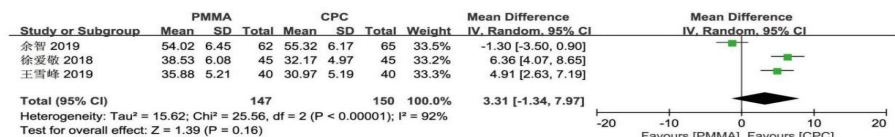
Figure 7 | Forest plot of meta-analysis of bone cement leakage rate comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



图注: CPC 在椎体成形术后邻近椎体骨折发生率方面显著低于 PMMA。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组; CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图 8 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术后邻近椎体骨折比较的 Meta 分析森林图

Figure 8 | Forest plot of meta-analysis of adjacent vertebral fractures comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



图注: 两组在椎体成形术后 Oswestry 功能障碍指数方面无显著差异。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组; CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图 9 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术后 Oswestry 功能障碍指数比较的 Meta 分析森林图

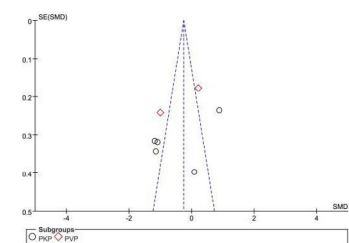
Figure 9 | Forest plot of meta-analysis of Oswestry disability index comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



图注: 两组的临床疗效有效率无显著差异。PMMA 代表聚甲基丙烯酸甲酯组; CPC 代表磷酸钙骨水泥组

图 10 | PMMA 组和 CPC 组椎体成形术后临床疗效比较的 Meta 分析森林图

Figure 10 | Forest plot of meta-analysis of clinical efficacy comparison between polymethyl methacrylate and calcium phosphate cement after vertebroplasty



图注: 漏斗图提示纳入研究可能存在发表偏倚

图 11 | 目测类评分指标的发表偏倚漏斗图

Figure 11 | Funnel plot of visual analogue scale score of publication bias

- [6] LU Q, LIU C, WANG D, et al. Biomechanical evaluation of calcium phosphate-based nanocomposite versus polymethylmethacrylate cement for percutaneous kyphoplasty. *Spine J.* 2019; 19(11):1871-1884.
- [7] 刘群, 孙东东, 高丽兰, 等. 经皮椎体后凸成形后再发骨折相关因素的 Meta 分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(6): 976-984.
- [8] SUN X, WU Z, HE D, et al. Bioactive injectable polymethylmethacrylate/silicate bioceramic hybrid cements for percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019; 96(8):125-135.
- [9] 葛付涛, 赵松, 牛丰, 等. 磷酸钙骨水泥球囊撑开椎体成形术治疗骨质疏松性椎体骨折 [J]. *中国骨伤*, 2014, 27(2):128-132.
- [10] 赵东升, 殷军, 张强, 等. 经皮椎体成形术自固化磷酸钙人工骨充填治疗骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2006, 8(1):20-23.
- [11] 杨泽雨, 阮建伟, 郑文标, 等. PVP 和 PKP 骨水泥填充材料的研究进展 [J]. *医学综述*, 2017, 23(15):3008-3011, 3016.
- [12] 董国领, 贾璞, 唐海. 可吸收骨水泥在椎体强化术中的应用 [J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2019, 12(3):292-297.
- [13] 孙育良, 熊小明, 何本祥, 等. 椎体成形骨填充材料的研究与现状 [J]. *中国组织工程研究*, 2017, 21(14):2285-2290.
- [14] HIGGINS JP, ALTMAN DG, GOTZSCHE PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2011; 343:d5928.
- [15] STANG A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses. *Eur J Epidemiol.* 2010; 25(9): 603-605.
- [16] 余智, 韩森东. PVP 充填自固化磷酸钙骨水泥对老年疼痛性骨质疏松性胸腰椎骨折疼痛及生活质量的影响 [J]. *临床外科杂志*, 2019, 27(3):243-246.
- [17] 王雪峰, 尚希福. 三种填充材料修复胸腰椎骨质疏松性骨折的疗效对比 [J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(6):863-869.
- [18] 徐爱敬, 樊安未, 李海冰. 2 种材料治疗胸腰椎骨质疏松性骨折的疗效对比研究 [J]. *检验医学与临床*, 2018, 15(4):561-563.
- [19] 贾小林, 谭祖键, 杨阜滨, 等. 磷酸钙骨水泥与传统骨水泥后凸成形术治疗骨质疏松性椎体骨折的比较 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2016, 5(5):391-394.
- [20] 张福恒, 陈德喜, 郎继孝, 等. 聚甲基丙烯酸甲酯与磷酸钙骨水泥在骨质疏松性胸腰椎压缩骨折中的临床疗效分析 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2015, 30(1):21-23.
- [21] 程兴东, 孙强, 刘忠厚, 等. 充填材料对经皮椎体后凸成形术疗效影响的观察 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2012, 18(2):157-161.
- [22] BLATTERT TR, JESTAEDT L, WECKBACH A. Suitability of a calcium phosphate cement in osteoporotic vertebral body fracture augmentation: a controlled, randomized, clinical trial of balloon kyphoplasty comparing calcium phosphate versus polymethylmethacrylate. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009; 34(2):108-114.
- [23] GRAFE I A, BAIER M, NOLDGE G, et al. Calcium-phosphate and polymethylmethacrylate cement in long-term outcome after kyphoplasty of painful osteoporotic vertebral fractures. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008; 33(11):1284-1290.
- [24] 陈远武, 易伟宏, 王锡三, 等. 不同充填材料强化椎体在骨质疏松性椎体压缩骨折中的应用 [J]. *脊柱外科杂志*, 2006, 4(2): 65-68.
- [25] ANDERSON PA, FROYSHTETER AB, TONTZ WJ. Meta-analysis of vertebral augmentation compared with conservative treatment for osteoporotic spinal fractures. *J Bone Miner Res.* 2013; 28(2):372-382.
- [26] BUCHBINDER R, OSBORNE RH, EBELING PR, et al. A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. *N Engl J Med.* 2009; 361(6):557-568.
- [27] KALLMEA DF, COMSTOCK BA, GRAY LA, et al. Baseline pain and disability in the Investigational Vertebroplasty Efficacy and Safety Trial. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009; 30(6):1203-1205.
- [28] BELKOFF SM, MATHIS JM, JASPER LE, et al. The biomechanics of vertebroplasty. The effect of cement volume on mechanical behavior. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001; 26(14):1537-1541.
- [29] BOGER A, BOHNER M, HEINI P, et al. Properties of an injectable low modulus PMMA bone cement for osteoporotic bone. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008; 86(2):474-482.
- [30] PALMER I, NELSON J, SCHATTON W, et al. Biocompatibility of calcium phosphate bone cement with optimized mechanical properties. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2016; 104(2):308-315.
- [31] 董国领, 贾璞, 唐海. 可吸收骨水泥在椎体强化术中的应用 [J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2019, 12(3):292-297.
- [32] 邓轩虞, 熊小明, 崔伟, 等. CPC/PMMA 复合骨水泥在老年椎体后凸成形术中的初步应用研究 [J]. *中国骨伤*, 2020, 33(9): 831-836.
- [33] HEO HD, CHO YI, SHEEN SH, et al. Morphological changes of injected calcium phosphate cement in osteoporotic compressed vertebral bodies. *Osteoporos Int.* 2009; 20(12):2063-2070.
- [34] YANG H, ZOU J. Filling materials used in kyphoplasty and vertebroplasty for vertebral compression fracture: a literature review. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol.* 2011; 39(2):87-91.
- [35] KLEIN R, TETZLAFF R, WEISS C, et al. Osteointegration and resorption of intravertebral and extravertebral calcium phosphate cement. *Clin Spine Surg.* 2017; 30(3):E291-E296.
- [36] BERLEMANN U, FERGUSON SJ, NOLTE LP, et al. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty. A biomechanical investigation. *J Bone Joint Surg Br.* 2002; 84(5):748-752.
- [37] BOGER A, HEINI P, WINDOLF M, et al. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty: a biomechanical study of low-modulus PMMA cement. *Eur Spine J.* 2007; 16(12):2118-2125.
- [38] NOUDA S, TOMITA S, KIN A, et al. Adjacent vertebral body fracture following vertebroplasty with polymethylmethacrylate or calcium phosphate cement: biomechanical evaluation of the cadaveric spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009; 34(24):2613-2618.

(责任编辑: WJ, ZN, SX)