

骨水泥强化椎弓根螺钉治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病的 Meta 分析

余照宇¹, 谭黎鑫², 孙凯³, 鲁尧¹, 李勇¹<https://doi.org/10.12307/2023.980>

投稿日期: 2022-11-26

采用日期: 2023-01-31

修回日期: 2023-03-12

在线日期: 2023-03-21

中图分类号:

R459.9; R318.08; R687

文章编号:

2095-4344(2024)05-00813-08

文献标识码: A

文章快速阅读: 骨水泥强化螺钉与传统螺钉固定治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病

方法

检索有关骨水泥强化螺钉与传统椎弓根螺钉固定治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病的临床对照研究, 并用 Rev Man 5.4 软件进行 Meta 分析。

分组

▲ 试验组: 采用骨水泥强化椎弓根螺钉进行治疗
▲ 对照组: 采用传统椎弓根螺钉进行治疗

评价指标

- 手术时间
- 术中出血量
- 术后引流量
- 日本矫形外科协会评分
- 目测类比评分
- Oswestry 功能障碍指数
- 椎间隙高度
- 融合率
- 松钉率

结论

相比传统椎弓根螺钉固定, 骨水泥强化螺钉更能改善术后融合率及椎间隙高度、降低术后螺钉松动率、提高远期临床疗效。

文题释义:

骨质疏松症: 根据WHO定义, 骨质疏松症是一种以骨量减低、骨微结构破坏导致脆性增加、易发生骨折为特征的全身性代谢性骨病。

骨水泥强化椎弓根螺钉: 一种将椎弓根螺钉与骨水泥相结合的技术, 通过增加椎弓根螺钉抗拔除力, 达到增强椎弓根螺钉在骨质疏松椎体内稳定性的目的。

摘要

目的: 骨水泥强化椎弓根螺钉技术近年来被广泛应用于合并骨质疏松的脊柱内固定手术中, 可以显著提高固定强度, 但与常规椎弓根螺钉内固定比较是否更具有优势尚缺乏循证医学定论。文章系统评价骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病的临床疗效及安全性。

方法: 在中国知网、中国生物医学文献、万方、维普、PubMed、Cochrane Library、Web of Science以及Embase数据库中, 检索有关传统椎弓根螺钉与骨水泥强化螺钉固定治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病的临床对照研究, 按相关标准对文献进行筛选和质量评价, 采用 Rev Man 5.4软件进行Meta分析。

结果: ①纳入2篇随机对照研究和18篇回顾性队列研究, 共20篇文章, 包括1 566例患者, 其中骨水泥强化螺钉组789例, 传统螺钉组777例; ②Meta分析结果显示, 骨水泥强化螺钉组术后日本矫形外科协会评分、椎间隙高度及融合率均高于传统螺钉组($MD=1.60$, $95\%CI: 1.14, 2.07$, $P < 0.000 01$; $MD=1.26$, $95\%CI: 0.62, 1.90$, $P=0.000 1$; $OR=11.24$, $95\%CI: 2.86, 44.14$, $P=0.000 5$), 手术时间长于传统螺钉组($SMD=0.82$, $95\%CI: 0.42, 1.23$, $P < 0.000 1$), 术后目测类比评分、Oswestry功能障碍指数及螺钉松动率均低于传统螺钉组($MD=-0.50$, $95\%CI: -0.78, -0.21$, $P=0.000 7$; $SMD=-0.49$, $95\%CI: -0.88, -0.10$, $P=0.01$; $OR=0.08$, $95\%CI: 0.05, 0.12$, $P < 0.000 01$), 两组间住院时间、术中出血量、术后引流量比较差异无显著性意义($P > 0.05$)。

结论: 相较于传统椎弓根螺钉固定, 骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病时更能有效改善术后融合率及椎间隙高度、降低术后螺钉松动率, 提高远期临床疗效。

关键词: 骨水泥强化; 椎弓根螺钉; 内固定; 骨质疏松; 胸腰椎退行性疾病; Meta分析

Meta-analysis of cement-augmented pedicle screw for thoracolumbar degenerative diseases with osteoporosis

Yu Zhaoyu¹, Tan Lixin², Sun Kai³, Lu Yao¹, Li Yong¹

¹Third Department of Orthopedics, Zhuhai Branch, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Zhuhai 519000, Guangdong Province, China; ²Second Clinical Medicine College, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510080, Guangdong Province, China; ³Department of Orthopedics, Ezhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Ezhou 436000, Hubei Province, China

Yu Zhaoyu, Doctoral candidate, Attending physician, Third Department of Orthopedics, Zhuhai Branch, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Zhuhai 519000, Guangdong Province, China

Corresponding author: Li Yong, Chief physician, Third Department of Orthopedics, Zhuhai Branch, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Zhuhai 519000, Guangdong Province, China

Abstract

OBJECTIVE: Cement-augmentation pedicle screws have been widely used in spinal internal fixation surgery combined with osteoporosis in recent years, which

¹广东省中医院珠海医院骨三科, 广东省珠海市 519000; ²广州中医药大学第二临床医学院, 广东省广州市 510080; ³湖北省鄂州市中医医院骨科, 湖北省鄂州市 436000

第一作者: 余照宇, 男, 1987年生, 湖南省岳阳市人, 汉族, 在读博士, 主治医师, 主要从事中西医结合治疗脊柱类疾病方面的研究。

通讯作者: 李勇, 主任医师, 广东省中医院珠海医院骨三科, 广东省珠海市 519000

<https://orcid.org/0000-0001-6479-2543> (余照宇)

基金资助: 珠海市科技计划项目(2220004000345), 项目负责人: 余照宇

引用本文: 余照宇, 谭黎鑫, 孙凯, 鲁尧, 李勇. 骨水泥强化椎弓根螺钉治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病的 Meta 分析 [J]. 中

国组织工程研究, 2024, 28(5):813-820.



can significantly improve the fixation strength, but compared with conventional methods, whether it has more advantages is still inconclusive of evidence-based medicine. To systematically evaluate the efficacy and safety of cement-augmented pedicle screw in the treatment of thoracolumbar degenerative diseases with osteoporosis.

METHODS: Clinical controlled trials concerning the cement-augmented pedicle screw and the traditional pedicle screw placement for thoracolumbar degenerative diseases with osteoporosis were retrieved from the electronic databases such as CNKI, CBM, WanFang, VIP, PubMed, Cochrane Library, Web of Science and Embase. According to the unified criteria, we performed literature screening and quality evaluation. The meta-analysis was performed using RevMan 5.4 software.

RESULTS: (1) Totally 20 articles were selected eventually, involving 2 randomized controlled studies and 18 retrospective cohort studies, totally 1 566 patients. Among them, 789 cases were in the cement-augmented screw group and 777 cases in the conventional screw group. (2) Meta-analysis results showed that Japanese Orthopaedic Association score, intervertebral space height and fusion rate were higher in the cement-augmented screw group than those in the conventional screw group ($MD=1.60, 95\%CI: 1.14, 2.07, P < 0.000 01; MD=1.26, 95\%CI: 0.62, 1.90, P=0.000 1; OR=11.24, 95\%CI: 2.86, 44.14, P=0.000 5$). Operation time was longer in the cement-augmented screw group than that in the conventional screw group ($SMD=0.82, 95\%CI: 0.42, 1.23, P < 0.000 1$). Postoperative visual analog scale score, Oswestry dysfunction index score and incidence of screw loosening were lower in the cement-augmented screw group than those in the conventional screw group ($MD=-0.50, 95\%CI: -0.78, -0.21, P=0.000 7; SMD=-0.49, 95\%CI: -0.88, -0.10, P=0.01; OR=0.08, 95\%CI: 0.05, 0.12, P < 0.000 01$). Hospitalization time, intraoperative blood loss, and postoperative drainage volume were not significantly different between the two groups ($P > 0.05$).

CONCLUSION: Compared with conventional pedicle screw placement, cement-augmented pedicle screw is more effective in the treatment of osteoporotic thoracolumbar degenerative disease by improving fusion rate and interbody height, reducing the incidence of screw loosening, and elevating long-term efficacy.

Key words: cement-augmented; pedicle screw; internal fixation; osteoporosis; thoracolumbar degenerative disease; meta-analysis

Funding: Zhuhai Science and Technology Plan Project, No. 2220004000345 (to ZYZ)

How to cite this article: YU ZY, TAN LX, SUN K, LU Y, LI Y. Meta-analysis of cement-augmented pedicle screw for thoracolumbar degenerative diseases with osteoporosis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu.* 2024;28(5):813-820.

0 引言 Introduction

胸腰椎退行性疾病是中老年人常见疾病，常可造成患者腰背部疼痛、下肢酸麻胀痛及活动受限，最终需要椎弓根螺钉系统进行内固定来改善脊柱稳定性，从而缓解症状，这给患者带来了严重的精神及经济负担^[1]。随着现代医学发展，世界居民平均寿命不断增加，老龄化人口日渐增多，罹患骨质疏松的人群也愈发普遍，中国50岁以上人群骨质疏松患病率为19.26%，其中男性为6.0%，女性则高达32.1%^[2]，而且该年龄段人群常伴有严重胸腰椎退行性疾病^[3]。骨质疏松患者进行传统椎弓根螺钉置入时，常因骨密度较差导致螺钉容易松动等，引起内固定失败^[4]。因此，如何有效运用椎弓根螺钉重建胸腰椎退行性疾病患者的脊柱稳定，同时避免因松钉、拔钉等问题导致内固定失败一直是脊柱外科医生的研究热点。

随着科技的发展，脊柱外科技术也得以不断进步，其中提高椎弓根螺钉稳定性的方法也不断增多，现阶段主要包括：^①采用骨水泥强化椎弓根螺钉^[5]，目前主要有两种强化方式：一是先置入空心侧孔椎弓根螺钉，再经钉尾灌入骨水泥进行强化；二是先从钉道注入骨水泥，再置入常规椎弓根螺钉进行强化；^②增加螺钉与骨皮质的接触面积，如皮质骨螺钉和双螺纹螺钉等^[6]；^③对螺钉本身进行改造，如增加直径的膨胀式螺钉和羟基磷灰石涂层螺钉等^[7-8]。

骨水泥强化椎弓根螺钉技术是提高椎弓根螺钉内固定稳定的常见技术之一，该技术相比传统椎弓根螺钉固定可有效提高内固定成功率，但两者治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病的临床疗效对比尚缺乏循证医学定论^[9]。此次研究收集骨水泥强化椎弓根螺钉与传统椎弓根螺钉固定治疗胸腰椎退行性疾病的国内外临床对照研究，严格筛选后进行Meta分析，以期临床上胸腰椎退行性疾病的融合固定提供参考依据。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索者 由第一、四作者进行文献检索。

1.1.2 资料库 PubMed、Embase、Web of Science、Cochrane Library、中国知网、维普、万方及中国生物医学文献等数据库。

1.1.3 检索词 英文检索词为“osteoporosis, pedicle screw, cement, polymethyl methacrylate, PMMA, augmentation, fixation”，中文检索关键词为“骨质疏松、钉道、骨水泥、椎弓根螺钉、强化、固定、增强”等。

1.1.4 检索时限 2000年1月至2022年5月。

1.1.5 文献检索策略 中文检索式为(“骨质疏松”)AND(“椎弓根螺钉”OR“固定”OR“钉道”)AND(“骨水泥”OR“强化”OR“增强”)，英文检索式为(“osteoporosis”)AND(“pedicle screw”OR“fixation”)AND(“cement”OR“polymethyl methacrylate”OR“PMMA”OR“augmentation”)，具体检索策略见图1。

1.2 文献纳入及排除标准

1.2.1 纳入标准 ^①研究类型：回顾性队列研究或随机对照试验，语种限定为中英文；^②研究对象：合并腰椎间盘突出、腰椎滑脱不稳、胸腰椎狭窄或脊柱侧弯等胸腰椎退行性疾病，并且需要行椎弓根螺钉固定治疗的骨质疏松患者；^③干预措施：试验组为骨水泥强化椎弓根螺钉固定治疗，强化方式包括空心钉水泥强化和常规椎弓根螺钉强化，对照组为传统椎弓根螺钉固定治疗，骨水泥材料均为聚甲基丙烯酸甲酯。

1.2.2 排除标准 ^①无结局指标文献；^②数据

缺失、重复发表以及无法获取文献；^③非临床对照研究；^④摘要、综述等总结性文献；^⑤研究对象为骨折或未放置融合器患者。

1.3 文献提取及质量评价 由2位组员独立筛选文献、提取资料及评价文献质量，当遇分歧则由第三方组织讨论。纳入信息包括研究类型、发表年份、第一作者、患者性别、年龄、数量、干预措施、结局指标及不良反应等。其中回顾性队列研究采用NOS量表进行质量评价，随机对照试验采用Cochrane风险偏倚评估工具进行质量评价。

1.4 结局指标 手术时间、住院时长、术后目测类比评分、术后日本矫形外科协会(Japanese orthopaedic association, JOA)评分、术后Oswestry功能障碍指数、术中出血量、术后椎间隙高度、术后引流量、螺钉松动率及术后融合率。

1.5 统计学分析 采用Rev Man 5.4软件，对所提取的资料进行相关Meta分析。二分类变量采用比值比(odd ratio, OR)表示其效应量，连续性变量则运用均数差(mean difference, MD)表示其效应量，单位不一致时则用标准化均数差(standardized mean difference, SMD)表示，所有的指标均取95%CI。异质性检验则用I²检验，若P < 0.1、I² > 50%，则异质性较大，采用随机效应模型给予分析；若P ≥ 0.10、I² ≤ 50%，则异质性较小，采用固定效应模型予以分析。该文统计学方法已经广东省中医院珠海医院生物统计学专家审核。

英文数据库	中文数据库
#1 osteoporosis [Title/Abstract]	#1 骨质疏松 [标题 / 篇文摘]
#2 pedicle screw [Title/Abstract]	#2 椎弓根螺钉 [标题 / 篇文摘]
#3 cement [Title/Abstract]	#3 钉道 [标题 / 篇文摘]
#4 polymethyl methacrylate [Title/Abstract]	#4 固定 [标题 / 篇文摘]
#5 PMMA [Title/Abstract]	#5 骨水泥 [标题 / 篇文摘]
#6 augmentation [Title/Abstract]	#6 强化 [标题 / 篇文摘]
#7 fixation [Title/Abstract]	#7 增强 [标题 / 篇文摘]
#8 #2 OR #7	#8 #2 OR #3 OR #4
#9 #3 OR #4 OR #5 OR #6	#9 #5 OR #6 OR #7
#10 #1 AND #8 AND #9	#10 AND #8 AND #9

图1 | 文献检索策略

Figure 1 | Study search strategy

2 结果 Results

2.1 文献检索结果及质量评价 初步检索到 1 953 篇文献, 查重后获取文献 971 篇, 阅读文献标题及摘要后, 剔除明显不相符文献, 剩余 35 篇文献, 仔细阅读全文, 按标准进行严格筛选, 最终纳入 20 篇文献^[10-29], 具体过程见图 2。纳入文献的基本特征见表 1。其中 2 篇为随机对照试验^[10, 22], 均未提及分配隐藏及盲法, 文献质量评价结果见图 3。18 篇为回顾性队列研究^[11-21, 23-29], 质量评价结果见表 2。所有研究共涉及 1 566 例患者, 其中骨水泥强化螺钉组 789 例, 常规螺钉组 777 例。15 项研究提及了骨水泥强化螺钉组有不同程度骨水泥渗漏^[10, 12, 14, 16-19, 21-24, 26-29], 3 项研究未出现骨水泥渗漏^[13, 15, 25], 其他均未提及骨水泥渗漏情况。6 项研究提及患者出现不同部位好转, 治疗后均好转^[15-16, 18-20, 29]。1 项研究有 3 例患者术口不愈合, 需行二期缝合^[16]。1 项研究未提及任何不良反应发生与否^[11], 其他研究均未出现神经、脊髓损伤等重大不良反应。

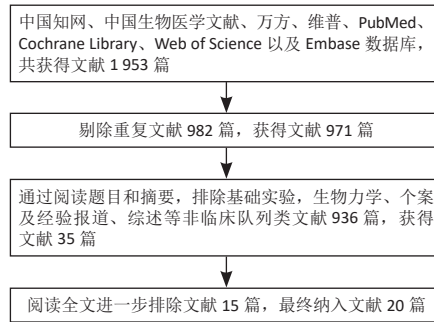


图 2 | 文献筛选流程
Figure 2 | Flow chart of literature selection methodology

2.2 Meta 分析结果

2.2.1 住院时间 7 项研究报告了 417 例患者的住院时间^[10, 14, 19, 21, 23, 28-29], 各研究有明显异质性 $(I^2=98\%, P < 0.000 01)$, 遂采用随机效应模型, 结果显示两组住院时间比较差异无显著性意义 $(MD=0.11, 95\%CI: -2.57, 2.79)$,

$P=0.94$), 如图 4 所示。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 4 项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统椎弓根螺钉的手术时间^[14, 19, 23, 29], 结果显示两组住院时间比较差异无显著性意义 $(MD=0.74, 95\%CI: -3.33, 4.82, P=0.72)$ 。

3 项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统椎弓根螺钉组的手术时间^[10, 21, 28], 结果表显示两组手术时间比较差异无显著性意义 $(MD=-0.52, 95\%CI: -1.29, 0.26, P=0.19)$ 。

2.2.2 手术时间 16 项研究报告了 1 114 例患者的手术时间^[10, 14-15, 17-29], 各研究间异质性较大 $(I^2=89\%, P < 0.000 01)$, 故采用随机效应模型, 采用 SMD 表示其效应量(各计量资料单位不一致), 结果表明两组手术时间比较差异有显著性意义 $(SMD=0.82, 95\%CI: 0.42, 1.23, P < 0.000 01)$, 骨水泥强化螺钉组手术时间相对更长。按照不同骨水泥强化方式进行亚组分析, 10 项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统椎弓根螺钉的手术时间^[14, 17-20, 23-24, 26-27, 29], 结果显示空心钉骨水泥强化组手术时间要多于传统螺

表 1 | 纳入文献的基本特征

Table 1 | Basic characteristics of the involving studies

文献	研究类型	强化方式	年龄 (岁)		骨密度 (T 值)		男 / 女 (n)		随访时间		结局指标
			骨水泥强化螺钉组	传统螺钉组	骨水泥强化螺钉组	传统螺钉组	骨水泥强化螺钉组	传统螺钉组	骨水泥强化螺钉组	传统螺钉组	
CAO 等 ^[10]	随机对照试验	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	66.9±7.1	65.3±5.2	-3.24±0.40	-3.06±0.49	7/16	11/13	2 年		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
EL SAMAN 等 ^[11]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化 + 常规椎弓根螺钉骨水泥强化	76.0±9.3	75.0±8.9			4/11	4/5	44-1 467 d		8
KIM 等 ^[12]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化 + 常规椎弓根螺钉骨水泥强化	73.0±6.2	74.2±5.7			18/78	10/26	> 2 年		8
KIM 等 ^[13]	回顾性队列研究	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	49-77	48-72	-2.5 至 -4.7	-2.5 至 -4.5	1/30	2/29	25-58 个月	25-42 个月	7, 8
MO 等 ^[14]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	67.12±1.31	66.04±1.08	-3.02±0.17	-3.01±0.12	2/26	3/25	(35.04±7.39) 个月	(33.61±5.36) 个月	1, 2, 3, 7, 8
SAWAKAMI 等 ^[15]	回顾性队列研究	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	73.6±1.6	73.5±1.8			5/12	6/15	(33.6±6.6) 个月	(28.6±3.5) 个月	1, 2, 7, 8
SEO 等 ^[16]	回顾性队列研究	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	49-74	46-69	-3.89	-3.6	49/108	37/56	10-23 个月		5, 6, 7, 8
SUN 等 ^[17]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	67.1±9.2	70.7±6.6	-3.24±0.58	-3.05±0.47	2/12	1/11	(10.6±2.3) 个月	(36.5±7.2) 个月	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8
SUN 等 ^[18]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	69.2±6.6	69.0±8.5	-2.65±0.12	-2.66±0.10	1/14	5/14	1 年		1, 2, 5, 6, 8
TANG 等 ^[19]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	70.65±7.20	67.91±7.62	-3.18±0.94	-2.89±0.49	7/39	6/41	(31.87±15.49)	35.53±21.54	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8
WANG 等 ^[20]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	65.90±9.38	67.30±6.55	-3.31±0.47	-3.23±0.45	2/34	12/40	(15.4 ± 6.56) 个月	(36.6 ± 5.92) 个月	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10
XIE 等 ^[21]	回顾性队列研究	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	63.14±8.98	58.96±6.64	-2.98±0.36	-3.08±0.34	1/13	5/12	> 2 年		1, 2, 3, 6
侯广原等 ^[22]	随机对照试验	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	73.3	70.4	-3.2±0.5		14/16	8/22	15-24 个月		1, 2, 5, 6, 8
唐永超等 ^[23]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	70.61±6.37	69.79±5.90	-3.38±0.77	-3.32±0.57	3/33	2/36	(2.81±0.67) 年	(2.93±0.67) 年	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8
杨红军等 ^[24]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	68.6±4.4	68.1±4.8	-3.8±0.3	-3.7±0.3	14/19	13/16	(36.6±2.3) 个月	(36.0±3.2) 个月	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9
王科等 ^[25]	回顾性队列研究	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	71.7±13.3	72.1±12.8			15/22	17/26			1, 2, 4, 5, 6, 8, 10
胡凡琦等 ^[26]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	67.2±11.8	63.7±9.5	-3.34±0.71	-3.15±0.60	31/52	57/109	> 12 个月		1, 2, 5, 6, 7, 8, 9
陈斌伟等 ^[27]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	72.0±3.6	71.1±3.6	-3.1±0.4	-3.2±0.3	14/16	13/17	2 年		1, 2, 5, 6, 8, 9
陈聪 ^[28]	回顾性队列研究	常规椎弓根螺钉骨水泥强化	66.18±5.50	64.77±4.97	-3.39±0.48	-3.41±0.45	8/25	13/30	(24.76±5.06) 个月		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
黄超 ^[29]	回顾性队列研究	空心钉骨水泥强化	69.08±8.12	69.75±8.23			15/9	10/6	12 个月		1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10

表注: 1 代表手术时间, 2 代表出血量, 3 代表住院时间, 4 代表 JOA 评分, 5 代表目测类比评分, 6 代表 Oswestry 功能障碍指数, 7 代表融合率, 8 代表螺钉松动率, 9 代表术后引流量, 10 代表椎间隙高度

钉组(SMD=1.05, 95%CI: 0.45, 1.65, P=0.000 6)。6项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统椎弓根螺钉组的手术时间^[10, 15, 21-22, 25, 28], 结果显示常规椎弓根螺钉强化组手术时间要长于传统椎弓根螺钉组(SMD=0.49, 95%CI: 0.11, 0.87, P=0.01), 见图5。

2.2.3 术中出血量 16项研究报告了1114例患者的术中出血量^[10, 14-15, 17-29], 各研究间异质性较大(I²=65%, P=0.000 1), 遂采用随机效应模型, 结果显示两组术中出血量比较差异无显著性意义(MD=3.58, 95%CI: -12.76, 19.92, P=0.67)。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 10项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统椎弓根螺钉组的术中出血量^[14, 17-20, 23-24, 26-27, 29], 结果显示两亚组术中出血量比较差异无显著性意义(MD=9.60, 95%CI: -4.19, 23.39, P=0.17); 6项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统椎弓根螺钉组的术中出血量^[10, 15, 21-22, 25, 28], 结果显示两亚组术中出血量比较差异无显著性意义(MD=-20.30, 95%CI: -62.79, 22.18, P=0.35), 见图6。

2.2.4 术后引流量 4项研究报告了术后引流量^[20, 24, 26-27], 强化方式均为空心钉骨水泥强化, 共计459例患者, 各研究间异质性较小(I²=28%, P=0.24), 故采用固定效应模型, 结果显示两组术后引流量比较差异无显著性意义(MD=-5.32, 95%CI: -12.41, 1.76, P=0.14), 见图7。

2.2.5 术后JOA评分 5项研究报告了末次随访JOA评分^[10, 17, 20, 25, 28], 共计317例患者, 各研究间无明显异质性(I²=0%, P=0.53), 故采用固定效应模型, 结果显示骨水泥强化螺钉组末次随访JOA评分高于传统螺钉组(MD=1.60, 95%CI: 1.14, 2.07, P<0.000 01)。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 2项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统椎弓根螺钉组的JOA评分^[17, 20], 结果显示空心钉骨水泥强化组末次随访JOA评分高于传统螺钉组(MD=1.74, 95%CI: 1.18, 2.30, P<0.000 01); 3项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统螺钉组的JOA评分^[10, 25, 28], 结果显示常规椎弓根螺钉强化组末次随访JOA评分显著高于传统螺钉组(MD=1.29, 95%CI: 0.47, 2.12, P=0.002), 见图8。

2.2.6 术后目测类比评分 14项研究报告了1239例患者的末次随访目测类比评分^[10, 16-20, 22-29], 各研究间异质性较大(I²=92%, P<0.000 01), 故采用随机效应模型, 结果显示骨水泥强化螺钉组末次随访目测类比评分低于传统螺钉组(MD=-0.50, 95%CI: -0.78, -0.21, P=0.000 7)。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 9项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统螺钉组的目测类比评分^[17-20, 23-24, 26-27, 29], 结果显示空心钉骨水泥强化末次随访目测类比评分低于传统螺钉组(MD=-0.46, 95%CI: -0.84, -0.07, P=0.02); 5项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统螺钉组的目测类比评分^[10, 16, 22, 25, 28], 结果显示常规椎弓根螺钉强化组末次随访目测类比评分低于传统螺钉组(MD=-0.56, 95%CI: -0.96, -0.16, P=0.006), 见图9。

2.2.7 术后Oswestry功能障碍指数 15项研究报告了1270例患者的末次随访Oswestry功能障碍指数^[10, 16-29], 各研究间异质性较大(I²=90%, P<0.000 01), 采用随机效应模型, 结果显示骨水泥强化螺钉组末次随访Oswestry功能障碍指数低于传统螺钉组(SMD=-0.49,

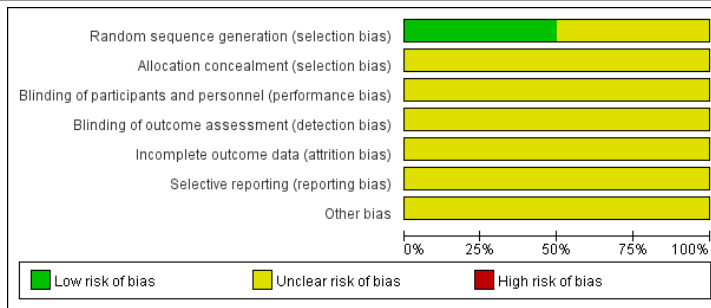
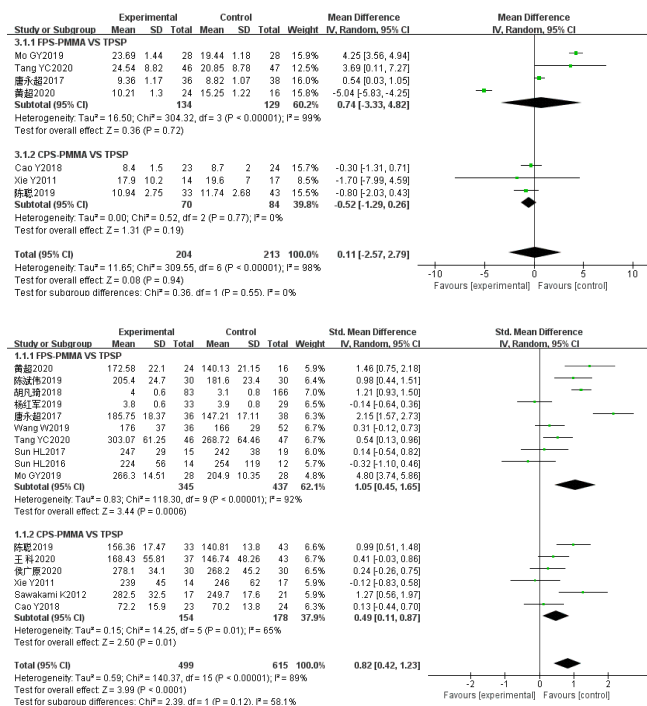


图3 | 纳入随机对照研究偏倚风险评估图
Figure 3 | Risk of bias assessment in the randomized controlled studies

表2 | 纳入回顾性队列研究的NOS质量评分
Table 2 | NOS quality scores for included retrospective cohort studies

纳入文献	研究对象选择				组间可比性	结果测量			总分
	A	B	C	D		E	F	G	
WANG等 ^[20]	1	1	1	1	2	1	1	0	8
唐永超等 ^[23]	1	0	1	1	2	1	1	1	8
SUN等 ^[18]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
杨红军等 ^[24]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
胡凡琦等 ^[26]	1	1	1	1	2	1	0	0	7
王科等 ^[25]	1	1	1	1	2	1	0	0	7
MO等 ^[14]	1	1	1	1	2	1	1	0	8
EL SAMAN等 ^[11]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
陈斌伟等 ^[27]	1	1	1	1	2	1	1	0	8
陈聪 ^[28]	1	1	1	1	2	1	1	0	8
黄超 ^[29]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
SUN等 ^[17]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
CAO等 ^[10]	1	1	1	1	2	1	1	0	8
KIM等 ^[13]	1	1	1	1	2	1	1	0	8
SAWAKAMI等 ^[15]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
SEO等 ^[16]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
KIM等 ^[12]	1	1	1	1	2	1	1	1	9
TANG等 ^[19]	1	0	1	1	2	1	1	1	8

表注: A为暴露组的代表性, B为非暴露组的选择, C为暴露的确定, D为是否证实与研究开始时关注的结果还没有出现, E为研究对结果的评价是否充分, F为随访时长是否充分, G为随访的完整性



图注: 两组手术时间比较差异无显著性意义(P>0.05)

图4 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组住院时间分析森林图

Figure 4 | Forest plot of hospitalization time between cement-augmented screw group and conventional screw group

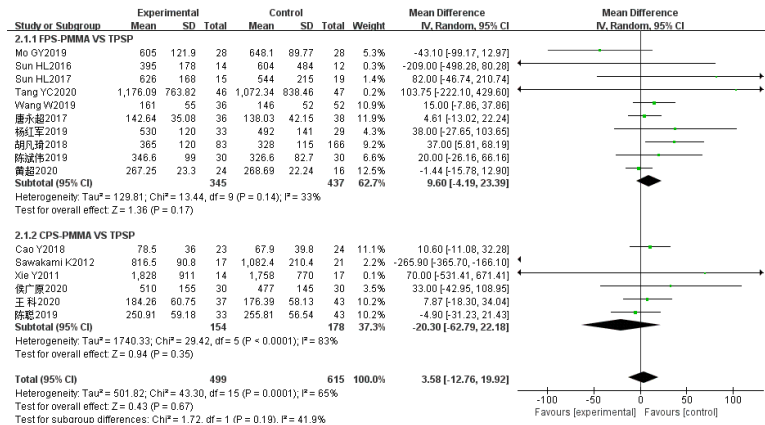
图注: 骨水泥强化螺钉组手术时间长于传统螺钉组(P<0.05)

图5 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组手术时间分析森林图

Figure 5 | Forest plot of operation time between cement-augmented screw group and conventional screw group

功能障碍指数^[10, 16-29], 各研究间异质性较大(I²=90%, P<0.000 01), 采用随机效应模型, 因单位不一致, 故采用SMD作为效应量, 结果显示骨水泥强化螺钉组末次随访Oswestry功能障碍指数低于传统螺钉组(SMD=-0.49,

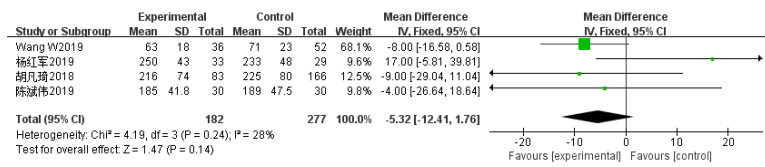
95%CI: -0.88, -0.10, P=0.01)。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 9项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统螺钉组的Oswestry功能障碍指数^[17-20, 23-24, 26-27, 29], 结果显示空心钉骨水泥强化组末次随访



图注：两组术中出血量比较差异无显著性意义 (P > 0.05)

图6 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术中出血量分析森林图

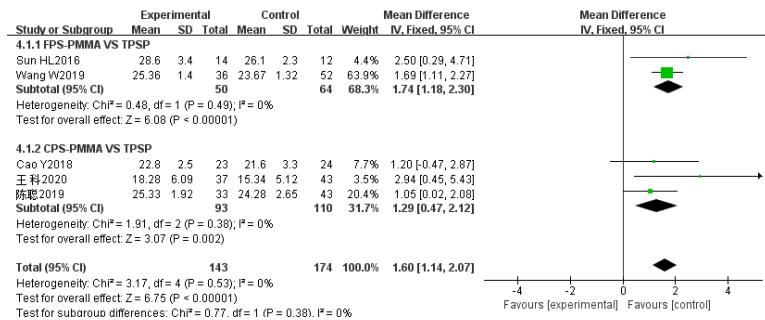
Figure 6 | Forest plot of intraoperative blood loss between cement-augmented screw group and conventional screw group



图注：两组术后引流流量比较差异无显著性意义 (P > 0.05)

图7 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术后引流流量分析森林图

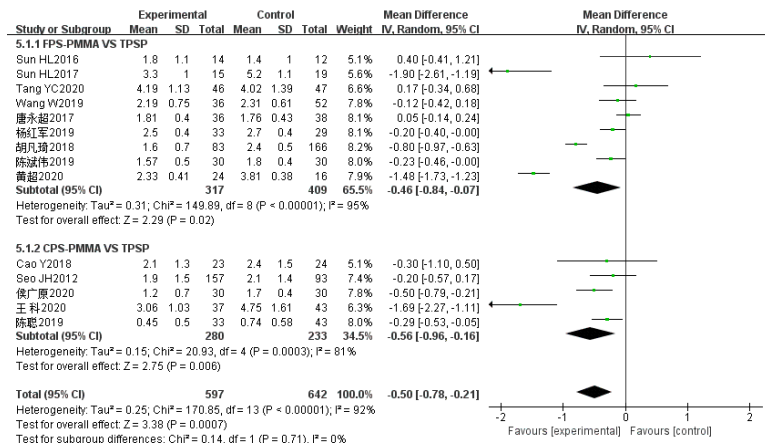
Figure 7 | Forest plot of postoperative drainage volume between cement-augmented screw group and conventional screw group



图注：骨水泥强化螺钉组术后 JOA 评分高于传统螺钉组 (P < 0.05)

图8 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术后 JOA 评分分析森林图

Figure 8 | Forest plot of Japanese Orthopaedic Association score between cement-augmented screw group and conventional screw group



图注：骨水泥强化螺钉组术后目测类比评分低于传统螺钉组 (P < 0.05)

图9 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术后目测类比评分分析森林图

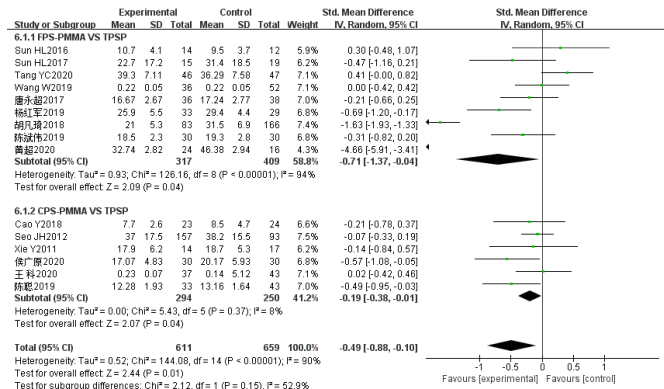
Figure 9 | Forest plot of visual analog scale score between cement-augmented screw group and conventional screw group

Oswestry 功能障碍指数低于传统螺钉组 (SMD = -0.71, 95%CI: -1.37, -0.04, P = 0.04); 6 项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统螺钉组的 Oswestry 功能障碍指数 [10, 16, 21-22, 25, 28], 结果显示常规椎弓根螺钉强化组末次随访 Oswestry 功能障碍指数低于传统螺钉组 (MD = -0.19, 95%CI: -0.38, -0.01, P = 0.04), 见图 10.

2.2.8 术后椎间隙高度 5 项研究报告了末次随访椎间隙高度 [10, 20, 25, 28-29], 包含 331 例患者, 各研究间异质性较大 (I² = 89%, P < 0.000 01), 故采用随机效应模型, 结果显示两组术后椎间隙高度比较差异有显著性意义 (MD = 1.26, 95%CI: 0.62, 1.90, P = 0.000 1)。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 2 项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统螺钉固定组的椎间隙高度 [20, 29], 结果显示空心钉骨水泥强化组末次随访椎间隙高度大于传统螺钉组 (MD = 1.83, 95%CI: 1.50, 2.17, P < 0.000 01); 3 项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统螺钉组的椎间隙高度 [10, 25, 28], 结果显示常规椎弓根螺钉强化组末次随访椎间隙高度高于传统螺钉组 (MD = 0.90, 95%CI: 0.20, 1.60, P = 0.01), 见图 11。

2.2.9 术后融合率 13 项研究报告了 1 187 例患者的末次随访融合率 [10, 13-17, 19-20, 23-24, 26, 28-29], 各研究间异质性较大 (I² = 78%, P < 0.000 01), 故采用随机效应模型, 分析结果 OR = 11.24, 95%CI: 2.86, 44.14, P = 0.000 5, 表明骨水泥强化螺钉组患者末次随访融合率高于传统螺钉组。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 8 项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统椎弓根螺钉组的融合率 [14, 17, 19-20, 23-24, 26, 29], 分析结果表明空心钉骨水泥强化组末次随访融合率高于传统椎弓根螺钉组 (OR = 11.65, 95%CI: 1.76, 77.29, P = 0.01); 5 项研究比较了常规椎弓根螺钉强化与传统椎弓根螺钉固定的融合率 [10, 13, 15-16, 28], 分析结果表明常规椎弓根螺钉强化组末次随访融合率高于传统椎弓根螺钉组 (OR = 10.46, 95%CI: 1.09, 100.01, P = 0.04), 见图 12。

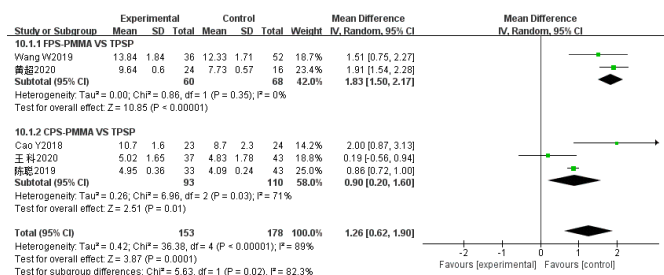
2.2.10 螺钉松动率 18 项研究报告了末次随访松动率 [10-19, 22-29], 共计 1 447 例患者, 各研究间异质性较小 (I² = 15%, P = 0.28), 故采用固定效应模型, 结果显示骨水泥强化螺钉组末次随访螺钉松动率低于传统螺钉组 (OR = 0.08, 95%CI: 0.05, 0.12, P < 0.000 01)。按照不同骨水泥螺钉强化方式进行亚组分析, 9 项研究比较了空心钉骨水泥强化组与传统螺钉组的螺钉松动率 [14, 17-19, 23-24, 26-27, 29], 结果显示空心钉骨水泥强化组末次随访螺钉松动率低于传统螺钉组 (OR = 0.10, 95%CI: 0.04, 0.20, P < 0.000 01); 7 项研究比较了常规椎弓根螺钉强化组与传统螺钉组的螺钉松动率 [10, 13, 15-16, 22, 25, 28], 结果显示常规椎弓根螺钉强化组末次随访螺钉松动率低于传统螺钉组 (OR = 0.11, 95%CI: 0.05, 0.26, P < 0.000 01); 2 项研究比较了椎弓根螺钉混合强化组 (包含空心钉强化与常规螺钉强化) 与传统螺钉组的螺钉松动率 [11-12], 结果显示椎弓根螺钉混合强化组末次随访螺钉松动率低于传统螺钉组 (OR = 0.04, 95%CI: 0.02, 0.08, P < 0.000 01), 见图 13。



图注：骨水泥强化螺钉组术后 Oswestry 功能障碍指数低于传统螺钉组 (P < 0.05)

图 10 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术后 Oswestry 功能障碍指数分析森林图

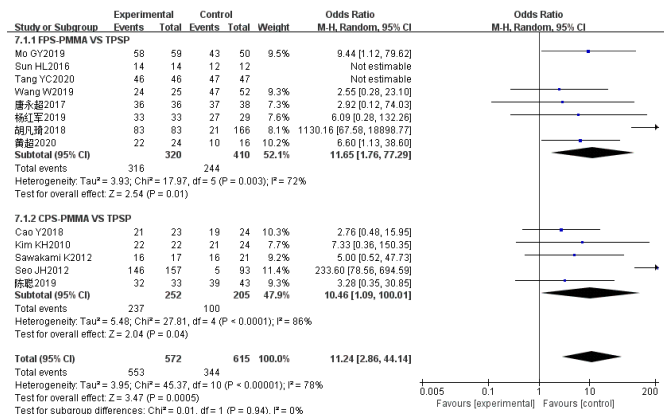
Figure 10 | Forest plot of Oswestry dysfunction index score between cement-augmented screw group and conventional screw group



图注：骨水泥强化螺钉组术后椎间隙高度高于传统螺钉组 (P < 0.05)

图 11 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术后椎间隙高度分析森林图

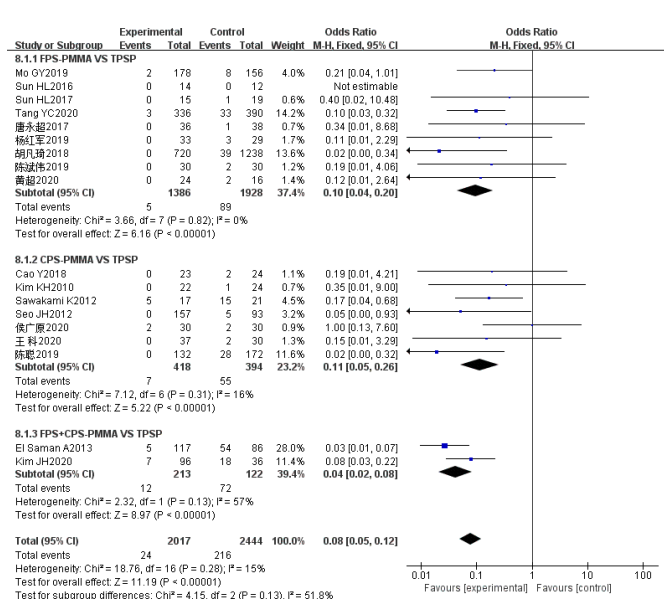
Figure 11 | Forest plot of intervertebral space height between cement-augmented screw group and conventional screw group



图注：骨水泥强化螺钉组术后融合率高于传统螺钉组 (P < 0.05)

图 12 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组术后融合率分析森林图

Figure 12 | Forest plot of fusion rate between cement-augmented screw group and conventional screw group



图注：骨水泥强化螺钉组螺钉松动率低于传统螺钉组 (P < 0.05)

图 13 | 骨水泥强化螺钉组与传统螺钉组螺钉松动率分析森林图

Figure 13 | Forest plot of screw loosening rate between cement-augmented screw group and conventional screw group

2.3 敏感性分析 对于手术时间进行逐一剔除研究后重新合并分析, 发现异质性无明显变化, 且两组比较结果与之前一致, 提示 Meta 分析结果相对可靠。考虑不同研究手术节段、手术难度及医生技术水平差异导致研究间异质性较大。

对于住院时间进行逐一剔除研究后重新合并分析, 发现异质性无明显变化, 且两组比较结果与之前一致, 提示 Meta 分析结果相对可靠。考虑各研究术后干预措施不同、患者经济水平差异导致的研究间异质性较大。

对于目测类比分、Oswestry 功能障碍指数、融合率、椎间隙高度进行逐一剔除研究后重新合并分析, 发现异质性无明显变化, 且两组比较结果与之前一致, 提示 Meta 分析结果相对可靠。考虑各研究术后随访时长不同导致各研究间异质性较大。

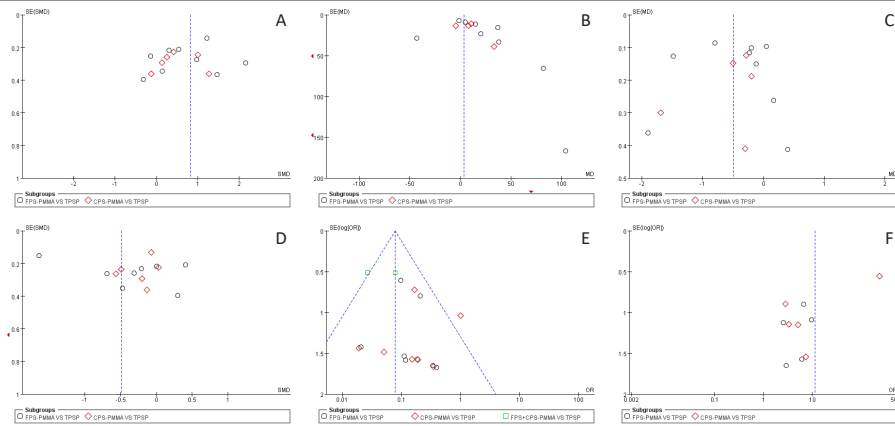
对于术中出血量, 敏感性分析提示 1 项研究可能为异质性来源, 剔除该项研究后重新进行合并分析发现异质性明显减少 ($I^2=6%$), 采用固定效应模型分析, 结果表明两组患者术中出血量仍无统计学差异 ($MD=6.66$, $95%CI: -0.94, 14.26$, $P=0.09$), 提示 Meta 分析结果相对可靠。异质性可能是各研究手术难度不同造成的。

2.4 发表偏倚分析 研究中纳入的手术时间、术中出血量、目测类比分、Oswestry 功能障碍指数评分、融合率及松钉率的文献均不少于 10 篇, 一般认为 10 篇文献以上可做漏斗图分析, 故对以上指标进行发表偏倚分析, 结果显示, 各指标均存在不同程度发表偏倚, 见图 14。

3 讨论 Discussion

医疗技术的发展导致了人口老龄化的持续加剧, 并且缺乏钙剂补充、久坐不动以及吸烟的老年人群日渐增多, 导致骨质疏松患病人群不断增多^[30], 而当骨质疏松患者合并腰椎间盘突出、椎管狭窄、腰椎滑脱不稳以及脊柱侧弯等胸腰椎退行性疾病时, 采用椎弓根螺钉系统进行脊柱融合固定是主要治疗方式之一。但骨质疏松患者运用常规椎弓根螺钉固定时早期易出现椎弓根及椎体骨折, 晚期可能导致进行性交界后凸畸形、假关节形成以及邻近椎体节段退变, 而其中最常见并发症为螺钉松动, 因为该治疗方式对椎弓根螺钉/骨界面的负荷要求很高, 影响椎弓根螺钉在脊柱上附着强度的最重要因素是骨密度, 当骨密度下降时, 椎弓根螺钉轴向拔出力及拔出刚度也明显下降^[31], 研究表明, 与骨质量良好 ($> 120 \text{ mg/cm}^3$) 的脊柱相比, 骨密度低于 80 mg/cm^3 的脊柱内固定稳定性仅有 60% ^[32]; 而当骨密度低于 0.6 g/cm^2 时, 骨水泥强化固定易出现早期螺钉松动^[33]。因而骨质疏松患者因骨密度下降、骨微结构破坏破坏了椎弓根螺钉置钉的稳定性, 导致内固定失败风险极大增加^[34]。

目前, 许多学者运用多种方式和技术努力提高脊柱内固定稳定性, 如部分学者在原固定的基础上补充前路固定、椎板钩以及安装横向连接器^[25], 而更多的学者为增强椎弓根螺钉的抗拔除力, 减少松钉、退钉等相关并发症发生风险, 不断改进技术。有学者建议使用可膨胀



图注：A-F 分别为手术时间、术中出血量、目测类比评分、Oswestry 功能障碍指数、螺钉松动率及融合率发表偏倚图。各指标均存在不同程度发表偏倚

图 14 | 相关指标发表偏倚图

Figure 14 | Publication bias for related indexes

螺钉、双螺纹螺钉及皮质骨螺钉，甚至增加螺钉直径与长度，从而增强螺钉抗拔出，但其工艺较高、费用昂贵，且有加剧椎弓根爆裂以及损伤椎体前腹主动脉可能^[35]，临床推广运用受到一定限制。骨水泥具有凝固时间短、固化稳定度高等优点，被广泛运用于骨质疏松相关疾病的治疗，目前骨水泥常见材料为聚甲基丙烯酸甲酯，其联合椎弓根螺钉进行强化固定时可间接增加骨小梁和强化螺钉的接触面积，有效提高螺钉的抗拔出。ERDEM 等^[36]的研究发现，运用骨水泥强化固定时椎弓根螺钉抗拔出明显提高，增加幅度可达 96%–262%，而椎弓根螺钉的横向弯曲刚度增加了 153%，因此该技术被脊柱医师逐渐运用于胸腰椎退行性疾病患者的手术治疗中，但其中存在的骨水泥渗漏风险、翻修难度增加、患者费用增多等不良问题也为骨水泥强化椎弓根螺钉的推广设置了障碍^[9]。

此次研究共纳入 20 篇文献，Meta 分析结果显示，骨水泥强化椎弓根螺钉组手术时间要多于传统椎弓根螺钉组，考虑骨水泥强化椎弓根螺钉组增加了水泥注入环节，所需透视次数也明显增加，进而使手术时间也在一定程度上有所增加。两组在术中出血量、住院时间、术后引流流量方面无差异，考虑与脊柱手术出血及对患者损伤较大环节基本集中于椎管减压方面，而手术出血量和损伤与术后恢复密切相关，因此两者近期术后恢复速度相当，导致住院时间相差无几^[37]。JOA 评分、目测类比评分、Oswestry 功能障碍指数是脊柱外科手术疗效的常见评价标准^[38]，在末次随访时 JOA 评分、目测类比评分及 Oswestry 功能障碍指数方面，骨水泥强化椎弓根螺钉组要优于传统椎弓根螺钉组，而两组患者随访时间基本在 1 年以上，表明骨水泥强化椎弓根螺钉组远期疗效较传统椎弓根螺钉更好，骨水泥强化螺钉治疗更能提高患者远期生活质量。在保持椎间隙高度、提高融合率及降低螺钉松动率方面，骨水泥强化椎弓根螺钉组仍优于传统椎弓根螺钉组。运用骨水泥强化技术可有效提高椎体强度，降低螺钉、退钉风险，实现坚强内固定，减少终板的塌陷，

更好地维持椎间隙高度，并且为椎体间融合提供了良好及稳定的力学环境，抬高融合效率^[39]，达到理想的临床效果。

骨水泥强化椎弓根螺钉虽能有效降低椎体内固定手术螺钉松动率，并促进植骨融合，但骨水泥的运用所带来的潜在风险也不容忽视，一方面骨水泥本身的高热聚合效应、高流动性及单体毒性带来相关不良反应，另一方面骨水泥联合螺钉强化时对其他节段造成功学影响，诱发不良后果，其相关并发症包括骨水泥渗漏、肺栓塞、感染及邻椎骨折风险增加。JANSSEN 等^[40]发现骨水泥强化螺钉存在较高的无症状性骨水泥渗漏风险，且通常被人低估，且骨水泥会通过椎体周围静脉系统流经全身器官造成血栓，严重者可导致肺栓塞及心脏损伤，甚至危及生命。此次研究结果显示各强化组均出现了不同程度的骨水泥渗漏，但均未出现严重不良反应，属于无症状性骨水泥渗漏。仅强化组出现神经根刺激症状，这除了与椎弓根置钉位置不佳刺激神经根外，也可能骨水泥所带来的热损伤和机械压迫刺激相关^[38]。也有研究表明，骨水泥弥散不均匀使降低了生物力学稳定性，因不稳而刺激神经引起相应症状^[32]。而随着医生技术的提高、骨水泥材料及器械的改良，骨水泥渗漏风险也得到了有效降低。此外，骨水泥强化螺钉可能因增加了椎体硬度，导致邻近节段的代偿应力集中，增加了固定椎体邻近节段骨折的风险^[40]。

在骨水泥强化技术刚开始出现时，运用常规椎弓根螺钉联合椎体成形术预充骨水泥进行强化一直是脊柱外科医生的首选，而随着内固定材料的不断发展，空心侧孔螺钉在近些年来也得到了广泛使用，通过空心侧孔螺钉注入骨水泥进行强化的临床报道也屡见不鲜^[41]。但关于两种骨水泥强化技术的优劣也似乎存在一些争议，CHEN 等^[42]基于生物力学分析认为，骨水泥强化空心侧孔螺钉抗拔出优于骨水泥强化传统椎弓根螺钉，这可能与骨水泥与空心螺钉接触面积更大相关，而随着螺钉技艺的改进，这一点得到改善，骨水泥强化传统椎弓根螺钉的优点也逐步体现；KIM 等^[42]研究发现，骨水

泥强化传统椎弓根螺钉在降低螺钉松动方面优于骨水泥强化空心侧孔螺钉，且骨水泥强化空心侧孔螺钉固定强度受到骨水泥分布类型的强烈影响，骨水泥强化空心侧孔螺钉的固定强度则与空心钉开孔数量呈正比。郭海威等^[43]纳入 12 篇关于两种强化技术临床对比的文献并进行 Meta 分析后发现，骨水泥强化空心侧孔螺钉对比传统螺钉强化更能减少骨水泥渗漏和螺钉松动，并在减少手术出血量和维持椎体高度方面存在优势。但空心侧孔螺钉较之常规椎弓根螺钉费用更为昂贵，这对临床医生的强化方式选择也造成了一定困扰。遗憾的是，该研究并未对两种强化技术进行对比，有待于在后期研究中进行完善。

研究结果显示，在治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病时，运用骨水泥强化椎弓根螺钉能有效降低螺钉松动率、维持椎间隙高度、促进椎间植骨融合，并提高患者远期临床疗效。但由于所纳入的研究质量参差不齐，大部分为中文研究及回顾性研究，并且纳入样本量偏少，有较大统计学异质性，存在一定选择性偏倚，导致分析结果可靠性降低。文章所得结论有待设计更为严谨的高质量、大样本临床研究进一步验证。

作者贡献：资料收集为谭黎鑫、鲁尧，数据检索为孙凯，数据分析为余照宇、孙凯，余照宇成文，李勇审核。

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中不存在利益冲突。

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。

版权转让：文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范：该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 指南)。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。文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] TUOMAINEN I, PAKARINEN M, AALTO T, et al. Depression is associated with the long-term outcome of lumbar spinal stenosis surgery: a 10-year follow-up study. *Spine J.* 2018;18(3):458-463.
- [2] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 中国骨质疏松症流行病学调查及“健康骨骼”专项行动结果发布 [J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2019,12(4):317-318.
- [3] YOUNG JJ, JENSEN RK, HARTVIGSEN J, et al. Prevalence of multimorbid degenerative lumbar spinal stenosis with knee or hip osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):177.

[4] MARIE-HARDY L, PASCAL-MOUSSELLARD H, BARNABA A, et al. Screw Loosening in Posterior Spine Fusion: Prevalence and Risk Factors. *Global Spine J.* 2020;10(5):598-602.

[5] TANDON V, FRANKE J, KALIDINDI KKV. Advancements in osteoporotic spine fixation. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(5):778-785.

[6] SAKAURA H, IKEGAMI D, FUJIMORI T, et al. Early cephalad adjacent segment degeneration after posterior lumbar interbody fusion: a comparative study between cortical bone trajectory screw fixation and traditional trajectory screw fixation. *J Neurosurg Spine.* 2019;32(2):155-159.

[7] GAZZERI R, PANAGIOTOPOULOS K, GALARZA M, et al. Minimally invasive spinal fixation in an aging population with osteoporosis: clinical and radiological outcomes and safety of expandable screws versus fenestrated screws augmented with polymethylmethacrylate. *Neurosurg Focus.* 2020;49(2):E14.

[8] JANG SH, LEE JH, CHO JY, et al. The efficacy of hydroxyapatite for screw augmentation in osteoporotic patients. *Neurol Med Chir.* 2013;53(12):875e881.

[9] HOPPE S, KEEL MJ. Pedicle screw augmentation in osteoporotic spine: indications, limitations and technical aspects. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2017;43(1):3-8.

[10] CAO Y, LIANG Y, WAN S, et al. Pedicle Screw with Cement Augmentation in Unilateral Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A 2-Year Follow-Up Study. *World Neurosurg.* 2018;118:e288-e295.

[11] EL SAMAN A, MEIER S, SANDER A, et al. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws invertebral fractures in the elderly. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2013;39(5):455-460.

[12] KIM JH, AHN DK, SHIN WS, et al. Clinical Effects and Complications of Pedicle Screw Augmentation with Bone Cement: Comparison of Fenestrated Screw Augmentation and Vertebroplasty Augmentation. *Clin Orthop Surg.* 2020;12(2):194-199.

[13] KIM KH, LEE SH, LEE DY, et al. Anterior bone cement augmentation in anterior lumbar interbody fusion and percutaneous pedicle screw fixation in patients with osteoporosis. *J Neurosurg Spine.* 2010;12(5):525-532.

[14] MO GY, GUO HZ, GUO DQ, et al. Augmented pedicle trajectory applied on the osteoporotic spine with lumbar degenerative disease: mid-term outcome. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):170.

[15] SAWAKAMI K, YAMAZAKI A, ISHIKAWA S, et al. Polymethylmethacrylate augmentation of pedicle screws increases the initial fixation in osteoporotic spine patients. *J Spinal Disord Tech.* 2012;25(2):E28-35.

[16] SEO JH, JU CI, KIM SW, et al. Clinical efficacy of bone cement augmented screw fixation for the severe osteoporotic spine. *Korean J Spine.* 2012;9(2):79-84.

[17] SUN HL, LI CD, YANG ZC, et al. Polymethylmethacrylate augmentation of bone cement-injectable cannulated pedicle screws for the treatment of degenerative lumbar diseases with osteoporosis. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2016;48(6):1019-1025.

[18] SUN HL, LI CD, LI XW, et al. Polymethylmethacrylate augmentation of bone cement injectable cannulated pedicle screws was used to treat degenerative lumbar scoliosis with osteoporosis. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2017;49(2):256-261.

[19] TANG YC, GUO HZ, GUO DQ, et al. Effect and potential risks of using multilevel cement-augmented pedicle screw fixation in osteoporotic spine with lumbar degenerative disease. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):274.

[20] WANG W, LIU C, LI J, et al. Comparison of the fenestrated pedicle screw and conventional pedicle screw in minimally percutaneous fixation for the treatment of spondylolisthesis with osteoporotic spine. *Clin Neurol Neurosurg.* 2019;183:105377.

[21] XIE Y, FU Q, CHEN ZQ, et al. Comparison between two pedicle screw augmentation instrumentations in adult degenerative scoliosis with osteoporosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2011;12:286.

[22] 侯广原, 张继学, 张志军, 等. 骨水泥强化椎弓根螺钉内固定治疗伴骨质疏松腰椎退行性疾病的1年随访[J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(6):878-883.

[23] 唐永超, 梁德, 陈博来, 等. 骨水泥钉道强化与否则治疗伴骨质疏松的单节段腰椎退行性疾病的临床对照研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017,27(12):1092-1098.

[24] 杨红军, 苏高建, 冯智海, 等. 新型骨水泥椎弓根螺钉内固定系统治疗重度骨质疏松腰椎退变性疾病的临床研究[J]. *中国骨与关节杂志*, 2019,8(9):703-708.

[25] 王科, 路琪, 陆锡平. 骨水泥强化椎弓根螺钉内固定治疗骨质疏松伴腰椎退行性疾病效果及影响因素分析[J]. *河北医学*, 2020, 26(8):1246-1251.

[26] 胡凡琦, 胡文浩, 张昊, 等. 骨水泥强化椎弓根螺钉治疗合并骨质疏松脊柱疾病的疗效观察[J]. *解放军医学院学报*, 2018,39(6):470-476.

[27] 陈斌伟, 廖壮文, 黄帅, 等. 可注射骨水泥椎弓根钉内固定术治疗伴骨质疏松的多节段腰椎管狭窄症的疗效[J]. *实用医学杂志*, 2019,35(24):3793-3797.

[28] 陈聪. 骨水泥强化椎弓根螺钉治疗骨质疏松性腰椎退变疾病的疗效观察[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.

[29] 黄超. 骨水泥螺钉治疗老年腰椎滑脱患者疗效分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2020.

[30] CHIN DK, PARK JY, YOON YS, et al. Prevalence of osteoporosis in patients requiring spine surgery: incidence and significance of osteoporosis in spine disease. *Osteoporos Int.* 2007;18(9):1219-1224.

[31] 高明暄, 周胜虎, 邓晓文, 等. 骨质疏松对椎弓根螺钉稳定性影响的实验研究[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2013,19(1):39-42.

[32] WEISER L, SEHMISCH S, LEHMANN W, et al. Techniques to increase pedicle screw stability in osteoporotic vertebrae. *Oper Orthop Traumatol.* 2019;31(4):284-292.

[33] ZHUANG XM, YU BS, ZHENG ZM, et al. Effect of the degree of osteoporosis on the biomechanical anchoring strength of the sacral pedicle screws: an in vitro comparison between unaugmented bicortical screws and polymethylmethacrylate augmented unicortical screws. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35(19):E925-E931.

[34] MCCOY S, TUNDO F, CHIDAMBARAM S, et al. Clinical considerations for spinal surgery in the osteoporotic patient: A comprehensive review. *Clin Neurol Neurosurg.* 2019;180:40-47.

[35] LEHMAN RA JR, KANG DG, WAGNER SC. Management of osteoporosis in spine surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015;23(4):253-263.

[36] ERDEM MN, KARACA S, SARİ S, et al. Application of cement on strategic vertebrae in the treatment of the osteoporotic spine. *Spine J.* 2017;17(3):328-337.

[37] GIRARDO M, CINNELLA P, GARGIULO G, et al. Surgical treatment of osteoporotic thoraco-lumbar compressive fractures: the use of pediclescrew with augmentation PMMA. *Eur Spine J.* 2017;26(Suppl 4):546-551.

[38] SHI S, ZHOU Z, NI HJ, et al. Does anxiety influence the prognosis of percutaneous transforaminal endoscopic discectomy in the treatment of lumbar disc herniation? A preliminary propensity score matching analysis. *Int Orthop.* 2020;44(11):2357-2363.

[39] WANG Y, YANG L, LI C, et al. The Biomechanical Properties of Cement-Augmented Pedicle Screws for Osteoporotic Spines. *Global Spine J.* 2022;12(2):323-332.

[40] JANSSEN I, RYANG YM, GEMPT J, et al. Risk of cement leakage and pulmonary embolism by bone cement-augmented pedicle screw fixation of the thoracolumbar spine. *Spine J.* 2017;17(6):837-844.

[41] EHRESMAN J, PENNINGTON Z, ELSAMADICY AA, et al. Fenestrated pedicle screws for thoracolumbar instrumentation in patients with poor bone quality: Case series and systematic review of the literature. *Clin Neurol Neurosurg.* 2021;206:106675.

[42] CHEN LH, TAI CL, LEE DM, et al. Pullout strength of pedicle screws with cement augmentation in severe osteoporosis: a comparative study between cannulated screws with cement injection and solid screws with cement pre-filling. *BMC Musculoskelet Disord.* 2011;12:33.

[43] 郭海威, 谢家豪, 林燕平, 等. 骨水泥强化空心侧孔与常规椎弓根螺钉内固定修复骨质疏松椎体效果及安全性 Meta 分析[J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(30):4891-4899.

(责任编辑: GW, ZN, QY, LJY)