

下颈椎A1型骨折治疗策略研究进展： SLIC评分4分争议与骨质疏松影响

白海洋¹, 孙勇伟², 郜子林¹, 郑 康¹

¹西安医学院研究生工作部, 陕西 西安

²西安交通大学附属红会医院脊柱外科, 陕西 西安

收稿日期: 2025年4月26日; 录用日期: 2025年5月19日; 发布日期: 2025年5月28日

摘 要

目的: 探讨下颈椎A1型骨折的治疗策略, 分析SLIC评分4分患者的治疗争议及骨质疏松对治疗决策的影响。方法: 通过系统综述国内外文献, 整合AO分型与SLIC评分系统的临床价值, 结合生物力学研究及临床病例数据, 分析保守治疗与手术干预的适应症, 并探讨骨质疏松对预后的作用机制。结果: 下颈椎A1型骨折多推荐保守治疗, 但SLIC评分4分(合并不完全脊髓损伤)患者治疗存在争议。尤其当此类患者合并骨质疏松时, 可通过降低骨强度、加剧椎体塌陷及后凸畸形进展, 显著影响保守治疗效果, 可能需升级为手术干预(如ACDF)。目前缺乏针对SLIC评分4分合并骨质疏松患者的高质量证据, 现有分型系统未充分纳入骨密度参数, 生物力学稳定性评估存在局限。结论: SLIC评分4分的下颈椎A1型骨折需结合神经功能、骨密度及椎体形态综合决策, 骨质疏松患者应强化抗骨质疏松治疗并动态评估稳定性。未来需开展多中心研究明确手术指征, 建立基于骨代谢评估的精准治疗体系。

关键词

下颈椎A1型骨折, SLIC评分, 骨质疏松

Research Advances in Therapeutic Strategies for Subaxial Cervical A1-Type Fractures: Controversies Surrounding SLIC Score 4 and the Impact of Osteoporosis

Haiyang Bai¹, Yongwei Sun², Zilin Gao¹, Kang Zheng¹

¹Graduate School, Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

²Department of Spine Surgery, Honghui Hospital, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi

文章引用: 白海洋, 孙勇伟, 郜子林, 郑康. 下颈椎 A1 型骨折治疗策略研究进展: SLIC 评分 4 分争议与骨质疏松影响[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 2083-2091. DOI: 10.12677/acm.2025.1551595

Abstract

Objective: To investigate the treatment strategies for subaxial cervical A1-type fractures, analyze the treatment controversies in patients with a SLIC score of 4, and explore the impact of osteoporosis on treatment decision-making. **Methods:** A systematic literature review was conducted to synthesize the clinical utility of the AO Spine classification and SLIC scoring systems. Biomechanical studies and clinical case data were integrated to analyze indications for conservative management versus surgical intervention, with a focus on elucidating the mechanistic role of osteoporosis in prognosis. **Results:** Conservative treatment remains the primary recommendation for most A1-type fractures. However, significant controversy persists in managing patients with a SLIC score of 4 (associated with incomplete spinal cord injury), particularly when combined with osteoporosis. Osteoporosis exacerbates vertebral collapse and kyphotic progression through reduced bone strength, compromising conservative outcomes and necessitating potential escalation to surgical interventions such as anterior cervical discectomy and fusion (ACDF). Current evidence lacks high-quality studies targeting this subgroup, and existing classification systems inadequately incorporate bone mineral density parameters, limiting biomechanical stability assessments. **Conclusions:** Therapeutic decision-making for SLIC score 4 A1-type fractures requires a comprehensive evaluation of neurological status, bone density, and vertebral morphology. Osteoporotic patients warrant intensified anti-osteoporotic therapy and dynamic stability assessments. Future multicenter studies are imperative to refine surgical indications and establish a precision-based treatment framework incorporating bone metabolic profiling.

Keywords

Subaxial Cervical A1-Type Fracture, SLIC Score, Osteoporosis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

下颈椎骨折指 C3~C7 节段发生的损伤, 约占所有颈椎损伤的 65% [1]。其中 A1 型骨折表现为单侧终板楔形压缩且无椎体后壁破坏, 传统被视为稳定性损伤, 约占 5.7% [2]。随着全球老龄化加剧, 合并骨质疏松的下颈椎骨折患者比例显著上升 [3]。骨质疏松作为老年人群的核心合并症, 通过降低骨密度及骨小梁结构强度, 显著削弱椎体抗压缩能力, 成为老年患者发生此类损伤的重要病理基础 [4]。此类患者的骨折愈合能力减弱, 且伤后椎体塌陷及后凸畸形进展风险较骨量正常者增高, 显著影响治疗策略选择 [5]。当前临床治疗策略主要依据下颈椎损伤分类(sub-axial injury classification, SLIC)系统 [6], 该系统通过骨折形态、椎间盘韧带复合体(disco-ligamentous complex, DLC)状态及神经功能状态量化评分, 形成“≤3 分保守治疗、≥5 分手术干预”的决策框架, 但对于评分为 4 分(骨折形态 1 分 + 不完全脊髓损伤 3 分)的临界患者, 其影像学稳定但神经功能受损的特征导致治疗选择存在争议。值得注意的是, SLIC 评分未纳入骨密度参数, 对骨质疏松患者的稳定性评估存在局限性, 尽管 A1 型骨折后柱结构完整, 但骨质疏松会导致椎体抗压强度下降引发渐进性塌陷, 甚至进一步发生后凸畸形进展, 最终可能引发慢性疼痛、神经功能

恢复受限，从而削弱保守治疗的长期疗效[7]。临床观察发现，合并骨质疏松的 SLIC 评分 4 分 A1 型骨折患者，保守治疗后又出现椎体高度丢失和疼痛缓解不佳风险，手术干预(如 ACDF)可即刻重建稳定性，维持形态稳定，但目前缺乏针对该亚组患者的高质量循证医学证据。本文系统综述了 A1 型骨折的损伤机制、诊疗进展，聚焦 SLIC 评分 4 分患者的争议性治疗策略，并深入探讨骨质疏松对治疗选择及预后的影响，以期为个体化、精准化诊疗体系的构建提供理论依据。

2. 损伤机制与分型体系

2.1. 下颈椎 A1 型骨折分型

下颈椎骨折(C3~C7)中，因为 C5~C7 节段的活动度最大，超过 50%的损伤位于该节段，是颈椎骨折的常见节段[1]。随着临床研究的深入，针对此类损伤的分型体系及治疗策略持续更新，但各分类系统在指导临床实践时仍存在分歧与局限性。

下颈椎损伤分型系统经历了从单一机制到多因素综合评估的发展历程：早期 Allen [8]和 Harris [9]基于损伤机制和 X 线表现的分型因依赖主观判断，观察者间一致性较低；Mager [10]的 AO 分型将脊柱损伤分为 A (压缩)、B (牵张)、C (旋转)型，但未纳入神经功能与韧带复合体评估，对下颈椎损伤的特异性不足；Anderson [11]等提出的颈椎损伤严重程度评分系统(CSISS)结合 CT 形态学分型但未纳入神经损伤。2007 年，Vaccaro 等提出下颈椎损伤分类(SLIC)评分系统(表 1)，首次整合骨折形态、DLC 和神经功能状态：(1) 骨折形态：无异常为 0 分、压缩骨折为 1 分、爆裂骨折为 2 分、牵张性损伤为 3 分、旋转或移位性损伤为 4 分；(2) DLC：分为完整为 0 分、不确定性为 1 分、断裂为 2 分；(3)神经功能状态：完好为

Table 1. The subaxial cervical spine injury classification system
表 1. SLIC 评分系统

项目	分值
骨折形态	
无异常	0
压缩型	1
爆裂型	2
牵张型	3
旋转/脱位	4
椎间盘韧带复合体	
无损伤	0
不确定性损伤(棘突间隙增大、仅 MRI 信号改变)	1
断裂(椎间隙增宽、小关节分离或脱位)	2
神经功能状态	
无损伤	0
神经根损伤	1
完全性脊髓损伤	2
不完全性脊髓损伤	3
存在持续性脊髓压迫	+1

0分、神经根损伤为1分、完全性脊髓损伤为2分、不完全性脊髓损伤为3分,若脊髓持续性受压额外加1分。将此3个部分的分值相加,若总分<4分建议保守治疗;总分>4分建议手术治疗;总分=4分,则根据个体化差异选择合适的治疗方法。SLIC评分系统在形态学损伤评估基础上引入DLC概念,强调下颈椎稳定性评估,并首次将神经功能状态纳入评分体系,相较于传统分型系统具有显著创新性。该系统的可靠性和可重复性使其在临床实践中逐步普及,但仍存在评分细则模糊、特殊病例适用性不足等问题[12]。

在SLIC分型系统的基础上,Vaccaro等[2]为了更准确描述骨折形态,于是提出了一套基于CT影像的下颈椎损伤分类方法,并被AOSpine组织采纳。该分型体系综合考虑了损伤形态特征、关节突结构损伤程度、神经功能状态以及特殊病例修正因素等多个维度,其中A型骨折定义为压缩性损伤,A1型特指单侧终板受累的楔形压缩性骨折,且未合并椎体后壁结构破坏。与传统分型相比,AOSpine体系不仅具备较高的综合分析能力,还针对SLIC分型的不足进行了优化,通过更细致的损伤形态描述和临床实际案例的补充,使分型更加全面且易于理解。该新型分类体系仍需通过更多临床研究验证其可靠性及应用价值,从而为临床治疗决策提供更精准的依据。

2.2. 解剖生物力学特征及骨质疏松对稳定性的重塑作用

上述分型系统均基于“骨质量正常”人群的损伤特征建立,而骨质疏松通过改变椎体生物力学性能(如抗压强度、载荷分布),使A1型骨折的“稳定性”定义及神经损伤机制发生本质变化,需进一步分析下颈椎A1型骨折的生物力学特征,以明确稳定性评估标准。下颈椎A1型骨折的损伤机制与低能量创伤密切相关,典型致伤原因为轴向压缩暴力,如跌倒时头部垂直撞击地面或颈部屈曲状态下承受纵向压缩力,或骨质疏松患者轻微外力作用下发生[13]。在骨量正常人群中,下颈椎A1型骨折以单侧终板楔形压缩为特征,因后柱结构完整,其生物力学稳定性较高,保守治疗(如颈托制动)即可有效维持颈椎序列,临床疗效确切[14]。然而,在骨质疏松背景下,椎体骨密度降低与骨小梁结构破坏使A1型骨折的“稳定性”定义发生本质改变,其损伤机制与生物力学特征呈现显著差异。

椎体抗压强度下降,骨质疏松通过降低骨密度和破坏小梁结构,使椎体抗压强度显著降低[15]。即使是低能量创伤(如平地跌倒),也可能导致椎体发生楔形压缩,尽管影像学显示无后壁破坏,但松质骨承载能力差使椎体在轴向载荷下易发生渐进性塌陷[13]。

载荷传递异常,当发生楔形骨折后,椎体前缘的皮质凹陷逐渐加深,脊柱载荷传递路径由中柱向前柱转移,使椎体前柱所承受载荷明显增加[16]。这种应力集中效应会进一步加速椎体前缘高度丢失。

颈椎全段生物力学不稳定,生物力学研究发现,轴向压缩暴力导致中段颈椎(C4~C6)屈伸活动度较损伤前平均增加24.9°,中性区扩大53%,远超临床不稳定阈值(20°)。该研究结果发现轴向压缩损伤可导致颈椎全段生物力学不稳定,而骨质疏松可能加剧损伤后的动态不稳定,需警惕此类患者的潜在风险[13]。屈曲位轴向载荷是导致颈椎损伤的重要机制,当颈椎处于前屈30°时,生理前凸消失,脊柱能力吸收力显著下降,此时若遭受轴向压缩载荷,椎体易发生楔形变,导致椎管横截面积瞬时减少15%,这种几何形态的骤变引发“压力梯度效应”,脊髓如同受挤压的气球,局部压力骤增,即使无骨折脱位也可能发生神经损伤[17]。压力梯度损伤机制为临床无影像学异常脊髓损伤提供了病理力学解释。

后凸畸形的累进性发展,骨质疏松导致椎体抗压缩能力下降,使得椎体在受力时发生形变,进而引起后凸角度增大。有研究发现单个椎体前楔形骨折可致10°后凸畸形,导致相邻椎体应力增加,且头部前移,进一步加剧椎体载荷不均,破坏脊柱生物力学稳定性[18]。而骨质疏松患者因骨矿物质含量(BMC)与后凸角度呈显著负相关,Thevenon等[19]研究发现后凸角度与BMC呈显著负相关,骨质疏松患者因骨量丢失导致椎体进行性楔形变,是后凸进展的主要机制。存在椎体压缩骨折的患者后凸角度更大,但排除

骨折病例后,后凸与 BMC 的相关性仍显著。提示压缩骨折通过局部椎体塌陷进一步加剧后凸畸形。这种畸形不仅改变颈椎载荷分布,导致相邻椎体应力增加,还可引发颈后肌群代偿性痉挛引起疼痛, Lim 等 [20]通过表面肌电图发现颈椎后凸患者存在显著的肌肉功能失调。具体表现为上斜方肌在全体位的激活水平显著降低,而屈曲位的激活比值升高 32%。这种失用性萎缩与代偿性过度激活的矛盾模式可能解释了后凸进展患者的持续疼痛:生理曲度丢失导致头部重心前移,引发上斜方肌在屈曲位需通过异常收缩维持头部稳定,从而产生肌肉疲劳和疼痛。此外,菱形肌在 60°伸展位的激活降低 50%,提示肩胛骨稳定性受损,进一步加剧颈部负荷。

3. 治疗策略争议

3.1. 保守治疗的核心价值

A1 型下颈椎骨折以椎体前柱压缩为特征性表现,其后柱结构完整,这为保守治疗提供了生物力学基础。此类损伤的保守治疗策略以维持颈椎序列稳定及促进骨折愈合为核心目标,临床实践遵循指南推荐的 SLIC 评分 ≤ 3 分优先选择非手术干预的原则。保守治疗体系涵盖镇痛、制动、康复训练以及对骨质疏松患者的规范化抗骨质疏松基础治疗 [16]。

外固定制动通过颈托或头颈胸支具实现,其作用机制在于限制颈椎三维活动度以降低骨折移位风险。外固定时间需持续固定至影像学显示骨痂形成(通常需 8~12 周)可有效减少畸形进展,但过早拆除支具可能导致椎体塌陷加重 [7]。骨量正常患者采用硬性颈托(如 Philadelphia 颈托)固定 6~8 周即可;骨质疏松患者可升级为头颈胸支具(Halo-Vest 或 SOMI 支具)固定 8~12 周,因松质骨承载能力下降,需更严格限制颈椎屈伸 [7]。药物干预以镇痛、促进骨折愈合为主要目标。非甾体抗炎药可缓解急性期疼痛,而骨代谢调节药物能加速骨痂形成 [21]。非骨质疏松患者治疗补充钙剂(1000 mg/d) + 维生素 D(800 IU/d),维持骨矿化微环境。骨质疏松患者需在基础治疗上联合抗骨松药物,如双膦酸盐(阿仑膦酸钠 70 mg/周,抑制破骨细胞活性,降低再骨折风险 40%)或特立帕肽(20 μ g/d,促进成骨细胞分化,加速骨痂矿化,适用于 T 值 ≤ -3.0 或多次骨折患者) [22]。康复训练需在专业医师指导下分阶段进行。早期以等长肌肉收缩训练为主,通过增强颈部肌群力量维持颈椎稳定性;中期逐步开展关节活动度训练,防止关节僵硬;后期则结合有氧运动恢复颈椎功能 [23]。康复过程中需定期进行影像学复查(如 X 线、CT),评估骨折愈合及椎体高度变化。一项研究纳入 13 例发生了压缩型颈椎骨折伴脊髓损伤后接受了保守治疗的患者,发现尽管同时存在下颈椎压缩骨折和颈髓损伤,但其中一些患者颈椎稳定性尚可,因此进行了保守治疗,但在保守治疗的过程中,发现保守治疗可以避免神经功能恶化,但在长期随访中发现伤椎后凸角平均进展 7.5° [24]。因此,保守治疗期间需每 4 周行颈椎侧位 X 线监测椎体高度变化及后凸角度进展 [2],参考德国骨科创伤协会(DGO)标准,局部后凸角增加 $> 15^\circ$,即使无神经症状,也应启动手术评估,因该阈值与脊髓背侧牵张损伤风险显著相关 [23]。因此,虽然该型骨折在形态学分类中被归为稳定性损伤,但在骨质疏松背景下,制定个性化的治疗计划并结合长期随访是确保良好预后的关键。

3.2. 手术干预的适应症拓展

下颈椎损伤的手术干预指征通常基于 SLIC 评分系统,当总分 > 4 分时提示需考虑手术治疗。A1 型骨折表现为椎体压缩,由于 DLC 的连续性得以保留,因此患者的颈椎稳定性和是否有神经损伤是治疗方式选择的主要因素 [14]。单纯 A1 型骨折为稳定性骨折,但若患者合并骨质疏松,患者骨质量下降可能导致实际稳定性不足。A1 型骨折无骨折碎片、脱位椎体或明显椎间盘突出压迫椎管,脊髓损伤的发生机制可能与伤前即存在的颈椎椎管狭窄或椎体后缘骨赘有关,在颈椎受到瞬时暴力时,颈椎过屈/过伸运动导致椎管容积动态减少,使原本代偿的脊髓空间进一步压缩而损伤脊髓 [25]。此类损伤模式与无骨折脱位型

脊髓损伤(SCIWORA)具有共性特征,两者均无骨折碎片或脱位直接压迫脊髓,非直接压迫因素主导。传统观点认为此类患者的脊髓损伤多为不完全性脊髓损伤,接受保守治疗后脊髓功能也可有一定程度恢复,并且颈椎静态稳定性未受影响,短期制动即可。然而保守治疗的效果在临床研究中一直不满意,近年来更多研究支持早期手术干预治疗脊髓损伤的效果显著优于保守治疗[26]。由于A1型骨折仅累及前柱,采用单纯前路颈椎间盘切除减压融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)即可实现生物力学稳定性重建[27]。

对于此类患者,行ACDF的核心目标为通过椎间隙进行神经减压,并建立即刻脊柱稳定性,而非复位手术。ACDF可通过椎间融合器与前路钛板内固定系统构建的即刻稳定性,有效抑制异常微动引发的无菌性炎症及肌肉代偿性痉挛[28];还可改善伤椎局部后凸并抑制后凸进展,从而阻止肌肉功能失调,Gillis等[28]研究显示,ACDF术后节段前凸角平均增加 6.45° ;并通过前路神经减压,重建椎管容积,为神经修复创造稳定的力学环境, Lee等人研究发现早期手术干预对于脊髓功能恢复显著优于保守治疗[29]。但需注意该术式存在的潜在并发症风险,如吞咽困难、邻近节段退变等远期并发症[30][31]。因此,术前需严格评估手术风险,术后密切监测神经功能恢复及内固定稳定性,同时结合康复训练与抗骨质疏松治疗以优化远期疗效。但目前尚无证据明确其相较于保守治疗的优势。

3.3. 治疗决策的关键矛盾点

基于SLIC评分系统,A1型骨折形态得分为1分(压缩骨折无后柱损伤),但若患者同时合并不完全脊髓损伤,神经功能状态项可获3分,导致总评分为4分,治疗选择存在争议,需结合生物力学稳定性、神经功能状态及全身状况综合评估。此类患者的治疗争议本质在于“静态影像学稳定”与“动态生物力学失稳”的矛盾,尽管AO分型定义为稳定性骨折(无后壁破坏),但如之前的生物力学机制所述,骨质疏松患者伤椎抗压强度较正常骨降低、载荷传递异常、颈椎全段生物力学不稳、后凸畸形的累进性发展及“压力梯度机制”导致的脊髓损伤。导致保守治疗可能会导致椎体前缘高度丢失甚至进一步后凸畸形进展[32]。削弱保守治疗的疗效,例如疼痛缓解不佳、加速局部后凸畸形进展、伤椎前缘高度丢失。而手术干预的适应症与远期疗效尚未明确。目前针对该亚组患者的临床研究仍属空白。

尽管AO分型和SLIC评分系统为临床决策提供了框架,且保守治疗在多数稳定性病例中效果显著,但其局限性不容忽视。对于SLIC评分4分且合并骨质疏松的患者,目前暂无相关临床研究。一是缺乏针对SLIC评分4分患者的高质量循证证据,二是骨质疏松对下颈椎A1型骨折治疗方式选择的影响机制尚未阐明。这些问题亟需通过多学科协作与临床研究进一步探索。临床需综合评估患者年龄、骨密度、神经功能状态及依从性,个体化评估是否升级为手术干预。

4. 治疗方案的优化方向

骨质疏松性骨折治疗需遵循“复位-固定-功能康复-抗骨质疏松”四位一体的核心原则,临床决策应基于多维度评估体系制定个体化方案,包括骨折部位、损伤类型、骨密度检测结果以及患者全身状态[33]。在治疗路径选择上需系统权衡手术与非手术方案的获益风险比,尤其需重视骨质疏松性骨折特有的病理特征[34]。除了颈托固定外,所有患者均需钙剂($1000\sim 1200\text{ mg/d}$) + 维生素D (800 IU/d),纠正负钙平衡,促进肠钙吸收效率,对于低中风险($T\text{ 值} > -3.0$)患者使用双膦酸盐(阿仑膦酸钠 70 mg/周),降低再骨折风险[35]。高风险($T\text{ 值} \leq -3.0$ 或多次骨折)患者可选择特立帕肽($20\text{ }\mu\text{g/d}$)促进成骨,加速骨痂形成[36]。因目前无相关高质量研究证明在此类患者中手术相对于保守治疗的优势,可先行保守治疗,但如果在保守治疗过程中出现明显的后凸畸形及发展倾向,则需要密切监测伤椎后凸角度的变化,建议保守治疗期间需每4周监测伤椎后凸角度,超过 15° 的后凸畸形可能导致脊髓背侧牵张损伤,即使无神经症状加

重,也应考虑减压融合[23]。若保守治疗到一定程度后神经功能恢复停滞甚至进行性加重,也需积极手术干预[37]。对于骨质疏松导致的内固定失效风险,尽管存在多种增强颈椎固定的技术,但缺乏高质量证据支持其在骨质疏松患者中的绝对优势。现有研究多为小样本病例系列或生物力学实验,缺乏长期随访数据及随机对照试验,临床证据等级普遍较低[38]。未来研究需开展多中心 RCT 验证技术疗效,探索新型生物材料及智能化导航技术,并加强抗骨质疏松药物与手术策略的协同研究。对于此类患者,需重视骨质疏松对生物力学稳定性的影响,在临床决策中整合骨密度评估、后凸畸形动态监测及抗骨质疏松干预,以突破传统分类系统对骨质量评估的局限,为建立融合形态学、神经功能及代谢因素的个体化诊疗方案提供依据。

5. 结论与展望

下颈椎 A1 型骨折作为 AO 分型中的稳定性损伤,其治疗策略在 SLIC 评分系统框架下仍存在争议。现有研究表明,单纯 A1 型骨折可通过保守治疗实现临床愈合,但合并骨质疏松时,传统分类系统难以全面评估生物力学稳定性。SLIC 评分 4 分患者的治疗决策需综合考虑神经功能状态、骨密度水平及椎体压缩进展风险,而骨质疏松通过削弱骨小梁结构、延缓愈合进程及增加内固定失效风险,进一步加剧了治疗复杂性。目前临床实践缺乏针对该亚组患者的循证医学证据,且骨质疏松对颈椎骨折的影响机制尚未完全阐明,亟需通过多学科协作研究优化个体化诊疗方案。

未来研究应开展多中心随机对照试验,明确 SLIC 评分 4 分患者的手术与保守治疗疗效差异,建立基于神经功能状态、骨密度及椎体形态学参数的决策模型。通过生物力学实验与临床队列研究,揭示骨质疏松性颈椎骨折的力学特性演变规律,探索新型内固定技术(如骨水泥强化螺钉、可降解材料)的应用价值。整合抗骨质疏松药物与手术干预的协同效应,评估抗骨质疏松药物对骨折愈合及内固定稳定性的影响。并可借助人工智能影像分析技术,动态监测椎体高度变化与后凸畸形进展,构建智能化预警系统。最终通过制定包含骨代谢评估的综合治疗指南,推动下颈椎 A1 型骨折诊疗向精准化、个体化方向发展。

参考文献

- [1] 杨俊松,郝定均. 重视下颈椎损伤的规范治疗[J]. 中华创伤杂志, 2020, 36(9): 769-773.
- [2] Vaccaro, A.R., Koerner, J.D., Radcliff, K.E., Oner, F.C., Reinhold, M., Schnake, K.J., *et al.* (2015) Aospine Subaxial Cervical Spine Injury Classification System. *European Spine Journal*, **25**, 2173-2184. <https://doi.org/10.1007/s00586-015-3831-3>
- [3] Utheim, N.C., Helseth, E., Stroem, M., Rydning, P., Mejl  nder-Evjensvold, M., Glott, T., *et al.* (2022) Epidemiology of Traumatic Cervical Spinal Fractures in a General Norwegian Population. *Injury Epidemiology*, **9**, Article No. 10. <https://doi.org/10.1186/s40621-022-00374-w>
- [4] Venmans, A., Klazen, C.A., Lohle, P.N.M., Mali, W.P. and van Rooij, W.J. (2011) Natural History of Pain in Patients with Conservatively Treated Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Results from VERTOS II. *American Journal of Neuroradiology*, **33**, 519-521. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a2817>
- [5] Muratore, M., Ferrera, A., Masse, A. and Bistolfi, A. (2017) Osteoporotic Vertebral Fractures: Predictive Factors for Conservative Treatment Failure: A Systematic Review. *European Spine Journal*, **27**, 2565-2576. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5340-z>
- [6] Vaccaro, A.R., Hulbert, R.J., Patel, A.A., Fisher, C., Dvorak, M., Lehman, R.A., *et al.* (2007) The Subaxial Cervical Spine Injury Classification System: A Novel Approach to Recognize the Importance of Morphology, Neurology, and Integrity of the Disco-Ligamentous Complex. *Spine*, **32**, 2365-2374. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181557b92>
- [7] Prost, S., Pesenti, S., Fuentes, S., Tropiano, P. and Blondel, B. (2021) Treatment of Osteoporotic Vertebral Fractures. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **107**, Article ID: 102779. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102779>
- [8] Allen, B.L., Ferguson, R.L., Lehmann, T.R. and O'brien, R.P. (1982) A Mechanistic Classification of Closed, Indirect Fractures and Dislocations of the Lower Cervical Spine. *Spine*, **7**, 1-27. <https://doi.org/10.1097/00007632-198201000-00001>

- [9] Harris, J.H., Edeiken-Monroe, B. and Kopaniky, D.R. (1986) A Practical Classification of Acute Cervical Spine Injuries. *Orthopedic Clinics of North America*, **17**, 15-30. [https://doi.org/10.1016/s0030-5898\(20\)30415-6](https://doi.org/10.1016/s0030-5898(20)30415-6)
- [10] Magerl, F., Aebi, M., Gertzbein, S.D., Harms, J. and Nazarian, S. (1994) A Comprehensive Classification of Thoracic and Lumbar Injuries. *European Spine Journal*, **3**, 184-201. <https://doi.org/10.1007/bf02221591>
- [11] Anderson, P.A., Moore, T.A., Davis, K.W., Molinari, R.W., Resnick, D.K., Vaccaro, A.R., et al. (2007) Cervical Spine Injury Severity Score. Assessment of Reliability. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **89**, 1057-1065. <https://doi.org/10.2106/00004623-200705000-00019>
- [12] 朱烨, 等. 下颈椎损伤分类评分系统的临床应用[J]. 临床骨科杂志, 2016, 19(2): 144-146.
- [13] Ivancic, P.C. (2014) Cervical Spine Instability Following Axial Compression Injury: A Biomechanical Study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **100**, 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.10.015>
- [14] 向强, 张建波. 成人颈椎损伤急诊诊治专家共识[J]. 中国急救医学, 2022, 42(3): 189-196.
- [15] Myers, E.R. and Wilson, S.E. (1997) Biomechanics of Osteoporosis and Vertebral Fracture. *Spine*, **22**, 25S-31S. <https://doi.org/10.1097/00007632-199712151-00005>
- [16] 刘刚, 易本清. 胸腰椎骨质疏松应力分布及临床意义[J]. 吉林医学, 2010, 31(19): 3126-3127.
- [17] Swartz, E.E., Floyd, R.T. and Cendoma, M. (2005) Cervical Spine Functional Anatomy and the Biomechanics of Injury Due to Compressive Loading. *Journal of Athletic Training*, **40**, 155-161.
- [18] Chaddha, R., Agrawal, G., Koirala, S. and Ruparel, S. (2023) Osteoporosis and Vertebral Column. *Indian Journal of Orthopaedics*, **57**, 163-175. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-01046-7>
- [19] Thevenon, A., Pollez, B., Cantegrit, F., Tison-Muchery, F., Marchandise, X. and Duquesnoy, B. (1987) Relationship between Kyphosis, Scoliosis, and Osteoporosis in the Elderly Population. *Spine*, **12**, 744-745. <https://doi.org/10.1097/00007632-198710000-00005>
- [20] Lim, J., Lee, D., Kim, S., Lee, S. and Ryu, J.S. (2023) Analysis of Abnormal Muscle Activities in Patients with Loss of Cervical Lordosis: A Cross-Sectional Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 666. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06782-3>
- [21] Huang, J., Wu, T., Jiang, Y., Zheng, X., Wang, H., Liu, H., et al. (2024) β -Receptor Blocker Enhances the Anabolic Effect of PTH after Osteoporotic Fracture. *Bone Research*, **12**, Article No. 18. <https://doi.org/10.1038/s41413-024-00321-z>
- [22] Schroder, G., et al. (2021) Why Insufficiency Fractures are Rarely Found in the Cervical Spine, Even with Osteoporosis. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, **159**, 721-726.
- [23] Schleicher, P., Kobbe, P., Kandziora, F., Scholz, M., Badke, A., Brakopp, F., et al. (2018) Treatment of Injuries to the Subaxial Cervical Spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (Dgou). *Global Spine Journal*, **8**, 25S-33S. <https://doi.org/10.1177/2192568217745062>
- [24] Yokota, K., Maeda, T., Kawano, O., Mori, E., Takao, T., Sakai, H., et al. (2019) Progression of Local Kyphosis after Conservative Treatment for Compressive Cervical Spine Fracture with Spinal Cord Injury. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **14**, Article No. 98. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1115-z>
- [25] 顾庆陟, 孙国荣, 吴成如. 无骨折脱位型颈髓损伤的诊疗研究进展[J]. 颈腰痛杂志, 2020, 41(5): 625-627.
- [26] 耿捷, 等. 无骨折脱位型颈脊髓损伤手术与保守治疗的疗效对比研究[J]. 中国临床医生杂志, 2019, 47(9): 1071-1073.
- [27] Aebi, M. (2009) Surgical Treatment of Upper, Middle and Lower Cervical Injuries and Non-Unions by Anterior Procedures. *European Spine Journal*, **19**, 33-39. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-1120-8>
- [28] Gillis, C.C., Kaszuba, M.C. and Traynelis, V.C. (2016) Cervical Radiographic Parameters in 1- and 2-Level Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **25**, 421-429. <https://doi.org/10.3171/2016.2.spine151056>
- [29] Lee, S., Kim, C., Ha, J., Jung, S.K. and Park, J.H. (2020) Comparison of Early Surgical Treatment with Conservative Treatment of Incomplete Cervical Spinal Cord Injury without Major Fracture or Dislocation in Patients with Pre-Existing Cervical Spinal Stenosis. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*, **34**, E141-E146. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001065>
- [30] Kepler, C.K., Rihn, J.A., Bennett, J.D., Anderson, D.G., Vaccaro, A.R., Albert, T.J., et al. (2012) Dysphagia and Soft-Tissue Swelling after Anterior Cervical Surgery: A Radiographic Analysis. *The Spine Journal*, **12**, 639-644. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2012.03.024>
- [31] Baba, H., Furusawa, N., Imura, S., Kawahara, N., Tsuchiya, H. and Tomita, K. (1993) Late Radiographic Findings after Anterior Cervical Fusion for Spondylotic Myeloradiculopathy. *Spine*, **18**, 2167-2173. <https://doi.org/10.1097/00007632-199311000-00004>

-
- [32] Whang, P.G., Patel, A.A. and Vaccaro, A.R. (2011) The Development and Evaluation of the Subaxial Injury Classification Scoring System for Cervical Spine Trauma. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **469**, 723-731. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1576-1>
- [33] Luthman, S., Widén, J. and Borgström, F. (2017) Appropriateness Criteria for Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Osteoporosis International*, **29**, 793-804. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4348-x>
- [34] Kim, J.H., Park, Y., Oh, K.J. and Choi, H.S. (2017) Surgical Treatment of Severe Osteoporosis Including New Concept of Advanced Severe Osteoporosis. *Osteoporosis and Sarcopenia*, **3**, 164-169. <https://doi.org/10.1016/j.afos.2017.11.006>
- [35] 《中国老年骨质疏松症诊疗指南(2023)》工作组, 等. 中国老年骨质疏松症诊疗指南(2023) [J]. 中华骨与关节外科杂志, 2023, 16(10): 865-885.
- [36] 王翔鹤, 等. 抗骨质疏松药物对脊柱融合手术效果的影响[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2024, 17(12): 1137-1143.
- [37] 冯宁宁, 等. 成人无骨折脱位型颈椎脊髓损伤的研究进展[J]. 脊柱外科杂志, 2024, 22(4): 284-288.
- [38] Dodwad, S.M. and Khan, S.N. (2013) Surgical Stabilization of the Spine in the Osteoporotic Patient. *Orthopedic Clinics of North America*, **44**, 243-249. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2013.01.008>