

# 老年骨质疏松症患者胸腰椎内固定临床应用指南(2025 版)

中华医学会骨科学分会创新与转化学组 中国医师协会骨科医师分会脊柱创伤学组  
陕西省医师协会骨科微创专业委员会

通信作者:贺宝荣,西安交通大学附属红会医院脊柱外科,西安 710054, Email: hebr888@163.com;冯世庆,山东大学齐鲁第二医院骨科,济南 250033, Email: shiqingfeng@sdu.edu.cn;闫亮,西安交通大学附属红会医院脊柱外科,西安 710054, Email:henry\_yanliang@163.com

**【摘要】** 骨质疏松症发病率随年龄增长显著升高。老年患者因胸腰椎退行性变或创伤需行内固定术时,合并的骨质疏松症会显著增加手术难度与风险,常见并发症包括螺钉松动、内固定失效和植骨融合失败,给脊柱外科医师带来巨大挑战。目前对于老年骨质疏松症胸腰椎内固定术临床应用缺乏相关临床规范或指南。为此,中华医学会骨科学分会创新与转化学组、中国医师协会骨科医师分会脊柱创伤学组和陕西省医师协会骨科微创专业委员会共同牵头组织专家,基于循证医学原则,结合科学性和实用性,对相关文献进行系统回顾分析,制订本指南,主要从术前宣教、手术策略、术中注意事项、术后康复等方面提出相应的推荐意见,为规范该技术的临床应用提供指导。

**【关键词】** 骨质疏松; 胸腰椎; 内固定; 老年; 指南

**基金项目:**国家重点研发计划(2024YFC3607000、2022YFC2407503);陕西省科学技术厅重点产业创新链(群)-社会发展领域项目(2023-ZDLSF-03)

**实践指南注册:**国际实践指南注册与透明化平台(PREPARE-2025CN215)

## Evidence-based clinical guideline on thoracolumbar internal fixation for elderly patients with osteoporosis (2025 edition)

The Innovation and Transformation Group of the Chinese Orthopedic Association, The Spine Trauma Group of the Chinese Association of Orthopedic Surgeons, The Orthopedic Minimally Invasive Injury Professional Committee of Shaanxi Province Association of Orthopedic Surgeons

Corresponding authors: He Baorong, Department of Spinal Surgery, Honghui Hospital, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China, Email: hebr888@163.com; Feng Shiqing, Department of Orthopaedics Surgery, Qilu Second Hospital of Shandong University, Jinan 250033, China, Email: shiqingfeng@sdu.edu.cn; Yan Liang, Department of Spinal Surgery, Honghui Hospital, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China, Email: henry\_yanliang@163.com

**【Abstract】** The incidence of osteoporosis increases significantly with age. When elderly patients require internal fixation due to degenerative changes or trauma in the thoracolumbar spine, concomitant osteoporosis considerably elevates surgical difficulty and risk. Common complications include screw loosening, internal fixation failure, and nonunion of bone grafts, posing substantial challenges to spine surgeons. Currently, there is a lack of relevant clinical standards or guidelines for the application of thoracolumbar internal fixation in elderly patients with osteoporosis. To address this gap, based on the principles of evidence-based medicine, integrating scientific rigor with

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20250615-01459

收稿日期 2025-06-15 本文编辑 霍永丰

引用本文:中华医学会骨科学分会创新与转化学组,中国医师协会骨科医师分会脊柱创伤学组,陕西省医师协会骨科微创专业委员会.老年骨质疏松症患者胸腰椎内固定临床应用指南(2025 版)[J].中华医学杂志,2026,106(1):24-38. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20250615-01459.



practicality, conducting a systematic review and analysis of relevant literature, the Innovation and Transformation Group of the Chinese Orthopaedic Association and the Spine Trauma Group of the Chinese Association of Orthopaedic Surgeons and the Orthopedic Minimally Invasive Injury Professional Committee of Shaanxi Province Association of Orthopedic Surgeons jointly led an expert initiative leading to the development of this guideline. Recommendations are proposed primarily covering preoperative education, surgical strategies, intraoperative considerations, and postoperative rehabilitation, aiming to standardize the clinical application of this technique.

**【 Key words 】** Osteoporosis; Thoracolumbar spine; Internal fixation; Elderly; Guidelines

**Fund program:** Key Special Project of National Key R&D Plan (2024YFC3607000, 2022YFC2407503); Science and Technology Department of Shaanxi Province Key Industrial Innovation Chain(Group)-Social Development Project(2023-ZDLSF-03)

**Practice guideline registration:** Practice guideline registration for transparency (PREPARE-2025CN215)

中国已全面进入老龄化社会,老年人口比例持续攀升。骨质疏松症作为一种与年龄密切相关的骨代谢疾病,其发病率也随之显著增高<sup>[1]</sup>。2021 年流行病学数据显示,我国老年人的骨质疏松症患病率男性为 6.9%,女性为 32.1%,40 岁以上人群中骨质疏松性椎体骨折患病率男性为 10.5%,女性为 9.7%<sup>[2]</sup>。骨质疏松症不仅导致骨强度下降,更与脊柱退行性病变相互促进,形成恶性循环。因此,当罹患腰椎管狭窄症、退变性腰椎滑脱症、胸腰椎骨折等常见脊柱疾病且需接受手术的老年患者常因合并骨质疏松症而面临巨大挑战,如骨质疏松显著增加了胸腰椎内固定术的难度和风险。临床中因骨量不足引发的螺钉松动、内固定失效、植骨融合失败等并发症发生率较高,严重影响手术疗效<sup>[3]</sup>。尽管脊柱内固定技术日趋成熟,但目前对于老年骨质疏松症患者胸腰椎内固定术的方案选择、骨强化策略及围手术期管理,尚缺乏统一的临床应用规范和指南。为此,笔者依据循证医学证据,参考卫生实践指南报告标准,遵循科学性、实用性和先进性的原则,形成《老年骨质疏松症患者胸腰椎内固定临床应用指南(2025 版)》(简称本指南)。

本指南由中华医学会骨科学分会创新与转化学组与中国医师协会骨科医师分会脊柱创伤学组和陕西省医师协会骨科微创专业委员会共同牵头,联合脊柱外科、骨质疏松、循证医学领域权威专家,通过系统性文献回顾、多中心德尔菲法问卷调查及面对面专家讨论制订而成。指南明确将“老年”定义为 60 岁及以上人群<sup>[4]</sup>,诊断标准参考双能 X 线吸收法(DXA, T 值 $\leq -2.5$  SD)及定量 CT 法(QCT, BMD $\leq 80$  mg/cm<sup>3</sup>),聚焦老年骨质疏松症患者需经胸腰椎后路内固定术这一临床核心场景,旨在为临

床实践提供科学、规范的决策支持。

## 一、指南形成过程

### (一)指南注册

本指南在国际实践指南注册平台完成注册(PREPARE-2025CN215)。

### (二)指南制订方法

本指南的制订过程符合美国医学科学院(IOM)、指南研究与评价工具(AGREE II)及世界卫生组织(WHO)指南制订手册关于临床实践指南构建的概念与过程框架,严格按照预先的计划书进行。指南的报告过程参考《中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022 版)》<sup>[5]</sup>。

### (三)指南工作组

本指南由中华医学会骨科学分会创新与转化学组、中国医师协会骨科医师分会脊柱创伤学组和陕西省医师协会骨科微创专业委员会共同发起并负责制订,启动时间为 2024 年 1 月 1 日。临床实践指南工作委员会由三个核心团队共同组建:指南编制专家组、指南秘书组和外部评审组。各团队构成及职能分工如下:指南编制专家组作为跨学科团队,涵盖脊柱外科、骨质疏松、流行病与卫生统计等领域权威专家。主要职责包括:(1)界定核心临床议题与研究范畴;(2)实施证据整合与质量评级;(3)完成分管章节的循证医学评估;(4)起草推荐建议框架及核心内容;(5)组织共识会议形成初步建议方案;(6)撰写指南全文;(7)综合各方意见充分讨论修订草案并完成终审。

指南秘书组:由具有脊柱外科临床和循证医学研究背景的专业人员组成。主要职责为调研临床人群、干预措施、对照、结局指标(PICO)问题,起草指南计划书,检索并筛选文献,详细记录指南制订

全过程,协调指南制订相关事项。

外部评审组作为独立评估机构,由多学科权威专家、临床从业人员构成,全程回避指南制订过程。其核心任务为:(1)对指南草案进行专业审查;(2)为最终版本的完善提供重要修改建议;(3)通过多维度评估确保指南的临床应用价值与可操作性。

#### (四)指南的使用者和目标应用人群

指南使用者:脊柱外科医师及骨科医师、护士、药师、政策制定者、卫生部门管理者等。指南目标人群:适用于需行胸腰椎内固定术的老年骨质疏松症患者。

#### (五)利益冲突声明

所有参与指南制订的成员均对本指南有关的任何利益关系进行了声明,并填写了利益声明表。

#### (六)临床问题的确定

指南主要的作用是解决临床实践中遇到的临床问题。因此,本指南工作组通过第 1 轮开放性问卷调查收集了 26 份问卷共计 47 个临床问题。对收集到的 47 个临床问题进行汇总去重后,最终得到 21 个临床问题。通过第 2 轮专家函询,对 21 个临床问题再次解构、删减和合并,最终确定术前宣教、手术策略、术中注意事项以及术后康复四大方面共 16 个临床问题。

#### (七)临床问题解构与证据检索

针对纳入的临床问题,按照人群、干预措施、对照、结局指标、研究类型原则(PICOS)进行解构。根据解构的临床问题进行证据检索:(1)检索数据库包括:PubMed、Web of Science、Embase、Cochrane Library、中国知网、中华医学期刊全文数据库及万方数据库,检索词为:“osteoporosis”“internal fixation”“spine”“thoracic”“lumbar”“thoracolumbar”“骨质疏松”“内固定”“脊柱”“胸椎”“腰椎”“胸腰椎”;(2)检索研究类型:系统综述、Meta 分析、随机对照试验、队列研究、病例对照研究、病例系列研究、个案报道、专家述评等;(3)检索时间为建库至 2025 年 5 月 1 日。通过数据库搜索纳入 954 篇文献(中文 382 篇、英文 572 篇)。将所有文献导入 EndNote X9 文献管理软件,阅读文献题目、摘要,去除重复文献、动物实验及基础研究、语言非英语或中文、会议摘要/论文、非骨科临床应用后获得 76 篇,其中中文 14 篇、英文 62 篇。

#### (八)文献证据等级评价与推荐强度

本指南采用推荐意见分级的评估、制订及评价

(GRADE)分级体系对证据的质量和推荐意见的推荐强度进行分级。GRADE 证据质量和推荐强度分级的含义分别见表 1 和表 2。

表 1 本指南采用的推荐意见分级的评估、制订及评价 (GRADE)证据质量分级

证据等级	定义
高等(A)	非常有把握观察值接近真实值
中等(B)	对观察值有中等把握:观察值有可能接近真实值,但也有可能差别很大
低等(C)	对观察值的把握有限:观察值可能与真实值有很大差别
极低(D)	对观察值几乎没有把握:观察值与真实值可能有极大差别

表 2 本指南涉及的意见推荐强度分级

推荐强度分级	定义
强推荐	明确显示干预措施利大于弊或弊大于利
弱推荐	利弊不确定或无论质量高低的证据均显示利弊相当
专家建议(GPS)	基于非直接证据或专家意见、经验形成的推荐

#### (九)证据质量评价

证据评价与分级小组采用系统评价的方法学质量评价工具(AMSTAR)<sup>[6]</sup>对指南中纳入的系统评价、荟萃分析进行方法学质量评价,采用 Cochrane 风险偏倚评价工具<sup>[7]</sup>、诊断准确性研究的质量评价工具(QUADAS-2)<sup>[8]</sup>、纽卡斯尔-渥太华量表(NOS)<sup>[9]</sup>对随机对照试验、诊断性研究和观察性研究进行方法学质量评价。使用 GRADE 方法<sup>[10]</sup>对证据和推荐意见进行分级(表 1、2)。评价过程由 2 位专业人士独立完成,若存在不一致,共同讨论或咨询第三方协商解决。

#### (十)推荐意见形成

初步形成 26 条推荐意见。先后经过两轮函询收集意见、一轮面对面指南论证会后,以超过 75% 的专家同意为标准,最终确定了 17 条推荐意见、以及相应的推荐强度和证据等级。

#### (十一)指南外审

本指南在发布前进行了同行评议,并对评审意见进行回复和修改。

#### (十二)指南实施与传播

本指南在专业杂志发布后,工作组将通过专业期刊、网站、学术会议等多种渠道,在国内组织开展推广和传播工作,确保临床医师及相关利益方充分了解并正确应用本指南。今后,将依据最新证据进展,每 3~5 年对指南进行一次更新。

## 二、术前评估

### (一)术前宣教

**推荐意见 1:** 建议向患者多模式地宣教骨质疏松症以及行胸腰椎内固定术的并发症,认识抗骨质疏松治疗的重要性,掌握正确的康复锻炼方法,从而加速术后康复。(强推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 4 项,其中 A 级证据 2 项<sup>[11-12]</sup>, B 级证据 1 项<sup>[13]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[14]</sup>。

老年骨质疏松症胸腰椎内固定术前的宣教应侧重于以下几个核心方面:首先, Lopez-Olivo 等<sup>[11]</sup>指出,术前健康教育对于治疗骨质疏松、提高患者依从性至关重要。宣教内容需涵盖骨质疏松的病因与疾病特点,并需特别说明因合并骨质疏松,在行胸腰椎内固定术时可能发生内固定松动、断裂、移位等主要并发症,进而阐明规范抗骨质疏松治疗的重要性<sup>[14]</sup>。其次,应指导患者掌握正确的术后康复锻炼方法,以加速康复进程。Louw 等<sup>[12]</sup>研究认为,术前进行疼痛的神经生理学知识宣教能使脊柱手术患者获得更好的术后疗效。基于加速康复外科理念,制定相对个体化的康复方案(原则为保护骨骼与内植物稳定,并实现肌肉软组织训练),将有利于减轻术后疼痛、促进功能恢复、减少并发症、缩短住院时间及提高患者满意度。

在宣教形式上,应采取多样化策略。可结合传统的面对面集中宣教(涵盖知识、心理与饮食管理)与网站、电视、微信科普等线上宣教方式<sup>[15]</sup>,构建线上线下融合、形式多样的健康教育体系<sup>[13]</sup>。线上教育能通过生动直观的多媒体形式,有效提升患者的认知水平和治疗依从性,从而实现持续性的健康教育效果。

### (二)术前促骨形成治疗

**推荐意见 2:** 对于择期行腰椎融合术的严重骨质疏松患者,建议术前接受一个阶段的促骨形成药物治疗。该策略可快速改善骨质量、提高内固定稳定性、降低术后早期并发症风险,且对高风险群体具有成本效益。(弱推荐,证据等级 B)

共纳入文献证据 3 项,其中 B 级证据 2 项<sup>[16-17]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[18]</sup>。

对于需行腰椎融合内固定术的老年骨质疏松症患者,术前使用特立帕肽等促骨形成药物干预是改善手术预后、降低并发症风险的重要策略。此策略的优势在于能够快速提升骨质量,为内固定物提供更稳定的力学环境。一项关键回顾性研究为此提供了直接的生物力学证据:该研究显示,术前平

均接受 61.4 d(最短 31 d)特立帕肽治疗的严重骨质疏松患者,其术中椎弓根螺钉的植入扭矩值显著高于未治疗组<sup>[16]</sup>。螺钉植入扭矩是衡量螺钉在骨质中把持力和初始稳定性的重要指标,该结果的提升证实了短期特立帕肽治疗能有效增强骨的机械性能。更重要的是,这种生物力学性能的改善能够转化为更优的临床结局。Jain 等<sup>[17]</sup>的一项大样本量研究证实,术前未接受抗骨质疏松治疗是术后 1 年内发生内固定失败、邻近椎体骨折等并发症的危险因素。这从临床结局的角度反向论证了术前抗骨质疏松治疗(尤其是促骨形成治疗)对于严重骨质疏松症患者的重大意义。

关于术前治疗的最佳疗程,建议不应短于 2 个月,因为这是特立帕肽发挥生物学效应所需的最低时间窗口<sup>[19]</sup>。然而,从疗效评估的角度出发,更为理想的术前疗程是 3~6 个月,该时长允许医师通过复查骨转换标志物来客观评估治疗反应。此外,术前使用特立帕肽也具有显著的健康经济学价值。研究表明,对于假关节发生风险高的患者(预估发生率 >30.6%),术前使用特立帕肽是一种符合成本效益的策略,其“需治疗人数”(NNT)为 5,即平均每治疗 5 例患者就能预防 1 例假关节的发生<sup>[18]</sup>。

### (三)内固定术的分类

**推荐意见 3:** 对于老年骨质疏松症患者,可选择骨水泥强化螺钉、双螺纹螺钉或皮质骨轨迹螺钉等方式进行后路脊柱稳定性重建。(强推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 7 项,其中 A 级证据 5 项<sup>[20-24]</sup>, B 级证据 1 项<sup>[25]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[26]</sup>。

采用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)进行骨水泥强化螺钉固定(包括钉道强化和中空带孔螺钉),是骨质疏松症患者中最常用的增强固定技术之一。其有效性已得到多项研究支持。例如, Saadeh 等<sup>[20]</sup>的研究分析了脊柱融合术中骨水泥强化椎弓根螺钉的生物力学特性、临床疗效和并发症,结论认为,中空螺钉骨水泥强化是提高骨质疏松患者椎弓根螺钉固定强度的有效策略。尽管存在骨水泥外渗的潜在风险,但该并发症多数情况下并无临床症状。最新荟萃分析结果进一步证实,无论是治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病还是骨折,骨水泥强化椎弓根螺钉固定相较于传统固定方式均能更有效地降低术后螺钉松动率,并改善远期临床疗效<sup>[21, 23]</sup>。

其他可提高骨质疏松症患者螺钉稳定性的方法主要包括以下几类:(1)改进螺钉设计:例如使用



双螺纹螺钉、加粗或加长螺钉、可膨胀螺钉及涂层螺钉等,这些设计均能在不同程度上提升螺钉的抗拔出力量<sup>[26]</sup>;(2)优化置钉技术与轨迹:包括操作上避免反复置钉,力求一次成功;采用骨水泥强化的双皮质固定<sup>[24]</sup>;以及应用特殊置钉轨迹,如皮质骨轨迹技术,该技术已被证实能有效增加螺钉的把持力<sup>[22]</sup>;(3)使用辅助固定装置:如椎板钩、椎板下钢丝等,这些装置也能为螺钉系统提供额外的稳定性<sup>[25]</sup>。

#### (四)适应证和禁忌证

##### 1. 骨水泥强化螺钉的适应证

**推荐意见 4:**适用于合并骨质疏松症的脊柱畸形矫正、强直性脊柱炎、翻修手术、滑脱复位、长节段固定内固定松动断裂高风险患者以及术中存在螺钉松动等情况。(弱推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 3 项,其中 A 级证据 1 项<sup>[27]</sup>, B 级证据 1 项<sup>[28]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[29]</sup>。

脊柱后路内固定系统的应用旨在重建脊柱稳定性。在合并骨质疏松时,椎体内骨小梁与螺钉之间的弹性模量差异会增大,从而削弱固定效果。此时,注入骨水泥并通过其弥散作用锚定更多骨小梁,可以增加骨水泥-螺钉-骨质之间的接触面积,最终增强整个内固定系统的生物力学稳定性<sup>[30]</sup>。

具体而言,Seo 等<sup>[28]</sup>的研究指出,当椎体骨密度 T 值低于 -3.0 SD,或术中出现螺钉松动时,即有必要采用骨水泥强化椎弓根螺钉固定。这一观点尤其适用于胸腰段椎体骨折伴后凸畸形需行截骨矫形的复杂病例。此外,Buxbaum 等<sup>[29]</sup>的发现为强直性脊柱炎合并骨质疏松的患者提供了支持。他们的研究表明,对于此类患者的胸腰椎骨折,采用经皮骨水泥强化椎弓根螺钉固定术,其疗效与开放手术相当,同时还能显著缩短手术与住院时间,并减少失血量。最后,Boucas 等<sup>[27]</sup>的研究进一步拓宽了该技术的适用范围,明确指出在翻修手术、滑脱复位、长节段固定及矫形手术中均可考虑使用骨水泥强化技术。不过,最终决策仍需依据术中具体情况,例如是否因反复置钉导致螺钉松动。该研究还提出了一项实用策略:若条件允许,可预先置入中空侧孔螺钉,再根据术中评估的骨质情况和稳定性需求,决定是否注入骨水泥。

##### 2. 皮质骨轨迹(CBT)螺钉的适应证和禁忌证

**推荐意见 5:**CBT 螺钉适用于骨质疏松症合并腰椎退行性变、腰椎不稳定、内固定翻修、肥胖、腰背肌发达以及高髯棘患者;不适用于腰椎椎弓根不

完整或解剖变异(如峡部裂)、Ⅲ度腰椎滑脱、严重腰椎侧凸、长节段固定的患者。(弱推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 8 项,其中 A 级证据 3 项<sup>[22, 31-32]</sup>, B 级证据 1 项<sup>[33]</sup>, C 级证据 4 项<sup>[34-37]</sup>。

CBT 螺钉的生物力学优势在于其轨迹能最大化接触椎弓根内侧壁和峡部等皮质骨结构,从而显著增强抗拔出与即刻稳定性。Santoni 等<sup>[38]</sup>的生物力学研究证实,其抗拔出较传统椎弓根螺钉可提高约 30%,且此优势与松质骨骨密度无关,这使其在骨质疏松症患者(骨密度 T 值 $\leq$ -2.5 SD)中应用尤为有利。基于此,CBT 螺钉适用于治疗合并骨质疏松的腰椎滑脱(Meyerding I~II 度)、腰椎管狭窄症及腰椎间盘突出症<sup>[22, 33]</sup>。对于不超过 3 个节段的腰椎不稳定患者,Bruzzo 等<sup>[37]</sup>发现 CBT 螺钉固定结合后路腰椎融合术具有置入安全、组织损伤小、术后恢复快及固定牢固等综合优势。此外,CBT 螺钉的进钉点靠近中线,术中无需过度牵拉软组织,这一技术特点使其同样适用于肥胖、腰背肌发达或高髯棘的患者<sup>[31]</sup>。在翻修手术中,CBT 螺钉可作为传统椎弓根螺钉失败的补救方案。Rodriguez 等<sup>[34]</sup>报道,在邻近节段退变的翻修中,采用 CBT 螺钉可避免移除原有内固定,并降低硬膜撕裂的风险。

禁忌证方面,首先,对于腰椎峡部裂等导致椎弓根皮质骨路径不完整的解剖变异,CBT 螺钉的置入扭矩会显著降低,置入失败风险高,在 75 岁以上女性患者中尤为明显<sup>[35]</sup>。其次,对于Ⅲ度腰椎滑脱,Fawzy 等<sup>[32]</sup>指出 CBT 螺钉难以提供有效的滑脱复位应力,可能影响复位效果和椎间融合率。再者,严重腰椎侧凸也被视为禁忌证,潘爱星等<sup>[33]</sup>认为,相较于传统椎弓根螺钉,在显著旋转的椎体中置入 CBT 螺钉更易穿破椎弓根内侧壁,增加神经根损伤风险。最后,由于 CBT 螺钉本身长度较短、抗旋转能力相对较弱,将其用于长节段固定(>5 个节段)时易出现连接棒匹配困难,并增加力学失效的风险<sup>[36]</sup>。

#### 三、手术治疗

##### (一)内固定强化方式

**推荐意见 6:**常规与中空骨水泥螺钉强化在固定强度和临床疗效方面均优于传统椎弓根螺钉;而中空骨水泥螺钉在固定强度、出血量、椎体高度维持及并发症控制方面更具优势。(强推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 4 项,其中 A 级证



据 4 项<sup>[21, 23, 39-40]</sup>。

对于常规骨水泥钉道强化技术,最新荟萃分析证实,在治疗骨质疏松性胸腰椎退行性疾病时,相较于传统椎弓根螺钉,该技术能显著提高术后骨融合率,更好地维持椎间隙高度,并有效降低远期螺钉松动发生率<sup>[23, 39]</sup>。亚组分析进一步显示,其在改善日本骨科学会(JOA)评分、疼痛视觉模拟评分(VAS)及 Oswestry 功能障碍指数(ODI)等临床指标方面亦具有显著优势。此外,相关生物力学研究也验证了其力学优势,骨水泥强化组的螺钉破坏载荷显著高于对照组,表明其具备更强的生物力学稳定性<sup>[41]</sup>。

中空侧孔骨水泥螺钉技术通过从钉尾注入骨水泥,使其经侧孔弥散至椎体松质骨,最终形成“螺钉-骨水泥-骨”三位一体的复合结构。Yagi 等<sup>[39]</sup>的荟萃分析表明,该技术相较于传统椎弓根螺钉,能显著提升内固定系统的稳定性,并降低骨质疏松患者术后螺钉松动及翻修风险。Bostelmann 等<sup>[42]</sup>的研究进一步证实,中空骨水泥螺钉能显著提升力学性能,其抗疲劳性(失效循环次数提升 2 倍以上)与抗拔出性(最大拔出力增强约 4.6 倍)均得到大幅增强。

经系统评价分析,在合并骨质疏松的脊柱内固定手术中,与常规骨水泥螺钉相比,中空骨水泥螺钉在多个方面展现出更优的性能,包括减少术中出血、更好地维持椎体高度,以及显著降低术后骨水泥渗漏和螺钉松动等并发症的发生率<sup>[21, 40]</sup>。从生物力学角度看,中空螺钉的优势在于其通过侧孔形成了“螺钉-骨”“螺钉-骨水泥”及“骨水泥-骨”多重锚定界面,从而更有效地增强了抗拔出性。相比之下,常规骨水泥螺钉技术因骨水泥分布相对不易控制,可能导致应力集中,潜在地增加了内固定失效的风险。

## (二)强化节段的选择

**推荐意见 7:**短节段固定时可全部骨水泥螺钉强化;椎体骨折必要时联合伤椎骨水泥强化;长节段固定时宜行选择性强化策略;涉及截骨矫形时应强化中间的关键钉;只有强直性脊柱炎骨折合并骨质疏松才选择全部骨水泥螺钉强化。(弱推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 9 项,其中 A 级证据 5 项<sup>[43-47]</sup>, B 级证据 2 项<sup>[48-49]</sup>, C 级证据 2 项<sup>[50-51]</sup>。

短节段固定是骨水泥强化螺钉的常见应用场景。多数研究在描述其适应证时均采用了全部螺

钉强化的策略<sup>[47, 52]</sup>。当合并椎体骨折时,联合伤椎强化(如球囊扩张椎体后凸成形术)是常用技术。Hu 等<sup>[50]</sup>的研究表明,后路短节段固定联合伤椎成形术能为骨质疏松性胸腰椎爆裂骨折提供有效的前柱支撑,有助于重建椎体高度、纠正后凸畸形。与更复杂的前后路联合手术相比,该术式具有创伤小、疗效好、融合率高的特点<sup>[43]</sup>。然而,对于是否必须在短节段固定中进行全螺钉强化,目前存在争议。有研究显示,对于部分腰椎滑脱患者,单侧与双侧骨水泥强化在术后疼痛和功能评分上并无显著差异,且均未发生螺钉松动<sup>[48]</sup>。但值得注意的是,对于椎间隙严重塌陷狭窄、重度骨质疏松、峡部裂滑脱或脊柱失稳等对稳定性要求极高的情况,单侧固定被视为禁忌证<sup>[49, 51]</sup>。

在长节段固定中,鉴于螺钉松动多见于固定的头、尾端椎体<sup>[44]</sup>,为平衡疗效与操作风险,推荐采用选择性强化策略,即优先强化头、尾端 1~2 对螺钉,此举有助于预防近端交界性后凸(PJK)或交界性失败(PJF)。对于中间部位的螺钉,若该节段涉及截骨矫形,则应根据术中情况强化关键应力承载螺钉;而对于所受应力较小的部位则可不予强化<sup>[45]</sup>,但是对于强直性脊柱炎合并骨质疏松的患者例外。由于强直性脊柱炎患者的脊柱具有类似长骨的生物力学特性,局部应力高而螺钉把持力差,极易在骨愈合前发生内固定失败。因此,对于此类患者,不仅需要延长固定节段,更建议进行全部螺钉的骨水泥强化<sup>[46]</sup>。

## (三)骨水泥注射量

**推荐意见 8:**一般情况下,建议每个螺钉钉道注入骨水泥约 1.5 ml,但最终剂量需依据术中透视监测下的骨水泥弥散情况来个体化确定。(弱推荐,证据等级 B)

共纳入文献证据 5 项,其中 B 级证据 3 项<sup>[53-55]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[56]</sup>, D 级证据 1 项<sup>[57]</sup>。

生物力学研究证实,PMMA 骨水泥能显著增强骨质疏松椎体的生物力学性能,可使螺钉抗拔出提升 147%~300%<sup>[58]</sup>。值得注意的是,骨水泥的强化效果与其空间分布和注入量密切相关。当骨水泥弥散于椎弓根钉道周围时,增强效应最为显著。螺钉稳定性虽随注入量增加而提高,但在达到约 2~3 ml 的临界值后便呈现平台效应。过量注射不仅无益于进一步提升稳定性,反而会显著增加骨水泥渗漏的风险<sup>[53]</sup>。

多项研究为骨水泥注射量的选择提供了依据。

孙常太<sup>[57]</sup>指出,单钉道 1~3 ml 的注射量均可有效提升锚定力,其中 2~3 ml 是兼顾力学强化与风险控制的最佳区间。在此基础上,Liu 等<sup>[54]</sup>提出了差异化的注射策略:对于普通骨质疏松患者,推荐 1.5 ml/钉道;而对于伴有脆性骨折的严重骨质疏松患者则建议增至 3 ml/钉道。在临床结局方面,研究证实该技术能带来显著获益。在腰椎融合术中采用 1.5 ml/钉道的强化技术可有效降低内固定失败率,并显著提高骨性融合率<sup>[55]</sup>。对于骨质疏松性压缩骨折患者,使用最多 3 ml/钉道进行强化的螺钉组,其内固定松动与矫正丢失率也显著低于普通螺钉组<sup>[56]</sup>。必须强调的是,术中实时监测与经验判断至关重要。术者应依赖触觉反馈动态调整注射压力,一旦发现注射阻力明显升高或透视下出现骨水泥椎旁静脉显影,必须立即停止注射,以最大限度确保手术安全。

#### (四)置入螺钉尺寸

##### 1. CBT 螺钉的置入长度和直径

**推荐意见 9:** CBT 螺钉的优化尺寸需平衡力学性能与解剖限制,推荐直径 4.5~5.5 mm、长度 30~40 mm。(GPS, 证据等级 D)

共纳入文献证据 2 项,其中 D 级研究 2 项<sup>[59-60]</sup>。

CBT 螺钉的尺寸(直径与长度)选择是其临床应用中的核心参数,直接决定了固定的生物力学强度与手术安全性。从影像学上测量,成人腰椎 CBT 螺钉的钉道直径范围为 6.2~8.4 mm,进钉深度为 36.8~38.3 mm<sup>[61]</sup>。而早期生物力学研究为 CBT 螺钉的尺寸确定了范围,旨在通过优化螺钉与皮质骨的接触来最大化把持力。例如,Santoni 等<sup>[38]</sup>提出的经典尺寸为直径 5.5~6.0 mm、长度 30~35 mm。后续的解剖学与临床研究在此基础上进行了细化和补充。Kaye 等<sup>[59]</sup>强调,直径选择必须依据椎弓根的实际宽度与形态,指出直径约 5.5 mm、长度 35 mm 或 40 mm 是常用且安全的选择,同时警告直径过大会增加椎弓根骨折风险。这一观点得到了临床实践的支持,有研究报道在实际应用中,出于对安全性和个体解剖差异的考量,更常使用的直径为 4.5~5.5 mm,长度为 25~35 mm<sup>[60]</sup>。对于螺钉尺寸的极限与风险,生物力学分析提供了重要依据。Matsukawa 等<sup>[62]</sup>发现,虽然增大直径能提升抗拔出力,但超过 5.5 mm 会显著增加骨质破坏的风险;同时,他们从深度上给出了指导,建议螺钉置入深度应达到椎体前后径的 39.2% 以上以确保稳定。

综上所述, CBT 螺钉不存在唯一的“最佳尺

寸”,其选择是一个权衡力学性能与解剖限制的过程。基于现有证据,推荐直径范围为 4.5~5.5 mm,长度范围为 30~40 mm,但最终决策必须依据术前的精确影像评估和术中的实际情况。

##### 2. 骨水泥强化螺钉的置入长度和直径

**推荐意见 10:** 在不突破椎体前皮质的前提下,建议置入尽可能长的螺钉;为增强抗拔出力,可选用直径较大的螺钉,但建议其直径小于椎弓根横径约 0.5 mm。(GPS, 证据等级 B)

共纳入文献证据 2 项,其中 B 级证据 1 项<sup>[63]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[64]</sup>。

研究证实,椎弓根螺钉的固定强度与其置入长度呈显著正相关<sup>[64]</sup>。Krag 等<sup>[65]</sup>发现,当螺钉置入深度从椎体深度的 50% 增至 80% 时,其抗拔出力可提升约 30%。Matsukawa 等<sup>[66]</sup>进一步指出,增加置入深度能有效提升螺钉的抗循环载荷能力。相较于长度,螺钉直径对抗拔出力的影响更为显著。有研究表明,螺钉直径每增加 1 mm,其抗拔出力与抗疲劳能力可分别提升 24.0% 和 5.0%<sup>[67]</sup>。这源于直径增大能增强螺纹与骨质的锚定效果,并通过扩大与尾部皮质骨的接触面积来提升抗拔出力。然而,直径选择存在明确上限,当螺钉直径超过椎弓根宽度的 70.0% 时,抗拔出力的提升将进入平台期。因此,临床建议螺钉直径宜较椎弓根横径 < 0.5 mm,以确保稳定性的同时,降低椎弓根皮质破裂的风险<sup>[68]</sup>。

需特别关注的是,骨水泥强化螺钉的长度与因穿透椎体前壁导致的骨水泥渗漏风险正相关<sup>[69]</sup>,由此引发的静脉/肺栓塞症状发生率为 5.5%<sup>[70]</sup>。因此,操作中的核心原则是:在确保螺钉尖端不穿透椎体前皮质的前提下,选择尽可能长的螺钉并采用前端封闭设计。此外,对于中空侧孔螺钉,生物力学研究表明,骨水泥锚定团块越邻近椎弓根,抗拔出力越强。但必须确保侧孔完全置于椎弓根以远的椎体内,以警惕骨水泥经侧孔渗漏进入椎管,引发神经损伤风险<sup>[63]</sup>。

##### (五)导航、机器人辅助精准置入

**推荐意见 11:** 为保证骨质疏松症患者椎弓根螺钉的一次性精准置入,避免螺钉调整,可选择使用机器人、导航辅助手术技术。(弱推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 3 项,其中 A 级证据 1 项<sup>[71]</sup>, B 级证据 1 项<sup>[72]</sup>, C 级证据 1 项<sup>[73]</sup>。

生物力学研究证实,术中反复调整螺钉会显著



降低其初始稳定性,直接损害骨-螺钉界面<sup>[74]</sup>。然而,对于存在脊柱退变、畸形或强直性脊柱炎等解剖结构异常的患者,一次性精准置钉难度极大。此外,在骨质疏松患者中广泛应用的骨水泥强化技术,其本身也因依赖术者手感而存在风险,如因椎弓根皮质破裂导致骨水泥椎管内渗漏,文献报道此类并发症发生率可达 25.0%~32.8%,可能引发不可逆神经损伤<sup>[75]</sup>。导航辅助技术正是针对上述困境的解决方案。Yuan 等<sup>[73]</sup>的研究纳入了 27 例接受 PMMA 骨水泥强化固定的骨质疏松患者,结果证实,在三维导航辅助下,骨水泥渗漏率降至 7.4%。术后 CT 显示 76.9% 的病例实现了骨性融合,且无螺钉松动发生。导航技术的优势还在于,它能通过实时三维轨迹引导,有效规避传统徒手置钉中因触觉反馈减弱而导致的皮质突破误判<sup>[72]</sup>。

机器人辅助系统将手术精准度提升到了新的高度。Feng 等<sup>[71]</sup>的前瞻性对照研究表明,对于骨质疏松症患者,机器人辅助置钉的精确度高于徒手置钉组(98.5% 比 91.6%),同时还能显著降低术中术者的辐射暴露。综上,对于具备相应设备条件的医疗中心,推荐选择机器人或导航辅助技术。尤其在面对解剖标志变异(如脊柱畸形、翻修手术)或重度骨质疏松(T 值 $\leq -3.5$  SD)等高难度病例时,应优先考虑使用这些辅助技术,以保障手术安全与效果。

#### 四、术中注意事项

##### (一) 预防骨水泥渗漏相关并发症

**推荐意见 12:** 建议通过技术优化、椎体周壁评估、骨水泥管理、术中监测、选择性强化、通气策略与术后管理等综合措施,预防骨水泥强化螺钉的渗漏并发症。(GPS, 证据等级 C)

共纳入文献证据 7 项,其中 A 级证据 1 项<sup>[76]</sup>, B 级证据 2 项<sup>[63, 77]</sup>, C 级证据 4 项<sup>[73, 78-80]</sup>。

骨水泥强化椎弓根螺钉的并发症,尤其是骨水泥渗漏,需引起高度重视。研究显示,其总体渗漏发生率可达 21.8%,其中症状性渗漏占 1.2%,而症状性肺栓塞发生率为 0.8%<sup>[76]</sup>。

渗漏和肺栓塞的高危因素包括:(1)解剖位置:胸椎体积小、静脉压力低,渗漏风险显著高于腰椎<sup>[69]</sup>;(2)椎体完整性:钉道破损、椎体后壁骨折<sup>[81]</sup>;(3)操作因素:低黏度“粥状期”注射、单例患者螺钉置入数量多(>14 枚)、骨水泥用量过大(>3 ml/钉)<sup>[69, 79]</sup>;(4)骨密度:骨密度 $< -3.5$  SD 者的风险显著高于介于 $-2.5 \sim -3.0$  SD 者<sup>[69]</sup>;(5)术中通气:未使用呼气末正压通气(PEEP),使得骨水泥易经胸椎节段静脉

入肺,导致栓塞<sup>[69, 78]</sup>。

针对上述风险,建议采取以下综合性预防策略:(1)技术优化:优先选用中空侧孔螺钉,其渗漏风险低于普通螺钉<sup>[75]</sup>;调整螺钉角度使其尖端偏离椎体中线,以减少椎管内渗漏<sup>[63]</sup>。(2)椎体评估:术前通过 CT 三维重建评估椎体周壁完整性,针对破损病例需进行术前规划<sup>[81]</sup>。(3)骨水泥管理:①注入量:胸椎单钉建议 $\leq 2$  ml,腰椎 $\leq 3$  ml<sup>[80]</sup>;②注射时机:优先选择高黏度 PMMA 并于“拉丝期”注射<sup>[82]</sup>;③分布控制:通过改进螺钉设计,引导骨水泥主要分布于椎体内<sup>[83]</sup>。(4)术中监测:全程在 C 型臂透视下监测骨水泥弥散,一旦发现渗漏立即停止注射;应用机器人或导航技术可有效降低椎弓根皮质穿透风险<sup>[73, 75]</sup>。(5)选择性强化策略:仅对关键节段的螺钉进行强化,避免多节段过量注射<sup>[77]</sup>。(6)通气策略:术中应用 PEEP [建议 15 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa)],以增加胸腔内压,减少静脉回流,从而降低渗漏及栓塞风险<sup>[69, 78]</sup>。(7)术后管理:对于胸椎手术,建议术后常规行胸部 CT 筛查无症状肺栓塞;对症状性栓塞需个体化处理(包括抗凝或手术取栓)<sup>[76, 79]</sup>。

##### (二) 预防长节段固定交界性后凸/失稳

**推荐意见 13:** 建议采用包括抗骨质疏松治疗、预防性骨水泥强化等综合措施,以降低长节段固定术后 PJK 或 PJF 的风险。(弱推荐,证据等级 B)

共纳入文献证据 7 项,其中 A 级证据 1 项<sup>[84]</sup>, B 级证据 4 项<sup>[77, 85-87]</sup>, C 级证据 2 项<sup>[88-89]</sup>。

后路长节段内固定术后近端 PJK 或 PJF 的风险因素可归纳为三类。首先,在患者因素方面,高龄( $\geq 70$  岁)、高体质指数( $>28$  kg/m<sup>2</sup>)及骨质疏松症(骨密度 T 值 $< -3.5$  SD)被证实显著增加 PJK 风险<sup>[90]</sup>;其次,在影像学参数方面,术前交界性后凸角(PJKA,  $>10^\circ$ )、骨盆入射角-腰椎前凸角差值(PI-LL,  $>20^\circ$ )及骶骨倾斜角(SS,  $<25^\circ$ )提示脊柱矢状位失衡,是 PJK 的独立预测指标<sup>[91]</sup>;最后,在手术因素中,近端固定椎(UIV)位于胸腰段(T<sub>11</sub>~L<sub>1</sub>)因缺乏胸廓保护导致生物力学不稳定,且后方韧带复合体损伤会进一步削弱交界区稳定性。此外,长节段固定可能因应力集中加速邻近节段退变<sup>[90]</sup>。

预防近端 PJK 及 PJF 需采取多维度干预策略,具体措施如下:(1)围手术期抗骨质疏松治疗:前瞻性研究表明,术后立即应用特立帕肽(20  $\mu$ g/d,持续 18 个月)可显著提升 UIV+1 节段的骨密度(提升约 14%),并将 PJF 发生率从 15.2% 降至 4.6%<sup>[84, 87]</sup>;

(2)预防性骨水泥强化:在UIV及UIV+1节段行选择性椎体强化,可将早期PJK和PJF发生率分别降至8%和5%,但需注意限制骨水泥用量以规避相关风险<sup>[77, 84-85]</sup>; (3)后方张力带重建:于UIV及UIV+1节段置入Mersilene带或高分子韧带,可有效降低PJK发生率<sup>[86, 88]</sup>; (4)矢状面平衡个体化矫正:建议采用经年龄及骨密度调整的全脊柱序列比例评分(GAP)指导手术,以实现个体化的腰椎前凸匹配(例如,目标为 $|PI-LLI| < 10^\circ$ ),避免过度矫正<sup>[84, 89]</sup>; (5)微创技术应用:通过微创操作减少椎旁肌剥离与后方韧带复合体损伤,有助于维持近端交界区的固有稳定性<sup>[92]</sup>。

### (三)延长固定至髂骨

**推荐意见 14:**骨质疏松症患者长节段固定到腰骶时,符合相应适应证可考虑延长固定至髂骨。(强推荐,证据等级A)

共纳入文献证据5项,其中A级证据2项<sup>[93-94]</sup>,C级证据1项<sup>[95]</sup>,D级证据2项<sup>[96-97]</sup>。

延长固定至髂骨的生物力学必要性在于骨质疏松会显著削弱骶骨(S<sub>1</sub>)螺钉的把持力。在长节段固定(>5个节段)至骶骨时,L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>节段承受巨大的剪切应力,传统骶骨螺钉发生松动或断裂的风险极高<sup>[98]</sup>。相比之下,髂骨因其致密的皮质骨结构及与脊柱轴向负荷一致的力线,能为螺钉提供远超骶骨的锚定强度,其抗拔出力量可达骶骨螺钉的3倍以上<sup>[99]</sup>。若结合骨水泥强化技术,其抗拔出力量更能提升147%~300%<sup>[96]</sup>。因此,对于骨质疏松患者,当内固定远端需跨越L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>时,延长固定至髂骨是提供可靠远端支撑的关键策略。

此外,髂骨固定在复杂脊柱重建中具有多重优势:第一,其为矫正严重脊柱畸形与骨盆倾斜提供了稳定的力学支点,能有效改善冠状面Cobb角与矢状面垂直轴(SVA)等参数<sup>[95]</sup>。第二,在腰骶部进行IV级及以上截骨后,髂骨螺钉通过跨越骶髂关节形成“腰-骶-髂”复合结构,能有效延长力臂、分散应力,显著降低内固定失败与假关节形成的风险<sup>[93]</sup>。第三,对于因反复置钉或严重骨质疏松导致骶骨螺钉初始稳定性不佳的病例,髂骨固定提供了可靠的补救方案<sup>[94]</sup>。最后,有研究指出,延长固定到髂骨的适应证除了上述,还包括长节段融合、严重腰椎滑脱以及腰椎不稳、翻修手术等,并推荐了S<sub>2</sub>-A<sub>1</sub>骶髂螺钉固定作为髂骨固定首选的技术<sup>[97]</sup>。

综上,对于合并骨质疏松的患者,在长节段固定至腰骶时,延长固定至髂骨的主要适应证包括:

(1)需要进行矢状面或冠状面矫形者,如严重脊柱失衡或骨盆倾斜;(2)腰骶部稳定性遭受严重破坏者,如行IV级及以上截骨、严重腰椎滑脱、翻修手术或术中发现骶骨螺钉稳定性不足;(3)长节段固定至骶骨者,因其远端内置物失败风险高。

## 五、术后康复策略

### (一)术后运动管理

**推荐意见 15:**建议术后早期下地活动,循序渐进开展多元化活动方式,但在长节段固定的严重骨质疏松症患者中需个体化调整运动强度。(GPS,证据等级A)

共纳入文献证据3项,其中A级证据2项<sup>[100-101]</sup>,B级证据1项<sup>[102]</sup>。

多项研究建议,骨质疏松症脊柱术后应开展多元化体能活动,包括有氧运动(如步行、太极)、肌肉强化训练(如阻力训练)及平衡训练(如踏步走直线)。这些活动有助于防止废用性肌萎缩,改善肌力与平衡功能,从而降低跌倒风险<sup>[100-101]</sup>。术后早期活动是康复的核心原则之一。例如,章雪芳等<sup>[102]</sup>建议脊柱骨质疏松性骨折患者需遵循加速康复的理念行术后早期功能训练:术后2h在病床上进行肢体肌肉及关节被动运动,如踝关节伸屈、直腿抬高等;术后4h在床上开展抗阻力伸膝运动,提高局部肌肉力量;最早术后24h即开始早期下地活动,通过扶拐、部分负重或辅助器具完全负重行走,以预防下肢静脉血栓和肺部感染。尽管早期活动被广泛推荐,但其具体方案需审慎制定。关键在于平衡骨丢失风险与内固定稳定性,这一点在合并严重骨质疏松的长节段固定患者中尤为重要。因此,必须对下地活动时间及运动强度进行个体化调整,以避免因过早负重或运动强度不当导致内固定失败。

### (二)康复支具的应用

**推荐意见 16:**对于长节段固定、II度及以上腰椎滑脱复位、内固定翻修术等高危患者可短期(2~4周)使用支具过渡,并需结合肌力恢复情况逐步停用。(弱推荐,证据等级D)

共纳入文献证据6项,其中A级证据3项<sup>[103-105]</sup>,B级证据1项<sup>[106]</sup>,D级证据2项<sup>[107-108]</sup>。

支具在脊柱术后的应用需结合手术类型、骨折稳定性及骨质量进行综合评估。当前证据并不支持其常规使用。研究显示,对于腰椎融合内固定术后的患者,早期佩戴硬质支具在减轻疼痛、改善功能障碍、提高融合率及降低并发症发生率方面未显

现出显著优势<sup>[103]</sup>。对老年骨质疏松性胸腰椎骨折患者而言,佩戴胸腰支具同样缺乏明确获益,且可能延迟术后下地活动,增加失用性骨丢失的风险<sup>[104]</sup>。然而,对于部分高危患者,短期支具固定仍具临床价值。多项研究指出,对于长节段固定、Ⅱ度及以上腰椎滑脱复位或内固定翻修术的患者,可根据具体情况短期(2~4周)使用支具,以降低早期内固定失效的风险<sup>[106-108]</sup>。其作用机制在于缓解急性期疼痛、限制异常活动,为组织初步愈合提供条件。需强调的是,支具应用应遵循短期、个体化原则。长期使用可能导致核心肌群废用性萎缩,不利于功能恢复<sup>[109]</sup>。目前仍缺乏高质量证据支持支具在预防再骨折方面的长期有效性,其使用决策应基于对患者获益与风险的个体化评估<sup>[105]</sup>。

### (三)术后抗骨质疏松

**推荐意见 17:** 术后继续规范化抗骨质疏松,有助于缩短骨折愈合时间,并降低内植物相关并发症。(强推荐,证据等级 A)

共纳入文献证据 4 项,其中 A 级证据 3 项<sup>[110-112]</sup>, D 级证据 1 项<sup>[113]</sup>。

术后抗骨质疏松药物的选择需依据患者骨折风险分层。对于极高骨折风险患者(如术后状态、新发或多发性脆性骨折),促骨形成药物应作为初始治疗首选<sup>[114]</sup>。研究显示,特立帕肽在促进脊柱融合方面优势显著,随访 12 个月时,其融合率(87%)显著高于双膦酸盐组(75%)<sup>[110]</sup>。其作用机制与激活 Wnt/ $\beta$ -catenin 信号通路、促进成骨细胞分化密切相关,不仅能有效缩短骨质疏松性骨折的愈合时间,荟萃分析还表明其可降低腰椎融合术后的螺钉松动率,这可能源于其对骨密度与骨质量的整体改善<sup>[111]</sup>。需注意,特立帕肽疗程结束后,应序贯使用抗骨吸收药物(如双膦酸盐或地舒单抗)以维持骨量。

对于非极高风险或需长期维持治疗的患者,抗骨吸收药物是核心选择。双膦酸盐(如唑来膦酸)被推荐作为骨质疏松性骨折术后的首选抑制剂,可有效降低再骨折风险<sup>[113]</sup>。若患者无法耐受口服双膦酸盐,可选用地舒单抗(每半年皮下注射一次)。对于高骨转换伴急性骨痛者,可短期联用降钙素。现有证据表明,双膦酸盐对脊柱融合术后的骨愈合无明显负面影响<sup>[112]</sup>;但其长期使用(>3 年)需警惕非典型股骨骨折风险,并定期评估。地舒单抗虽未证实直接提高融合率,但可通过显著增加骨密度以降低椎体再骨折风险,且停药时需注意序贯治疗,

以防骨转换指标反弹。

综上,针对于需行胸腰椎脊柱内固定术的老年骨质疏松症患者,应用 GRADE 证据质量和推荐强度分级方法形成指南。本指南基于现有证据,综合评估干预措施的利弊与可行性,就老年骨质疏松症胸腰椎后路内固定术,在术前宣教、手术策略、术中注意事项及术后康复等方面提出推荐意见。随着该领域更多高质量研究的出现或证据更新,当前的一些观点在将来可能有所变化。本指南涉及的干预装置即椎弓根螺钉及皮质骨轨迹螺钉需符合国家食品药品监督管理总局医疗器械管理的相关法规或更高级别的医疗器械管理法规。本指南中涉及的干预措施不特指某些(类)螺钉,但干预措施的安全性基础需以当前法规为前提,包括但不限于生产、转运、应用等环节。本指南仅作为学术指导建议,不作为法律依据。临床医务人员在使用本指南的同时,还要综合考虑现实的具体情况来进行决策。

### 本指南制订工作专家委员会名单

**指导专家:** 贺宝荣(西安交通大学附属红会医院脊柱外科);冯世庆(山东大学第二医院骨科);闫亮(西安交通大学附属红会医院脊柱外科);许正伟(西安交通大学附属红会医院脊柱外科)

**执笔专家:** 都金鹏(西安交通大学附属红会医院脊柱外科);颜峰(浙江台州市中医院骨伤科);贺园(西安市第五人民医院骨科);赵晨曦(山东大学齐鲁医院骨科)

**方法学专家:** 张荣强(陕西中医药大学流行病学与卫生统计学教研室)

**参与讨论专家(按姓氏汉语拼音排序):** 陈伯华(青岛大学附属医院脊柱外科);陈其昕(浙江大学医学院附属第二医院脊柱外科);陈亮(苏州大学附属第一医院骨科);陈凌霄(山东大学齐鲁医院骨科);董健(复旦大学附属中山医院骨科);范顺武(浙江大学医学院邵逸夫医院骨科);冯皓宇(山西省白求恩医院骨科);凡进(江苏省人民医院骨科);高延征(河南省人民医院脊柱脊髓外科);关海山(山西医科大学第二医院骨科);郭华(西安市第五人民医院骨科);蒋电明(重庆医科大学附属第三医院骨与创伤中心);贺利军(西安市第五人民医院骨科);康学文(兰州大学第二医院骨科);李波(贵州省人民医院骨科);李淳德(北京大学第一医院骨科);李锋(华中科技大学同济医学院附属同济医院骨科);李危石(北京大学第三医院骨科);廖琦(南昌大学第二附属医院骨科);林斌(联勤保障部队第九〇九医院骨科);刘宝戈(首都医科大学附属北京天坛医院骨科);刘志斌(延安大学附属医院骨科);刘新宇(山东大学齐鲁医院骨科);鲁世保(首都医科大学宣武医院骨科);梅伟(郑州市骨科医院骨科);宁广智(天津医科大学总医院骨科);宋跃明(四川大学

华西医院骨科);王大川(山东大学第二医院骨科);王哲(西京医院脊柱外科);周恒星(山东大学齐鲁医院骨科);赵杰(上海交通大学医学院附属第九人民医院脊柱外科);朱悦(中国医科大学附属第一医院骨科);赵斌(山西医科大学第二医院骨科)

**指南秘书组:**冯铭哲、刘元、屈泽超、李大同(西安交通大学附属红会医院脊柱外科)

**指南外部评审组(按姓氏汉语拼音排序):**程黎明(同济大学附属同济医院骨科);姜为民(苏州大学附属第一医院骨科);海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院骨科);李建军(中国康复研究中心北京博爱医院脊柱脊髓神经功能重建科);李利(解放军总医院第四医学中心骨科医学部脊柱外科);刘晓光(北京大学第三医院骨科);刘勇(西藏自治区人民医院骨科);卢旭华(海军军医大学第二附属医院骨科);马超(徐州市中心医院骨科);全仁夫[浙江中医药大学附属江南医院(萧山中医院)骨科];戎利民(中山大学附属第三医院骨科);桑宏勋(南方医科大学深圳医院骨科);舒钧(昆明医科大学第二附属医院骨科);苏佳灿(上海交通大学医学院附属新华医院骨科);孙天胜(解放军总医院第四医学中心骨科医学部脊柱外科);田纪伟(南京医科大学附属明基医院骨科);田耘(北京大学第三医院脊柱外科);王新伟[海军军医大学第二附属医院(上海长征医院)脊柱外科];王征(解放军总医院第四医学中心骨科医学部脊柱外科);殷国勇(江苏省人民医院骨科);张雪松(解放军总医院第四医学中心骨科医学部脊柱外科);张忠民(南方医科大学南方医院脊柱骨科)

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Khandelwal S, Lane NE. Osteoporosis: review of etiology, mechanisms, and approach to management in the aging population[J]. *Endocrinol Metab Clin North Am*, 2023, 52(2): 259-275. DOI: 10.1016/j.ecl.2022.10.009.
- [2] Wang L, Yu W, Yin X, et al. Prevalence of osteoporosis and fracture in China: the China Osteoporosis Prevalence Study [J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(8):e2121106. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.21106.
- [3] 张思萌,李放,刘秀梅,等.老年人胸腰椎椎弓根螺钉内固定术后螺钉松动原因分析[J]. *中华老年医学杂志*, 2015, 34(11): 1178-1181. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2015.11.008.
- [4] 于普林,王建业,胡建中,等.中国健康老年人标准(WS/T 802—2022) [J]. *中华老年医学杂志*, 2022, 41(11): 1263. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2022.11.001.
- [5] 陈耀龙,杨克虎,王小钦,等.中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022版)[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(10): 697-703. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211228-02911.
- [6] Shea BJ, Grimshaw JM, Wells GA, et al. Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews[J]. *BMC Med Res Methodol*, 2007, 7:10. DOI: 10.1186/1471-2288-7-10.
- [7] Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, et al. The Cochrane collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials[J]. *BMJ*, 2011, 343:d5928. DOI: 10.1136/bmj.d5928.
- [8] Whiting PF, Rutjes AWS, Westwood ME, et al. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies[J]. *Ann Intern Med*, 2011, 155(8):529-536. DOI: 10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009.
- [9] Stang A. Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses[J]. *Eur J Epidemiol*, 2010, 25(9): 603-605. DOI: 10.1007/s10654-010-9491-z.
- [10] Guyatt G, Oxman AD, Akl EA, et al. GRADE guidelines: 1. introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables[J]. *J Clin Epidemiol*, 2011, 64(4):383-394. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2010.04.026.
- [11] Lopez-Olivo MA, Bordes JKAd, Lin H, et al. Comparison of multimedia and printed patient education tools for patients with osteoporosis: a 6-month randomized controlled trial[J]. *Osteoporos Int*, 2020, 31(5): 857-866. DOI: 10.1007/s00198-019-05210-4.
- [12] Louw A, Diener I, Landers MR, et al. Three-year follow-up of a randomized controlled trial comparing preoperative neuroscience education for patients undergoing surgery for lumbar radiculopathy[J]. *J Spine Surg*, 2016, 2(4):289-298. DOI: 10.21037/jss.2016.12.04.
- [13] 唐小花,朱君燕,孙萍,等.多模式健康教育对老年胸腰椎骨质疏松性骨折术后患者疾病认知及健康相关行为的影响[J]. *中国医学前沿杂志(电子版)*, 2022, (1):52-56. DOI: 10.10237/YXQY.2022.01-10.
- [14] 曹豫,吕曼,张翔,等.“321”健康教育模式对老年骨质疏松性胸腰椎骨折术后患者健康行为及生活质量的影响[J]. *中华现代护理杂志*, 2022, 28(20):2735-2740. DOI: 10.3760/cma.j.cn115682-20220114-00226.
- [15] Li A, Xing Q, Zhang Y, et al. Evaluation of the information quality related to osteoporosis on TikTok[J]. *BMC Public Health*, 2024, 24(1):2880. DOI: 10.1186/s12889-024-20375-2.
- [16] Inoue G, Ueno M, Nakazawa T, et al. Teriparatide increases the insertional torque of pedicle screws during fusion surgery in patients with postmenopausal osteoporosis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21(3): 425-431. DOI: 10.3171/2014.5.SPINE13656.
- [17] Jain N, Labaran L, Phillips FM, et al. Prevalence of osteoporosis treatment and its effect on post-operative complications, revision surgery and costs after multi-level spinal fusion[J]. *Global Spine J*, 2022, 12(6):1119-1124. DOI: 10.1177/2192568220976560.
- [18] Waheed M, Patel D, Anderson P, et al. Preoperative teriparatide intervention is cost-effective for osteoporotic patients undergoing lumbar fusion: a break-even cost analysis[J]. *Spine J*, 2025, 25(11):2475-2482. DOI: 10.1016/j.spinee.2025.04.007.
- [19] Sardar ZM, Coury JR, Cerpa M, et al. Best practice guidelines for assessment and management of osteoporosis in adult patients undergoing elective spinal reconstruction[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2022, 47(2): 128-135. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004268.
- [20] Saadeh YS, Swong KN, Yee TJ, et al. Effect of fenestrated pedicle screws with cement augmentation in osteoporotic patients undergoing spinal fusion[J]. *World Neurosurg*, 2020, 143:e351-e361. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.07.154.
- [21] 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. DOI:

- 10.12307/2021.279.
- [22] Ding H, Hai Y, Liu Y, et al. Cortical trajectory fixation versus traditional pedicle-screw fixation in the treatment of lumbar degenerative patients with osteoporosis: a prospective randomized controlled trial[J]. *Clin Interv Aging*, 2022, 17: 175-184. DOI: 10.2147/CIA.S349533.
- [23] Song Z, Zhou Q, Jin X, et al. Cement-augmented pedicle screw for thoracolumbar degenerative diseases with osteoporosis: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1):631. DOI: 10.1186/s13018-023-04077-w.
- [24] Tandon V, Kalidindi KKV, Pacha S, et al. A prospective study on the feasibility, safety, and efficacy of a modified technique to augment the strength of pedicle screw in osteoporotic spine fixation[J]. *Asian Spine J*, 2020, 14(3):357-363. DOI: 10.31616/asj.2019.0211.
- [25] Tan J, Kwon BK, Dvorak MF, et al. Pedicle screw motion in the osteoporotic spine after augmentation with laminar hooks, sublaminar wires, or calcium phosphate cement: a comparative analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(16): 1723-1730. DOI: 10.1097/01.brs.0000134569.63542.49.
- [26] Fu J, Yao ZM, Wang Z, et al. Surgical treatment of osteoporotic degenerative spinal deformity with expandable pedicle screw fixation: 2-year follow-up clinical study[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104(3):411-415. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.11.010.
- [27] Boucas P, Mamdouhi T, Rizzo SE, et al. Cement augmentation of pedicle screw instrumentation: a literature review[J]. *Asian Spine J*, 2023, 17(5): 939-948. DOI: 10.31616/asj.2022.0216.
- [28] Seo JH, Ju CI, Kim SW, et al. Clinical efficacy of bone cement augmented screw fixation for the severe osteoporotic spine [J]. *Korean J Spine*, 2012, 9(2): 79-84. DOI: 10.14245/kjs.2012.9.2.79.
- [29] Buxbaum RE, Shani A, Mulla H, et al. Percutaneous, PMMA-augmented, pedicle screw instrumentation of thoracolumbar ankylosed spine fractures[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1):317. DOI: 10.1186/s13018-021-02420-7.
- [30] 房彦名, 何达, 范明星, 等. 椎弓根螺钉内固定的生物力学强度影响因素的研究进展[J]. *中华骨科杂志*, 2024, 44(3): 193-198. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20230817-00103.
- [31] Peng S, Yuan X, Lu W, et al. Application of the cortical bone trajectory technique in posterior lumbar fixation[J]. *World J Clin Cases*, 2023, 11(2):255-267. DOI: 10.12998/wjcc.v11.i2.255.
- [32] Fawzy KM, Atef KM, Hussein ZMN. Comparison of surgical outcomes between cortical bone trajectory and conventional pedicle screw trajectory for lumbar degenerative spondylolisthesis (systematic review of literature)[J]. *QJM*, 2021, 114(S1). DOI: 10.4184/asj.2016.10.2.251.
- [33] 潘爱星, 刘玉增, 海涌, 等. 皮质骨轨迹螺钉及骶骨翼螺钉内固定在腰椎邻近节段退变疾病中的应用研究[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(17): 1297-1302. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211121-02597.
- [34] Rodriguez A, Neal MT, Liu A, et al. Novel placement of cortical bone trajectory screws in previously instrumented pedicles for adjacent-segment lumbar disease using CT image-guided navigation[J]. *Neurosurg Focus*, 2014, 36(3): E9. DOI: 10.3171/2014.1.FOCUS13521.
- [35] Ninomiya K, Iwatsuki K, Ohnishi Y, et al. Significance of the pars interarticularis in the cortical bone trajectory screw technique: an in vivo insertional torque study[J]. *Asian Spine J*, 2016, 10(5):901-906. DOI: 10.4184/asj.2016.10.5.901.
- [36] Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H, et al. Biomechanical evaluation of lumbar pedicle screws in spondylosis vertebrae: comparison of fixation strength between the traditional trajectory and a cortical bone trajectory[J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 24(6): 910-915. DOI: 10.3171/2015.11.SPINE15926.
- [37] Bruzzo M, Severi P, Bacigaluppi S. Midline lumbar fusion with cortical bone trajectory as first line treatment in a selected series of patients with lumbar instability[J]. *J Neurosurg Sci*, 2020, 64(3):238-242. DOI: 10.23736/S0390-5616.17.03976-5.
- [38] Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws[J]. *Spine J*, 2009, 9(5): 366-373. DOI: 10.1016/j.spinee.2008.07.008.
- [39] Yagi M, Ogiri M, Holy CE, et al. Comparison of clinical effectiveness of fenestrated and conventional pedicle screws in patients undergoing spinal surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2021, 18(10): 995-1022. DOI: 10.1080/17434440.2021.1977123.
- [40] Cao L, Xu H, Yu Y, et al. Comparative analysis of the safety and efficacy of fenestrated pedicle screw with cement and conventional pedicle screw with cement in the treatment of osteoporotic vertebral fractures: a meta-analysis[J]. *Chin J Traumatol*, 2025, 28(2): 101-112. DOI: 10.1016/j.cjtee.2024.07.013.
- [41] Weiser L, Sellenschloh K, Püschel K, et al. Reduced cement volume does not affect screw stability in augmented pedicle screws[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(6): 1297-1303. DOI: 10.1007/s00586-020-06376-w.
- [42] Bostelmann R, Keiler A, Steiger HJ, et al. Effect of augmentation techniques on the failure of pedicle screws under cranio-caudal cyclic loading[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(1):181-188. DOI: 10.1007/s00586-015-3904-3.
- [43] Katsumi K, Hirano T, Watanabe K, et al. Surgical treatment for osteoporotic thoracolumbar vertebral collapse using vertebroplasty with posterior spinal fusion: a prospective multicenter study[J]. *Int Orthop*, 2016, 40(11):2309-2315. DOI: 10.1007/s00264-016-3222-3.
- [44] Singh V, Mahajan R, Das K, et al. Surgical trend analysis for use of cement augmented pedicle screws in osteoporosis of spine: a systematic review (2000-2017)[J]. *Global Spine J*, 2019, 9(7):783-795. DOI: 10.1177/2192568218801570.
- [45] Doodkorte RJP, Vercoulen TFG, Roth AK, et al. Instrumentation techniques to prevent proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure in adult spinal deformity correction-a systematic review of biomechanical studies[J]. *Spine J*, 2021, 21(5):842-854. DOI: 10.1016/j.spinee.2021.01.011.
- [46] Reinhold M, Knop C, Kneitz C, et al. Spine fractures in ankylosing diseases: recommendations of the spine section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU) [J]. *Global Spine J*, 2018, 8(2 Suppl): 56S-68S. DOI: 10.1177/2192568217736268.
- [47] Cabrera JP, Camino-Willhuber G, Guiryo A, et al. Vertebral augmentation plus short-segment fixation versus vertebral augmentation alone in Kümmell's disease: a systematic review and meta-analysis[J]. *Neurosurg Rev*, 2022, 45(2): 1009-1018. DOI: 10.1007/s10143-021-01661-8.
- [48] Liu Y, Xiao J, Jin H, et al. Comparison of unilateral and bilateral polymethylmethacrylate-augmented cannulated pedicle screw fixation for the management of lumbar

- spondylolisthesis with osteoporosis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1):446. DOI: 10.1186/s13018-020-01975-1.
- [49] Suk KS, Lee HM, Kim NH, et al. Unilateral versus bilateral pedicle screw fixation in lumbar spinal fusion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000, 25(14): 1843-1847. DOI: 10.1097/00007632-200007150-00017.
- [50] Hu X, Ma W, Chen J, et al. Posterior short segment fixation including the fractured vertebra combined with kyphoplasty for unstable thoracolumbar osteoporotic burst fracture[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1):566. DOI: 10.1186/s12891-020-03576-9.
- [51] 于同, 矫健航, 吴敏飞. 单侧双通道内镜技术治疗腰椎退行性疾病的手术并发症的研究进展[J]. *中华医学杂志*, 2023, 103(3): 224-228. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220904-01868.
- [52] 肖扬, 张瑞, 阿卜力克木·买买提, 等. 脊柱骨水泥强化螺钉技术的研究进展[J]. *中华骨科杂志*, 2025, 45(5):310-316. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20240823-00468.
- [53] 张良, 王强, 王林, 等. 骨水泥强化螺钉技术对老年人脊柱后凸畸形截骨矫形长节段固定融合的影响[J]. *中华老年医学杂志*, 2017, 36(8): 881-885. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2017.08.012.
- [54] Liu D, Zhang B, Xie Q, et al. Biomechanical comparison of pedicle screw augmented with different volumes of polymethylmethacrylate in osteoporotic and severely osteoporotic cadaveric lumbar vertebrae: an experimental study[J]. *Spine J*, 2016, 16(9):1124-1132. DOI: 10.1016/j.spinee.2016.04.015.
- [55] Mo G, Guo H, Guo D, et al. Augmented pedicle trajectory applied on the osteoporotic spine with lumbar degenerative disease: mid-term outcome[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1):170. DOI: 10.1186/s13018-019-1213-y.
- [56] Saman AE, Meier S, Sander A, et al. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws in vertebral fractures in the elderly[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2013, 39(5): 455-460. DOI: 10.1007/s00068-013-0310-6.
- [57] 孙常太. 关注骨水泥加强椎弓根螺钉内固定在骨质疏松脊柱疾病患者中的应用[J]. *中华老年医学杂志*, 2015, 34(11): 1159-1159. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2015.11.001.
- [58] Frankel BM, Jones T, Wang C. Segmental polymethylmethacrylate-augmented pedicle screw fixation in patients with bone softening caused by osteoporosis and metastatic tumor involvement: a clinical evaluation[J]. *Neurosurgery*, 2007, 61(3):531-537; discussion 537-538. DOI: 10.1227/01.NEU.0000290899.15567.68.
- [59] Kaye ID, Prasad SK, Vaccaro AR, et al. The cortical bone trajectory for pedicle screw insertion[J]. *JBJS Rev*, 2017, 5(8): e13. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.16.00120.
- [60] 申才良, 章仁杰. 腰椎皮质骨轨迹螺钉技术的应用拓展及相关问题[J]. *中华医学杂志*, 2021, 101(45):3695-3699. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210416-00921.
- [61] Gao H, Zhang R, Jia C, et al. Novel placement of cortical bone trajectory screws in the lumbar spine: a radiographic and cadaveric study[J]. *Clin Spine Surg*, 2018, 31(6):E329-E336. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000651.
- [62] Matsukawa K, Yanai Y, Fujiyoshi K, et al. Depth of vertebral screw insertion using a cortical bone trajectory technique in lumbar spinal fusion: radiological significance of a long cortical bone trajectory[J]. *J Neurosurg Spine*, 2021, 35(5): 601-606. DOI: 10.3171/2021.2.SPINE202229.
- [63] Yang K, You Y, Wu W. The influence of different injection hole designs of augmented pedicle screws on bone cement leakage and distribution patterns in osteoporotic patients[J]. *World Neurosurg*, 2022, 157: e40-e48. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.09.086.
- [64] Chua MJ, Siddiqui S, Yu CS, et al. The optimal screw length of lumbar pedicle screws during minimally invasive surgery fixation: a computed tomography-guided evaluation of 771 screws[J]. *Asian Spine J*, 2019, 13(6):936-941. DOI: 10.31616/asj.2018.0276.
- [65] Krag MH, Beynon BD, Pope MH, et al. Depth of insertion of transpedicular vertebral screws into human vertebrae: effect upon screw-vertebra interface strength[J]. *J Spinal Disord*, 1988, 1(4):287-294. DOI: 10.1097/00002517-198800140-00002.
- [66] Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H. Impact of screw diameter and length on pedicle screw fixation strength in osteoporotic vertebrae: a finite element analysis[J]. *Asian Spine J*, 2021, 15(5):566-574. DOI: 10.31616/asj.2020.0353.
- [67] Cho W, Cho SK, Wu C. The biomechanics of pedicle screw-based instrumentation[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2010, 92(8):1061-1065. DOI: 10.1302/0301-620X.92B8.24237.
- [68] Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, et al. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1986(203): 99-112. DOI: 10.1186/s12891-025-08533-y.
- [69] Liu Y, Xiao J, He L, et al. Risk factor analysis of bone cement leakage for polymethylmethacrylate-augmented cannulated pedicle screw fixation in spinal disorders[J]. *Heliyon*, 2023, 9(4):e15167. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15167.
- [70] Janssen I, Ryang Y, Gempt J, et al. Risk of cement leakage and pulmonary embolism by bone cement-augmented pedicle screw fixation of the thoracolumbar spine[J]. *Spine J*, 2017, 17(6):837-844. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.01.009.
- [71] Feng S, Tian W, Sun Y, et al. Effect of robot-assisted surgery on lumbar pedicle screw internal fixation in patients with osteoporosis[J]. *World Neurosurg*, 2019, 125:e1057-e1062. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.01.243.
- [72] 杨曦, 孔清泉, 宋跃明, 等. 计算机导航辅助椎弓根螺钉后路固定在骨质疏松患者中的临床应用[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2012, 26(2): 196-200. DOI: CNKI: 51-1372/R.20111215.1532.025.
- [73] Yuan Q, Zhang G, Wu J, et al. Clinical evaluation of the polymethylmethacrylate-augmented thoracic and lumbar pedicle screw fixation guided by the three-dimensional navigation for the osteoporosis patients[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(5):1043-1050. DOI: 10.1007/s00586-013-3131-8.
- [74] Wadhwa RK, Thakur JD, Khan IS, et al. Adjustment of suboptimally placed lumbar pedicle screws decreases pullout strength and alters biomechanics of the construct: a pilot cadaveric study[J]. *World Neurosurg*, 2015, 83(3): 368-375. DOI: 10.1016/j.wneu.2014.04.065.
- [75] 冷俊胜, 曾岩, 陈仲强. 骨水泥强化椎弓根螺钉技术在脊柱手术中的应用[J]. *中华骨科杂志*, 2019, 39(10): 637-644. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2019.10.007.
- [76] Zhang J, Wang G, Zhang N. A meta-analysis of complications associated with the use of cement-augmented pedicle screws in osteoporosis of spine[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2021, 107(7):102791. DOI: 10.1016/j.otsr.2020.102791.
- [77] Erdem MN, Karaca S, Sari S, et al. Application of cement on strategic vertebrae in the treatment of the osteoporotic spine [J]. *Spine J*, 2017, 17(3): 328-337. DOI: 10.1016/j.



- spinee.2016.10.001.
- [78] Saman AE, Kelm A, Meier S, et al. Intraoperative PEEP-ventilation during PMMA-injection for augmented pedicle screws: improvement of leakage rate in spinal surgery[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2013, 39(5):461-468. DOI: 10.1007/s00068-013-0319-x.
- [79] Ulusoy OL, Kahraman S, Karalok I, et al. Pulmonary cement embolism following cement-augmented fenestrated pedicle screw fixation in adult spinal deformity patients with severe osteoporosis (analysis of 2 978 fenestrated screws)[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(9): 2348-2356. DOI: 10.1007/s00586-018-5593-1.
- [80] Girardo M, Cinnella P, Gargiulo G, et al. Surgical treatment of osteoporotic thoraco-lumbar compressive fractures: the use of pedicle screw with augmentation PMMA[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(Suppl 4):546-551. DOI: 10.1007/s00586-017-5037-3.
- [81] 王伟军. 高黏度与低黏度骨水泥椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折有效性的 Meta 分析[J]. *中华创伤杂志*, 2018, 34(9): 806-812. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2018.09.007.
- [82] Oberkircher L, Masaeli A, Hack J, et al. Pull-out strength evaluation of cement augmented iliac screws in osteoporotic spino-pelvic fixation[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2021, 107(7):102945. DOI: 10.1016/j.otsr.2021.102945.
- [83] Sung S, Kwon J, Park TH, et al. Biomechanical comparison and three-dimensional analysis of cement distribution patterns for different pedicle screw designs[J]. *Biomed Res Int*, 2022, 2022:8293524. DOI: 10.1155/2022/8293524.
- [84] Echt M, Ranson W, Steinberger J, et al. A systematic review of treatment strategies for the prevention of junctional complications after long-segment fusions in the osteoporotic spine[J]. *Global Spine J*, 2021, 11(5): 792-801. DOI: 10.1177/2192568220939902.
- [85] Martin CT, Skolasky RL, Mohamed AS, et al. Preliminary results of the effect of prophylactic vertebroplasty on the incidence of proximal junctional complications after posterior spinal fusion to the low thoracic spine[J]. *Spine Deform*, 2013, 1(2):132-138. DOI: 10.1016/j.jspd.2013.01.005.
- [86] Rodriguez-Fontan F, Reeves BJ, Noshchenko A, et al. Strap stabilization for proximal junctional kyphosis prevention in instrumented posterior spinal fusion[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(6):1287-1296. DOI: 10.1007/s00586-020-06291-0.
- [87] Yagi M, Ohne H, Konomi T, et al. Teriparatide improves volumetric bone mineral density and fine bone structure in the UIV+1 vertebra, and reduces bone failure type PJK after surgery for adult spinal deformity[J]. *Osteoporos Int*, 2016, 27(12):3495-3502. DOI: 10.1007/s00198-016-3676-6.
- [88] Viswanathan VK, Kukreja S, Minnema AJ, et al. Prospective assessment of the safety and early outcomes of sublaminar band placement for the prevention of proximal junctional kyphosis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 28(5):520-531. DOI: 10.3171/2017.8.SPINE17672.
- [89] Line BG, Bess S, Lafage R, et al. effective prevention of proximal junctional failure in adult spinal deformity surgery requires a combination of surgical implant prophylaxis and avoidance of sagittal alignment overcorrection[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2020, 45(4): 258-267. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003249.
- [90] 李庆达, 贺宝荣, 杨俊松, 等. 老年陈旧性症状性骨质疏松性胸腰椎骨折后路长节段内固定术后近端交界性后凸的危险因素[J]. *中华创伤杂志*, 2022, 38(2): 101-108. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20211028-00555.
- [91] 杨宏浩, 李章富, 张瀚文, 等. 合并骨质疏松症的脊柱畸形长节段融合术后近端交界性后凸的危险因素[J]. *中华骨科杂志*, 2024, 44(11): 740-747. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20230917-00178.
- [92] 宋达玮, 钮俊杰, 王金宁, 等. 合并骨质疏松症的成人脊柱畸形骨质量的评估与术后近端交界性后凸或失败预防的研究进展[J]. *中华骨科杂志*, 2024, 44(11): 778-786. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20240130-00075.
- [93] De la Garza Ramos R, Nakhla J, Sciubba DM, et al. Iliac screw versus S2 alar-iliac screw fixation in adults: a meta-analysis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2019, 30(2): 253-258. DOI: 10.3171/2018.7.SPINE18710.
- [94] Shin HK, Park JH, Jeon SR, et al. Sacropelvic fixation for adult deformity surgery comparing iliac screw and sacral 2 alar-iliac screw fixation: systematic review and updated meta-analysis[J]. *Neurospine*, 2023, 20(4):1469-1476. DOI: 10.14245/ns.2346654.327.
- [95] 易红蕾, 陈兴捷, 王昕辉, 等. 徒手经第 2 骶骨翼骶髂螺钉植入技术在退变性腰椎侧凸腰骶骨盆固定中的应用[J]. *中华外科杂志*, 2020, 58(9): 707-712. DOI: 10.3760/cma.j.cn112139-20200222-00121.
- [96] Kanno H, Onoda Y, Hashimoto K, et al. Innovation of surgical techniques for screw fixation in patients with osteoporotic spine[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(9). DOI: 10.3390/jcm11092577.
- [97] Lombardi JM, Shillingford JN, Lenke LG, et al. Sacropelvic fixation: when, why, how?[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2018, 29(3):389-397. DOI: 10.1016/j.nec.2018.02.001.
- [98] Zheng J, Feng X, Xiang J, et al. S2-alar-iliac screw and S1 pedicle screw fixation for the treatment of non-osteoporotic sacral fractures: a finite element study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1):651. DOI: 10.1186/s13018-021-02805-8.
- [99] Bederman SS, Shah KN, Hassan JM, et al. Surgical techniques for spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a systematic review[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(2):305-319. DOI: 10.1007/s00586-013-3075-z.
- [100] Granacher U, Gollhofer A, Hortobágyi T, et al. The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: a systematic review[J]. *Sports Med*, 2013, 43(7):627-641. DOI: 10.1007/s40279-013-0041-1.
- [101] Morfeld J, Vennedey V, Müller D, et al. Patient education in osteoporosis prevention: a systematic review focusing on methodological quality of randomised controlled trials[J]. *Osteoporos Int*, 2017, 28(6): 1779-1803. DOI: 10.1007/s00198-017-3946-y.
- [102] 章雪芳, 杨小彬, 贺宝荣, 等. 基于加速康复外科的出院计划在骨质疏松性胸腰椎骨折患者中的应用[J]. *中华创伤杂志*, 2022, 38(7): 632-637. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20220119-00052.
- [103] 韩耕愚, 樊喆羽, 岳立豪, 等. 腰椎后路融合术后早期使用支具对患者临床结局影响的 meta 分析[J]. *中华骨科杂志*, 2023, 43(7): 445-451. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220827-00482.
- [104] Pieroh P, Spiegl UJA, Völker A, et al. Spinal orthoses in the treatment of osteoporotic thoracolumbar vertebral fractures in the elderly: a systematic review with quantitative quality assessment[J]. *Global Spine J*, 2023, 13(1\_suppl):59S-72S. DOI: 10.1177/21925682221130048.
- [105] Coronado-Zarco R, de León AO, García-Lara A, et al. Nonpharmacological interventions for osteoporosis treatment: systematic review of clinical practice guidelines [J]. *Osteoporos Sarcopenia*, 2019, 5(3):69-77. DOI: 10.1016/



j.afos.2019.09.005.

[106] 张舜, 陈坤峰, 郭旗, 等. 腰椎终板间自体骨粒移植融合术治疗中老年腰椎失稳腰椎脱位[J]. 中华实验外科杂志, 2021, 38(7): 1364-1369. DOI: 10.3760/cma.j.cn421213-20201209-01451.

[107] Dailey AT, Ghogawala Z, Choudhri TF, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 14: brace therapy as an adjunct to or substitute for lumbar fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 21(1): 91-101. DOI: 10.3171/2014.4.SPINE14282.

[108] Elgafy H, Vaccaro AR, Chapman JR, et al. Rationale of revision lumbar spine surgery[J]. Global Spine J, 2012, 2(1): 7-14. DOI: 10.1055/s-0032-1307254.

[109] Noma M, Takeshita Y, Miyoshi K, et al. Postoperative brace prescription practices for elective lumbar spine surgery: a questionnaire-based study of spine surgeons in Japan[J]. Int J Spine Surg, 2025, 19(2): 237-245. DOI: 10.14444/8719.

[110] Buerba RA, Sharma A, Ziino C, et al. Bisphosphonate and teriparatide use in thoracolumbar spinal fusion: a systematic review and meta-analysis of comparative studies[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(17): E1014-E1023. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002608.

[111] Fatima N, Massaad E, Hadzipasic M, et al. Assessment of the efficacy of teriparatide treatment for osteoporosis on lumbar fusion surgery outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurg Rev, 2021, 44(3): 1357-1370. DOI: 10.1007/s10143-020-01359-3.

[112] Mei J, Song X, Guan X, et al. Postoperative bisphosphonate do not significantly alter the fusion rate after lumbar spinal fusion: a meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1): 284. DOI: 10.1186/s13018-021-02444-z.

[113] 智信, 陈晓, 苏佳灿. 重视双膦酸盐在骨质疏松性骨折术后的应用[J]. 中华创伤杂志, 2020, 36(1): 14-17. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2020.01.005.

[114] 夏维波. 骨质疏松症高骨折风险患者的识别与防治策略[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2020, 13(6): 493-498. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2591.2020.06.001.

· 读者 · 作者 · 编者 ·

### 关于参考文献中电子文献的著录格式

#### 一、通用格式

作者名(前3名, et al.). 题名[文献类型标志 / 文献载体标志]. 出版地: 出版者, 出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取和访问路径.

请注意, 电子期刊须标注“[文献类型标志 / 文献载体标志]”、“获取和访问的路径”。

#### 二、电子文献载体和文献类型标志

请参照 GB 3469《文献类型与文献载体代码》的要求, 电子文献载体类型标志如下: 磁带 MT, 磁盘 DK, 光盘 CD, 联机网络 OL. 文献类型标志如下: 普通图书 M, 会议录 C, 汇编 G, 报纸 N, 期刊 J, 学位论文 D, 报告 R, 标准 S, 专利 P, 数据库 DB, 计算机程序 CP, 电子公告 EB. 其中会议录包括座谈会、研讨会、学术年会等会议的文集; 专著、论文集当中析出的文献, 著录为[A], 其他未说明类型的著录为[Z].

#### 三、具体示例

[1] 莫少强. 数字式中文全文文献格式的设计与研究[J/OL]. 情报学报, 1999, 18: 1-6[2001-07-08]. <http://periodical.wanfangdata.com.cn/periodical/qbxb/qbxb99//qbxb9904/990407.htm>.

[2] Who's Certified[DB/OL]. Evanston(IL): The American Board of Medical Specialists, 2000[2001-05-08]. <http://www.abms.org/newsearch.asp>.

[3] 萧钰. 出版业信息化迈入快车道[EB/OL]. (2001-12-19) [2002-04-15]. <http://www.creder.com/news/0112190019.htm>.

[4] Scitor Corporation. Project scheduler [CP/DK]. Sunnyvale, Calif: Scitor Corporation, c1983.

[5] 陈彪. 帕金森病[M/CD]//贾建平, 张新卿. 神经系统疾病诊治进展. 北京: 中华医学电子音像出版社, 2005.

(本刊编辑部)