

微创手术治疗腰椎椎体后缘离断症的研究进展

刘思良¹, 李 越²

¹成都体育学院运动医学与健康学院, 四川 成都

²四川省骨科医院颈肩腰腿痛1科, 四川 成都

收稿日期: 2025年1月21日; 录用日期: 2025年2月14日; 发布日期: 2025年2月25日

摘 要

腰椎椎体后缘离断症(posterior ring apophyseal fracture, PRAF)临床上较罕见, 各年龄段均可发病。目前腰椎PRAF的病因及发病机制仍然存在争议, 确诊必须依靠影像学检查。该病保守治疗效果欠佳, 往往需要手术治疗, 但临床上对手术方式、手术入路以及是否切除离断骨块或椎间盘存在争议。目前微创技术日益取得临床的广泛认可, 但长期疗效有待进一步考证。本文对脊柱微创技术治疗腰椎PRAF近5年研究进展作一综述。

关键词

脊柱内镜, 骺环离断, 腰椎椎体后缘离断症, 综述

Research Progress of Minimally Invasive Surgery in the Treatment of Posterior Ring Apophyseal Fracture

Siliang Liu¹, Yue Li²

¹School of Sports Medicine and Health, Chengdu Sport University, Chengdu Sichuan

²No. 1 Department of Neck, Shoulder, Waist and Leg Pain, Sichuan Province Orthopedic Hospital, Chengdu Sichuan

Received: Jan. 21st, 2025; accepted: Feb. 14th, 2025; published: Feb. 25th, 2025

Abstract

Posterior ring apophyseal fracture (PRAF) of the lumbar vertebrae is more common in adolescents and is relatively rare in clinical practice. Currently, the pathogenesis of PRAF remains controversial, and the diagnosis relies on clinical manifestations and imaging examinations. Conservative treatment

for this condition is ineffective, and surgical intervention is necessary. However, there is still debate in clinical practice regarding the surgical approach and whether to remove the detached bone fragment and intervertebral disc. Minimally invasive techniques have increasingly gained wide recognition in clinical practice, but their long-term efficacy remains to be further verified. This article reviews the research progress in the treatment of PRAF using minimally invasive spinal techniques.

Keywords

Spinal Endoscopy, Epiphyseal Ring Avulsion, Posterior Ring Apophyseal Fracture, Review

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

腰椎椎体后缘离断症(posterior ring apophyseal fracture, PRAF)是一类各年龄段均可发病, 常见于青壮年, 常合并腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)或腰椎椎管狭窄症(lumbar spinal stenosis, LSS), 表现为椎体后缘骨块发育异常或外伤后断裂、分离进入椎管内压迫硬膜囊或神经根, 引起腰痛及下肢疼痛、麻木的一类病症[1]。该病各年龄段均可发病, 发生率是 5.4%~8.2%, 但在青壮年人群中高达 19%~42%, 是一种较为少见的脊柱疾病[2]。随着脊柱内镜技术日益得到患者的青睐, 腰椎椎体后缘离断症的内镜手术治疗的疗效也逐渐成为医学界关注的热点之一。我国有关其治疗方式的文献报告数量逐渐增加, 本文旨在对经皮脊柱内镜技术治疗腰椎 PRAF 的临床疗效作一综述, 总结腰椎 PRAF 诊断及内镜手术方式要点, 为该病治疗方式选择提供理论支撑。

2. 文献检索策略

本文以英文关键词“posterior ring apophyseal fracture”、“posterior ring apophysis separation”在 PubMed、web of science 中检索, 以中文关键词“椎体后缘骨骺离断症”、“骺环离断”、在国内期刊网站(中国知网数据库、万方数据库、维普数据库)进行检索。文献纳入标准: ① 所有纳入文献均为近 5 年内期刊已正式发表的文献; ② 文献标题或内容主要与腰椎 PRAF、PRAF 密切相关; ③ 同类研究中的高质量文献。文献排除标准: ① 文献未采用英文或中文书写; ② 无法获取全文的文献; ③ 研究质量偏低的文献; ④ 学位论文、会议文献。本文共检索文献 110 篇, 最终依据排除标准纳入文献 37 篇(图 1)。

3. 发病的原因和机制

尽管近年来医学界对腰椎 PRAF 不断探索, 但明确的发病机制目前尚无定论, 笔者综合文献总结发病机制有以下 5 点。① 直接暴力: TngEL 等[1]通过流行病学研究认为, 青少年椎体骨骺环在发育过程中尚未完全与椎体闭合, 受到创伤、剧烈扭转等直接暴力使椎体后缘的骺环和软骨终板破裂导致离断骨块突入椎管内致压。Okada 等[3]同样认为腰椎 PRAF 多见于青壮年, 此阶段病人脊柱创伤风险高, 软骨板容易受力破裂突入椎管。② 间接暴力: Sairyo 等[4]通过建立三维模型发现, 椎体发生骨骺离断与椎体的拉伸应力强度密切相关。此外, Faizan 等[5]在采用生物力学研究分析时也发现, 当腰椎处于剧烈运动或运动后疲劳状态时, 骨突环所承受的最大应力明显大于软骨环, 因而导致骨与软骨交界处频繁发生撕脱骨折。Li Huang 等[6]通过回顾性分析 119 例住院的 PRAF 患者发现 PRAF 患者的骨盆入射角(PI)、骺骨倾斜角(SS)、腰椎前凸角、胸椎后凸角明显降低, 而骨盆倾斜角、骨盆投射角和腰椎前凸角的差值明显

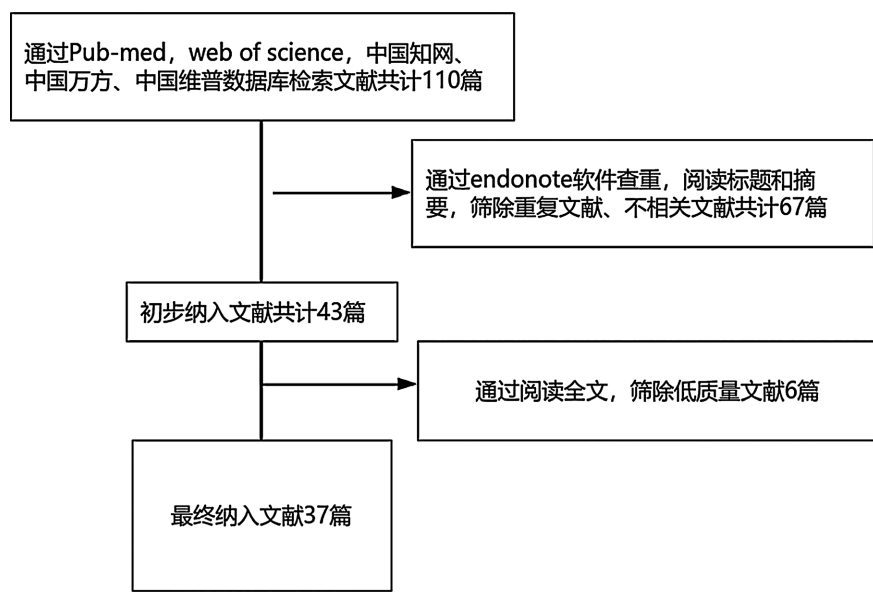


Figure 1. Flow chart of the literature search
图 1. 文献检索流程图

升高, 表明腰椎 PRAF 是脊柱生物力学结构变化的结果。孔庆奎等[7]研究认为, 腰椎 PRAF 的发生是因为椎体后缘持续受到椎间盘突出的挤压, 导致的局部力学改变, 长期的受力使得椎体后缘骨块部分离断。

③ 退变: Akhaddar 等[8]认为腰椎 PRAF 是由于椎间盘及腰椎软骨退行性病变而诱发的。④ 骨软骨病: Laredo 等[9]认为腰椎 PRAF 发病隐匿、病史长且无明确的外伤史, 无法用急性损伤解释椎体后缘离断现象, 可能是青少年时期椎体环状骨骺变异或损伤的继发改变引起 PRAF 而非单纯创伤因素所致。Kaiser 等[10]认为腰椎 PRAF 与后缘终板缺血性骨坏死密切相关, Peng 等[11]则认为腰椎 PRAF 是一种骨软骨病, 并提出该病软骨板破裂后突、移位及骨化三个阶段的病理分型, 出现骨化离断是腰椎 PRAF 的终末期、成熟期。Kyere 等[12]及 Ikata 等[13]研究发现, 本病的发生与 Schmorl 结节的形成有关, 在 Schmorl 结节形成过程中, 椎间盘组织可突向软骨终板致其破裂, 进而离断致压。⑤ 发育缺陷: 张宇等[14]认为该病在软骨终板先天或后天发育缺陷的基础上, 因各种日常应力使椎间盘髓核嵌入椎体后缘所导致骨骺离断致压的一种继发骨软骨病。

4. 诊断与鉴别诊断

从流行病学而言 PRAF 主要发生于儿童及青少年, 临床男女发病比例为 2:1, 好发节段为 L4/5 和 L5/S1, 以 S1 上终板最为常见[2]。

PRAF 临床表现并无特异性, 早期症状多为非特异性腰痛, 主要表现为腰臀部疼痛, 下肢放射疼痛、麻木等症状, 可有间歇性跛行, 与 LDH 或 LSS 的临床表现极为相似; 症状缓慢进展, 反复发作, 疾病初期多数病人卧位休息后症状能够缓解。随着病程延长, 严重者可有马尾综合征表现[1] [15]。查体可见椎旁肌肉压痛、直腿抬高及加强试验阳性、患侧膝腱反射减弱或消失。所以 DR、CT、MRI 检查是目前诊断 PRAF 常用的影像学方法。尽管 DR 腰椎侧位片可以直观发现椎体后缘离断的骨块及骨质缺损阴影, 但有研究表明, DR 的检出率不到 50%, 漏诊、误诊可能性大。CT 对腰椎 PRAF 具有重要的诊断价值。CT 横断位可见椎体后缘出现一个或多个与椎间盘密度相近的低密度椎体缺损区及边缘骨质钙化, 其后缘出现弧形、圆形或不规则形状的骨密度影呈“浮桥”状突入椎管内致压[16]。在矢状位或三维重建上能直观发现致压物和缺损区, 可以准确分辨骨块的大小、位置等空间关系。MRI 能够清晰地显示致压物是否

游离于椎管内，直观反映硬脊膜受压迫的程度，对术前评估手术难度、选择手术入路或方式有着无法替代的作用[17]。

尽管 PRAF 的骨性致压症状表现较 LDH、LSS 更重，但临床上仍必须通过影像学检查进行鉴别诊断。综合文献应与如下三种疾病鉴别诊断：1. 钙化型 LDH [18]，CT 可见椎间盘后椎管内月牙状局限的不规则高密度影，边缘圆钝，包含在椎间盘内部，一般不存在游离致压；2. 后纵韧带骨化[19]，颈胸腰椎皆可见，CT 矢状位可见椎体后方有窄长的高密度影，且连续多个椎体；3. 椎体后缘骨折，DR 检查能直接观察到单个或多个缺损游离骨块，边缘锐利，且形状不规则[20]。

5. 影像学分型

目前，PARF 尚无统一标准的分型，临床上根据病理特征与致压物的形态，不同学者提出了一下几种，见表 1。但这些分类缺乏大量的样本和多中心的研究支持，每个分类的可行性都受到了质疑。使用不同的标准治疗 PRAF 可能导致不同的结论，所以广泛可行的腰椎 PRAF 病理分型仍然值得探究。

Table 1. Imaging subtyping
表 1. 影像学分型

年份	作者	国家或地区	来源期刊	分型方法
1988 年、1991 年、2006 年	Takata K [21]、Epstein NE [22]、杨建荣[23]	日本、美国、中国	J Bone Joint Surg Am、Neurosurgery、医学影像学杂志	I 型，椎体后缘部分皮质骨离断，椎体后缘未见缺损；II 型，椎体后缘皮质骨和松质骨均有较小骨块完全离断；III 型，椎体后缘皮质骨和松质骨出现较大骨块不完全离断；IV 型：椎体后缘终板间的离断，又分为软骨板连续型和软骨板破裂型。
2004 年	蒋位庄[24]	中国	中国骨伤	1 阶段，急性发病，离断骨骺尚未对椎管造成占位压迫，卧床休息配合骨盆牵引的治疗方法可以缓解。2 阶段，软骨终板严重破裂并连同受损的椎间盘共同压迫神经，需绝对卧床休息，配合骨盆牵引。3 阶段，突入椎管的软骨板逐渐发生钙化，持续挤压脊髓造成严重神经损伤，需采用手术治疗。
2008 年	Chang CH [15]	中国台北	Spine	1. 中央位置较小离断；2. 侧隐窝位置较小离断；3. 单侧较大离断；4. 中央位置较大离断；5. 双侧较大离断。
2011 年	Akhaddar A [8]	摩洛哥	J Neurosurg Spine	根据离断骨块与椎体后缘是否连续，分为 I 型(稳定离断)和 II 型(不稳定离断)；根据骨块是否为主要致压因素，分为 A 型(椎间盘未突出于骨块)、B 型(椎间盘超过椎体后缘骨块致压)。
2013 年	Bae JS [2]	韩国	J Korean Neurosurg Soc	1. 小中央型；2. 小外侧型；3. 大单侧型；4. 大中央型；5. 大双侧型。
2018 年	Wang Y [25]	中国	World Neurosurg	1. 黄间隙区(1 区)；2. 骨性侧隐窝上半部(2 区)；3. 骨性侧隐窝下半部(3 区)；4. 椎间孔内侧区域(4 区)；5. 椎间孔区(5 区)。
2019 年	吴志强[26]	中国	中国骨与关节杂志	1. 上缘后外侧型；2. 下缘后外侧型；3. 上缘后正中型；4. 下缘后正中型。

6. 腰椎椎体后缘离断症的脊柱内镜技术治疗

腰椎 PARF 不同于 LDH，往往需要手术治疗解除骨性致压，其手术适应证与 LDH、LSS 相似。手术是否切除骨骺碎片是一个存在争议的问题。多数学者认为应该将离断骨骺和髓核组织全部切除，以彻底

缓解突出物对神经根或硬膜囊的压迫。相反, 也有研究者认为 PARF 引起的症状的根本因素是椎间盘的突出, 在手术过程中必须将椎间盘取出, 从而消除 LDH 的病因, 如果离断的骨骺碎片没有对椎管内容物造成器质性的压迫或狭窄, 则不需要完全切除。

传统的脊柱开放手术如腰椎融合术、全椎板切除术、半椎板切除术和经椎板间隙扩大开窗减压术等手术方式, 临床疗效确切, 但创伤大、出血多, 对脊柱结构产生不可逆的破坏, 潜在脊柱失稳风险大, 增加邻椎退变等缺点同样显著[27]。近年来兴起的经皮脊柱内镜下椎间盘摘除术(PELD)是治疗腰椎 PARF 的成熟微创方式, Li R 等[27]研究发现在手术过程中, 当术者尝试完全切除骨块时, 神经根容易受到过度牵拉; 并且使用常规的髓核钳很难去除坚硬的骨块, 不得不使用环锯、磨钻、骨刀手术器械, 很大程度上增加了神经根损伤的可能性; 此外, 在骨块切除的过程中, 切开的骨块边缘锋利, 同样容易割伤神经根。因此, 该研究认为手术的主要目的是对神经根进行充分的减压, 并不总是需要切除离断的骨骺。如果骨块稳定、不造成压迫, 应避免完全切除, 防止因手术造成神经根损伤和症状加重。应根据致压物的位置结合 Akhaddar 分型[8]来设计手术方案, 如果致压物主要位于靠近中线的外侧隐窝内, 则采用椎板间入路。在切除影响神经根的部分致压物并保证神经根充分减压后, 确定残余骨量的稳定性后, 再切除 I 型 PARF 骨碎片, 而 II 型 PRAF 游离的骨碎片默认必须切除。虽然 PARF 主要原因是椎间盘突出压迫神经, 但 A 型出现典型症状时, 建议进行完全切除。B 型在充分减压和保证骨碎片稳定性后, 不需要过度切除骨量。有必要尽可能多地保留后椎体和未破裂的椎间盘, 特别是在要求腰椎活动度的青少年人群中。Shuo Yuan [28]等对 48 例采用 PETD 治疗的 PARF 患者开展回顾性研究, 发现 48 例患者中有 85.4% 的患者结局良好或极佳, 35 名患者(72.9%)在术后 2 个月内恢复工作。2021 年王雯等[29]结合 Akhaddar 分型[8]和华西分型[27]对 51 例 PRAF 患者开展 PELD, 采用创新方法, 对于 IA 型磨除患侧致压的骨块, 尽量保留椎间盘纤维环的完整性; IB 型仅摘除突出的髓核, 保留或小部分打磨锋利骨块的边缘。II 型则全部摘除骨块及椎间盘。根据 CT 水平位: 骨块位于 2、3 区, 选择患侧椎间孔入路; 骨块位于 1 区, 选择患侧椎板间入路; 当 L4/L5 及以上节段离断骨块或椎间盘位于混合区, 则采用就近原则选择入路。L5/S1 节段统一使用患侧椎板间入路。该方法根据骨块在 CT 水平位上的位置就近选择最适当的入路, 在保证安全的前提下将微创性做到了最好, 并且严格分型, 最大限度保留椎体后缘或椎间盘原本的结构, 最终的临床疗效相当可观。2019 年, 吴志强[28]等采用新的分型方法, 术中确认椎体后缘离断骨块的位置及其与硬膜囊、神经根致压的关系即选择性摘除解压, 不纠结离断骨块与椎间盘的关系, 也能够顺利开展手术。还有学者[30] [31]更加细致的对比了 PETD 与 PEID 两种入路下采用往复磨钻治疗腰椎 PARF 的临床疗效, 均得出了 PELD 是安全有效的微创方法这一结论。综合文献, PELD 具有如下优点: ① 较其它脊柱手术可采用局部麻醉, 为术中医患沟通创造了条件, 且切口小, 椎旁肌肉剥离少, 术中出血量少, 最大程度减少对神经根的损伤, 手术安全性相对传统开放手术更高; ② 手术全程在生理盐水介质下操作, 术中视野清晰, 对脊柱正常结构的损伤最小, 完全保留了中、后柱结构, 不影响脊柱的稳定性, 减少了腰椎滑脱、腰痛等术后并发症的发生, 能够最大程度保留术后腰椎的活动度; ③ 短期疗效可靠, 恢复时间更少, 患者可以在术后第一天佩戴腰椎支具下床, 第二天出院, 术后 1 个月即可恢复正常工作和生活。这种手术可以减轻患者所经历的疼痛, 降低住院费用。但本文检索文献都认为经验不足的外科医生需要花费更多的时间来学习 PELD, 同时本文检索到的有关 PELD 治疗 PARF 的文献多为短期疗效研究, 缺乏大样本多中心的研究, 具体的长期疗效仍需进一步考证。

实现满意的椎管减压是一个具有挑战性的过程, 尽管 PELD 技术优势明显, 但工作通道与观察通道合为一体, 器械能够操作的空间有限。并且术前术者对于关节突、椎弓根、椎体后缘的阻挡需要反复测量权衡, 特别是 L5/S1 节段高位髂嵴的阻塞, 使得经皮脊柱内镜椎间孔入路椎间盘摘除术(PETD)难以精确定向置管操作。2016 年 Choi 等[32]提出的单侧双通道内镜(UBE)技术利用两个不同的通道完成椎管减

压。观察通道使用关节镜来暴露手术视野, 同样采用生理盐水持续冲洗以保持视野清晰, 手术器械则通过工作通道于后椎板间入路进行椎管内的减压, 这传统的后路椎板间开窗手术相似。该技术的优点如下: ① 两个经皮通道相互分离, 互相配合, 互不干扰。没有单操作套筒的限制, 内窥镜和手术器械均可以在更大的空间内自由移动, 整个手术方便灵活。对椎管的各个方向和部分均可进行探查。该技术既能达到微创脊柱手术的目的, 又能获得接近开放手术的类似减压效果, 是对现有内窥镜技术的补充[33]。② UBE 在关节镜直视下进行, 减少了神经损伤、硬膜囊损伤等并发症的发生。该技术可以使用普通的脊柱器械, 并通过工作通道自由移动。③ 由于骨碎片的柔韧性不如椎间盘, 因此安全取出具有很大的挑战性和技术操作性, UBE 技术使用关节镜作为内窥镜, 30°活动的内窥镜镜头可以很容易地观察到对侧椎板下的结构, 与其他内镜技术相比 UBE 的减压更充分更容易。④ 一旦外科医生熟悉了 UBE 术前的三角测量技术[34], UBE 技术的学习曲线相较于 MED 与 PELD 更容易, 对腰椎 PRAF 具有独特的优势。Liu J 等[34]认为术前确定后缘的大小、位置和类型以及椎体后骨碎片是否切除是腰椎 PARF 治疗的重点和难点。在进行减压和椎间盘切除术时, 同样遵循 Akhaddar 分型[8], II 型 PARF 完全摘除骨块, I 型 PRAF 如果骨块不参与致压则无需摘除, 仅摘除椎间盘, 反之则全部摘除。但 UBE 技术同样存在缺点, 术前外科医生需要接受跨学科的基础关节镜三角测量技术的培训, 才能在术中熟练操作。Qian J 等[35]对比了 UBE (15 例)或 PELD (26 例)PRAF 患者术后疗效, 发现 UBE 组患者术中出血量更多, 平均手术时间和术后住院时间更长, 该研究认为这是因为 UBE 需要切开部分椎板, 这可能导致松质骨出血, 这与其他研究[36][37]结果一致。笔者认为对于腰椎 PARF 的治疗, UBE 技术可能比 PELD 技术更具侵入性。

7. 总结与展望

PARF 常合并 LDH 或 LSS, 是一类是好发于青少年脊柱疾患, 表现为椎体后缘骨骺或骨块分离压迫硬膜囊或神经根。其发病原因和机制目前的主流观点均与骨骺软骨病变及椎体骺环力学改变有关。该病临床表现与 LDH、LSS 相似, 主要表现为腰腿痛或麻木, 并无特异性症状, 需要进行 DR、CT、MRI 等影像学检查明确诊断, 尤其要与钙化型 LDH 鉴别。腰椎 PARF 的病理分型学说较多, 暂无统一认可的标准, 王雯[29]等采用 Akhaddar 分型[8]和华西分型[27]相结合的方法来开展手术治疗, 既考虑到了离断物的致压性质, 也更加立体地界定手术区域, 笔者认为该种病理分型方法更加值得认可和推广, 但业界还需要进行解剖学、病理学等多中心, 多数据支持的前瞻性、回顾性系统研究进一步完善腰椎 PARF 的病理或影像学分型。对于腰椎 PARF 的微创治疗, 摘除突出的椎间盘组织得到了广泛认可, 但对于骨块的处理则更加复杂: 1. 需要综合离断骨块、骨骺是否致压、压迫程度、对脊柱稳定性的影响等多种因素进行判断其是否为主要致压因素; 2. 需要综合椎体以及致压骨性结构的稳定性、体积、位置等因素来决定致压物是否全部磨除; 3. 根据致压骨性结构所在节段、椎管内的位置、解剖特点来决定最终的手术入路。综合文献, PELD 与 UBE 治疗腰椎 PARF 均取得了不错的短期疗效, 尽管其长期疗效有待进一步随访研究, 但是 PELD 与 UBE 为腰椎 PARF 的手术治疗提供了微创化、精准化的崭新理念, 值得业界进一步推广与完善: 1. 腰椎 PARF 还需要对其病因及发病机制进一步探索, 其病理或影像学分型需要多中心、大数据的前瞻性、回顾性研究及流行病学研究来丰富完善; 2. 无论是 PELD、UBE、MED 技术, 手术入路、手术方式均需要规范的手术流程、手术器械、术中摘除骨块统一方式的建立; 3. 镜下手术的中远期疗效还需要长期的、大样本的随访调查研究。

参考文献

- [1] Tan, E. (2016) The Debate on Treating Subclinical Hypothyroidism. *Singapore Medical Journal*, 57, 539-545. <https://doi.org/10.11622/smedj.2016165>

- [2] Bae, J., Rhee, W., Kim, W., Ha, S., Lim, J. and Jang, I. (2013) Clinical and Radiologic Analysis of Posterior Apophyseal Ring Separation Associated with Lumbar Disc Herniation. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, **53**, 145-149. <https://doi.org/10.3340/jkns.2013.53.3.145>
- [3] Okada, M., Yoshida, M., Minamide, A., Nomura, K., Maio, K. and Yamada, H. (2020) Microendoscope-Assisted Decompression Surgery with Resection of Bony Fragment for Treating a Separation of Lumbar Posterior Ring Apophysis in Young Athletes. *Global Spine Journal*, **11**, 889-895. <https://doi.org/10.1177/2192568220929290>
- [4] Sairyo, K., Goel, V.K., Masuda, A., Vishnubhotla, S., Faizan, A., Biyani, A., et al. (2006) Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Pediatric Lumbar Spine. Part II: Biomechanical Change as the Initiating Factor for Pediatric Isthmic Spondylolisthesis at the Growth Plate. *European Spine Journal*, **15**, 930-935. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-1033-0>
- [5] Faizan, A., Sairyo, K., Goel, V.K., Biyani, A. and Ebraheim, N. (2007) Biomechanical Rationale of Ossification of the Secondary Ossification Center on Apophyseal Bony Ring Fracture: A Biomechanical Study. *Clinical Biomechanics*, **22**, 1063-1067. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.04.012>
- [6] Huang, L., Li, Y., Wang, Y., Xiao, Q. and Deng, S. (2024) Analysis of Spinal-Pelvic Sagittal Plane Parameters in Patients with Lumbar Vertebral Posterior Ring Apophysis Separation. *World Neurosurgery*, **189**, e573-e579. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.06.113>
- [7] 孔庆奎, 吴珂, 崔群生, 等. 腰椎间盘突出并椎体后缘离断症[J]. 中华骨科杂志, 2002, 22(1): 14-16.
- [8] Akhaddar, A., Belfquih, H., Oukabli, M. and Boucetta, M. (2011) Posterior Ring Apophysis Separation Combined with Lumbar Disc Herniation in Adults: A 10-Year Experience in the Surgical Management of 87 Cases. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **14**, 475-483. <https://doi.org/10.3171/2010.11.spine10392>
- [9] Laredo, J., Bard, M., Chretien, J. and Kahn, M. (1986) Lumbar Posterior Marginal Intra-Osseous Cartilaginous Node. *Skeletal Radiology*, **15**, 201-208. <https://doi.org/10.1007/bf00354061>
- [10] Kaiser, M.C., Capesius, P., Veiga-Pires, J.A. and Sandt, G. (1984) A Sign of Lumbar Disk Herniation Recognizable on Lateral CT Generated Digital Radiograms. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **8**, 1066-1071. <https://doi.org/10.1097/00004728-198412000-00005>
- [11] Peng, B., Wu, W., Hou, S., Shang, W., Wang, X. and Yang, Y. (2003) The Pathogenesis of Schmorl's Nodes. *The Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume)*, **85**, 879-882. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.85b6.13555>
- [12] Kyere, K.A., Than, K.D., Wang, A.C., Rahman, S.U., Valdivia-Valdivia, J.M., La Marca, F., et al. (2012) Schmorl's Nodes. *European Spine Journal*, **21**, 2115-2121. <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2325-9>
- [13] Ikata, T., Morita, T., Katoh, S., Tachibana, K. and Maoka, H. (1995) Lesions of the Lumbar Posterior End Plate in Children and Adolescents. an MRI Study. *The Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume)*, **77**, 951-955. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.77b6.7593113>
- [14] 张宇, 孙振辉, 夏英鹏, 等. 腰椎椎体后缘软骨骨病的临床特点与手术治疗[J]. 中国矫形外科杂志, 2009, 17(5): 336-340.
- [15] Chang, C., Lee, Z., Chen, W., Tan, C. and Chen, L. (2008) Clinical Significance of Ring Apophysis Fracture in Adolescent Lumbar Disc Herniation. *Spine*, **33**, 1750-1754. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e31817d1d12>
- [16] 丁龙, 张远鸿, 黄祥辉, 等. 椎体形态改变在影像诊断中的价值分析[J]. 中国医学工程, 2021, 29(4): 46-51.
- [17] 马天赐, 郭杨, 任帅, 等. 影像组学在椎体骨折诊疗中的应用[J]. 磁共振成像, 2024, 15(10): 228-233.
- [18] Inoue, T., Inokuchi, A., Izumi, T., Imamura, R., Hamada, T., Nakamura, K., et al. (2023) Co-Existence of Lumbar Disc Herniation and Posterior Ring Apophyseal Fracture: It Is Not Rare and Computed Tomography Is Useful. *Cureus*, **15**, e35475. <https://doi.org/10.7759/cureus.35475>
- [19] Morimoto, T., Kobayashi, T., Hirata, H., Sugita, K., Paholpak, P., Tsukamoto, M., et al. (2024) Thick Skin on the Dorsal Spine in Osteoproliferative Disease: Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament and Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis. *Cureus*, **16**, e62235. <https://doi.org/10.7759/cureus.62235>
- [20] Wu, H., Zheng, S., He, D. and Cheng, X. (2022) Percutaneous Endoscopic Interlaminar Discectomy for Posterior Ring Apophyseal Fracture Accompanied with Lumbar Disc Herniation in a 12-Year Pediatric Diver: A Case Report. *Child's Nervous System*, **39**, 275-278. <https://doi.org/10.1007/s00381-022-05605-5>
- [21] Takata, K., Inoue, S., Takahashi, K. and Ohtsuka, Y. (1988) Fracture of the Posterior Margin of a Lumbar Vertebral Body. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **70**, 589-594. <https://doi.org/10.2106/00004623-198870040-00016>
- [22] Epstein, N.E. and Epstein, J.A. (1991) Limbus Lumbar Vertebral Fractures in 27 Adolescents and Adults. *Spine*, **16**, 962-966. <https://doi.org/10.1097/00007632-199108000-00017>
- [23] 杨建荣, 林坚, 毛小明. 椎体软骨破裂症与椎体后缘软骨结节的 CT 诊断价值[J]. 医学影像学杂志, 2006, 16(1): 66-68.

- [24] 蒋位庄, 周卫, 张禄堂, 等. 椎间盘源性腰腿痛诊治规范化研究[J]. 中国骨伤, 2004, 17(11): 643-646.
- [25] Wang, Y., Dou, Q., Yang, J., Zhang, L., Yan, Y., Peng, Z., *et al.* (2018) Percutaneous Endoscopic Lumbar Decompression for Lumbar Lateral Spinal Canal Stenosis: Classification of Lateral Region of Lumbar Spinal Canal and Surgical Approaches. *World Neurosurgery*, **119**, e276-e283. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.07.133>
- [26] 吴志强, 刘联群, 刘春华, 等. 经皮椎间孔镜下选择性减压手术治疗腰椎椎体后缘离断症[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2019, 34(9): 957-959.
- [27] Li, R., Zhou, H., Han, H., Fu, D., Zhan, Z. and Meng, B. (2023) Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy as a Treatment for Lumbar Disc Herniation Linked with Posterior Ring Apophysis Separation. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 1072444. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1072444>
- [28] Yuan, S., Wu, Q., Zang, L., Fan, N., Du, P., Wang, A., *et al.* (2022) Posterior Apophyseal Ring Fracture in Adult Lumbar Disc Herniation: An 8-Year Experience in Minimally Invasive Surgical Management of 48 Cases. *Neurospine*, **19**, 586-593. <https://doi.org/10.14245/ns.2244346.173>
- [29] 王雯, 李越, 楚福明, 等. 椎体后缘离断临床形态分型在内镜治疗腰椎椎体后缘离断症的应用[J]. 四川医学, 2021, 42(12): 1185-1189.
- [30] 王滕羽, 蒲俊刚, 王颖博, 等. 两种入路脊柱内镜下磨钻治疗腰椎椎体后缘离断症[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(20): 1842-1847.
- [31] 黄钊锋, 余丽平, 林龙泉, 等. 经皮椎间孔镜辅助下治疗腰椎间盘突出症伴椎体后缘离断的近期疗效[J]. 武警医学, 2023, 34(5): 417-420.
- [32] Choi, C.M., Chung, J.T., Lee, S.J. and Choi, D.J. (2016) How I Do It? Biportal Endoscopic Spinal Surgery (BESS) for Treatment of Lumbar Spinal Stenosis. *Acta Neurochirurgica*, **158**, 459-463. <https://doi.org/10.1007/s00701-015-2670-7>
- [33] Park, S., Park, J., Jang, H.S., Heo, Y.W., Han, H., Kim, H., *et al.* (2020) Biportal Endoscopic versus Microscopic Lumbar Decompressive Laminectomy in Patients with Spinal Stenosis: A Randomized Controlled Trial. *The Spine Journal*, **20**, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.09.015>
- [34] Liu, J., Zhu, B., Chen, L., Jing, J. and Tian, D. (2022) Clinical Effects of Unilateral Biportal Endoscopic Decompression for Lumbar Posterior Apophyseal Ring Separation. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 948417. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.948417>
- [35] Qian, J., Lv, X., Luo, Y., Liu, Y. and Jiang, W. (2025) Unilateral Biportal Endoscopic Discectomy versus Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy in the Treatment of Lumbar Disc Herniation Linked with Posterior Ring Apophysis Separation: A Retrospective Study. *World Neurosurgery*, **193**, 957-963. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.09.102>
- [36] Ao, S., Zheng, W., Wu, J., Tang, Y., Zhang, C., Zhou, Y., *et al.* (2020) Comparison of Preliminary Clinical Outcomes between Percutaneous Endoscopic and Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Degenerative Diseases in a Tertiary Hospital: Is Percutaneous Endoscopic Procedure Superior to MIS-TLIF? A Prospective Cohort Study. *International Journal of Surgery*, **76**, 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.02.043>
- [37] 段黄强, 花奔, 汤文杰, 等. 单侧双通道内镜技术治疗腰椎椎体后缘离断症的临床疗效[J]. 骨科, 2023, 14(4): 316-320.