

· 综述 ·

开放获取

胸腰椎屈曲牵张型损伤的研究进展[△]

张国权¹, 黄亮亮^{2*}, 周旭³, 李方¹

(1. 湖北医药学院研究生院, 湖北十堰 442000; 2. 中部战区总医院骨科, 湖北武汉 430070; 3. 南方医科大学第一临床医学院, 广东广州 510515)

摘要: 屈曲牵张型损伤 (flexion distraction injury, FDI) 为脊柱三柱损伤, 好发于胸腰椎, 特点为棘突或后方韧带复合体 (posterior ligamentous complex, PLC) 损伤, 可伴有椎体压缩骨折或爆裂骨折, Chance 骨折仅为 FDI 的一个亚型。在临床中, 可能更关注显而易见的椎体骨折及神经压迫, 而对胸腰椎屈曲牵张型损伤 (thoracolumbar flexion distraction injury, TLFDI) 认识不足, 容易漏诊误诊, 阻碍了临床治疗方案的选择。不当的治疗方案会导致脊柱不稳以及神经功能恶化等。本文旨在对目前 TLFDI 的损伤机制、临床分型、诊断方法、治疗方案选择及是否去除内固定的相关研究进展进行综述, 以期加强临床医生对此类损伤的认识, 为 TLFDI 临床治疗提供参考。

关键词: 屈曲牵张型损伤, 胸腰椎骨折, 研究进展, 综述

中图分类号: R681.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2025) 05-0436-06

Research progress in thoracolumbar flexion-distraction injury // ZHANG Guo-quan¹, HUANG Liang-liang², ZHOU Xu³, LI Fang¹. 1. Postgraduate School, Hubei University of Medical, Shiyan 442000, Hubei, China; 2. Orthopaedic Department, General Hospital, PLA Central Theater Command, Wuhan 430070, Hubei, China; 3. The First School of Clinical Medicine, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong, China

Abstract: The flexion-distraction injury (FDI) is a three-column spinal injury commonly occurring in the thoracolumbar region, characterized by damage to the spinous process or the posterior ligamentous complex (PLC). It is often accompanied by vertebral compression fractures or burst fractures, while Chance fractures represent only one subtype of FDI. In clinical setting, the attention is often given to the more apparent vertebral fractures and neural compression, while understanding to thoracolumbar flexion-distraction injuries (TLFDI) remains inadequate, which usually leads to misdiagnosis and missed diagnosis, and hampers appropriate selection of treatment plans. Improper treatment strategies can result in spinal instability and worsening of neurological function. This article aims to review the current progress in the injury mechanism, clinical classification, diagnostic methods, treatment options, and the debate on whether to remove internal fixation for TLFDI, to enhance clinicians' understanding of these injuries and provide a reference for clinical decision-making in TLFDI management.

Key words: flexion-distraction injury, thoracolumbar fracture, research progress, review

胸腰椎屈曲牵张型损伤 (thoracolumbar flexion distraction injury, TLFDI) 是一种特殊类型的胸腰椎骨折, 占胸腰椎骨折的 1%~16%, 好发于交通事故或高处跌落等高能量创伤。对于屈曲牵张型损伤 (flexion distraction injury, FDI), 脊柱后柱受到牵张外力导致后方张力带结构断裂而前柱和中柱则可能受到牵张力或压缩力出现骨折, 致脊柱三柱损伤、脊柱不稳^[1-3]。Chance 骨折为最经典并广泛认识的 FDI, 但对于存在后方韧带复合体 (posterior ligamentous complex, PLC) 损伤的 TLFDI 认识不足, 容易导致漏诊误诊, 影响临

床治疗方式的选择。且 TLFDI 常引起三柱损伤, 如治疗不当会导致脊柱不稳、引起腰背部疼痛, 甚至神经功能恶化、肢体感觉及运动障碍等一系列并发症, 严重影响生活质量, 因此其治疗一直受到高度关注^[1, 3-7]。本文旨在对 TLFDI 的损伤机制、临床分型、诊断方法、治疗方案选择及是否去除内固定的相关研究进展进行综述, 以期加强临床医生对此类损伤的认识, 为 TLFDI 临床治疗决策提供参考。

1 损伤机制

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110376

[△]基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (编号: 81902213); 湖北省卫生健康委青年人才项目 (编号: WJ2021Q054)

作者简介: 张国权, 硕士研究生在读, 研究方向: 脊柱外科, (电子信箱) 13886642692@139.com

* 通信作者: 黄亮亮, (电子信箱) hll666789@163.com

FDI 起初被称作安全带损伤，多发生于高速行驶的汽车因突然撞击而急剧减速，安全带上部躯体因惯性继续向前高速屈曲，导致脊柱后柱受到牵张力而引起^[8]。高处跌落也是导致 TLFDI 的主要原因之一。Hoshikawa 等^[9]的体外实验显示，当胸腰椎受到单纯压缩力时，也可以造成 TLFDI。即躯体从高处跌落，胸腰椎屈曲程度较小时，运动轴位于椎体后方，形成伴爆裂骨折的 TLFDI。当胸腰椎屈曲程度增大，运动轴位于椎体内时形成伴有前柱压缩的 TLFDI。随着屈曲程度继续增大，运动轴移出椎体位于椎体前方时，整个椎体受到牵张力，形成 Chance 骨折。TLFDI 区别于普通压缩或爆裂骨折的特点为后柱的骨或韧带损伤。相较于骨，韧带的抗张力性更强，这导致了在韧带损伤时常合并有骨性损伤，而单纯的韧带损伤较少见^[10]。

2 临床分型

目前使用最广泛的分型为 Denis 分型和 AO 分型。Denis^[11]于 1983 年提出了“三柱理论”，将脊柱分为前、中、后三柱，并将 FDI 分为四型：A 型为累及单一节段三柱的骨折，即经典 Chance 骨折；B 型为累及单一节段的韧带型损伤；C 型损伤累及两个节段，累及中柱的骨性结构；D 型损伤经过两个节段，累及中柱的椎间盘及韧带结构。Reinhold 等^[12]于 2013 年提出的 AO 分型，将脊柱骨折分为三型：A 型为压缩骨折或爆裂骨折；B 型为张力带损伤；C 型为骨折-脱位；B 型分为 B1、B2 两个亚型，B1 型为 Chance 骨折，B2 型则累及 PLC，可伴有椎体或棘突等骨损伤，B2 型损伤合并 A 型损伤时，A 型损伤应单独指明。Denis 分型和 AO 分型对脊柱损伤的严重程度做了系统的分类，可以为临床治疗提供参考依据。

3 诊断方法

TLFDI 除存在局部后凸畸形、皮下血肿、局部压痛、叩击痛等与脊柱压缩或爆裂损伤相似的临床体征外，在触诊时还可触及棘突损伤或棘突间距增加。TLFDI 的影像学检查包括：X 线片、CT、MRI（图 1）。X 线片和 CT 可以呈现出骨损伤的情况，但无法直接观察软组织，仅能间接推断 PLC 损伤情况，例如棘突间距增加、棘突上缘或下缘撕脱等^[13]。Hartmann 等^[14]的研究显示，借助 CT 或 X 线片检查，诊

断 PLC 损伤的误诊率达 43.8%。MRI 作为诊断 PLC 损伤的“金标准”，也存在一定的局限性。Vaccaro 等^[15]的研究显示，MRI 诊断 PLC 损伤的灵敏度为 79%~90%，特异度为 53%~65%。Rihn 等^[16]的研究显示，尽管 MRI 在诊断方面具有高度灵敏度，但其阳性预测值较低，这可能导致增加不必要的手术。仅依赖单一方式进行诊断可能存在风险，条件允许的情况下应结合体格检查和多种影像学检测来提高诊断的准确性，确保患者能够获得更为准确有效的治疗方案。

4 治疗方案选择

TLFDI 的治疗方式主要取决于骨韧带损伤状态及是否伴有神经损伤^[17, 18]。AO 分型和 Denis 分型虽然对 FDI 进行了系统的分类，但二者局限性在于主要关注骨的损伤类型，对软组织损伤和神经状态关注不够。Lee^[19]于 2005 年提出的 TLICS 评分根据骨折的形态、PLC 的完整性以及神经损伤程度 3 个方面评估以指导治疗方式的选择，建议≤3 分者行保守治疗，≥5 分者行手术治疗，4 分者则根据实际情况选择是否手术，为临床治疗方案的选择提供了依据。

4.1 保守治疗

Chance 骨折为骨性损伤，累及棘突但 PLC 完好，骨折形态稳定，骨组织具有良好的愈合能力，可以保守治疗^[5]。但是，如果存在未被发现的 PLC 损伤，则可能出现胸腰椎后凸畸形角度进行性增加和神经功能恶化^[8, 20]。所以，在保守治疗时应密切随访，以预防相关并发症的发生。

4.2 手术治疗

Chance 骨折可以保守治疗，但患者常因无法忍受长期卧床和佩戴硬质外固定支具，而选择手术治疗。PLC 的作用是限制脊柱过度屈曲和轴向旋转，维持脊柱稳定并减少椎间盘的轴向载荷，PLC 损伤将会导致脊柱不稳^[5]。并且，胸腰椎 PLC 损伤的愈合能力较差，如果行保守治疗可能无法自然愈合，会导致严重的进行性后凸畸形并继发神经损伤^[2, 5, 20, 21]。此外，对于合并神经损伤的 TLFDI，须通过手术解除神经压迫。因此，手术治疗的目的是解除神经压迫、重建脊柱稳定，恢复脊柱后凸畸形，维持脊柱后方张力带结构。

4.2.1 开放融合手术

开放融合手术是 TLFDI 一种经典传统的手术方式。术中可以直视下对神经进行减压，对骨折进行复

位, 并通过植骨对损伤节段进行融合。Tezer 等^[22]对 48 例伴有 PLC 损伤的胸腰椎爆裂骨折进行开放融合手术, 并对有神经损伤的患者进行后路椎板切除减压, 实现了牢固的内固定, 预后良好。植骨融合术在损伤的椎体周围填充骨组织, 有利于重建后方张力带结构、稳定脊柱、矫正及阻止局部后凸畸形。然而, 植骨融合术的手术时间长、术中出血量大, 还会对手术节段的解剖结构造成不可逆的损伤。Ortiz 等^[23]的

研究表明, 植骨融合可能会导致融合节段邻近椎间盘承受更大的应力, 而发生椎间盘退行性变。植骨融合使得固定节段运动功能彻底丧失, 这会导致运动时本应由固定节段承受的应力转由其他节段承担, 加重了邻近椎间盘的负担, 易导致相邻椎间盘病变^[24]。为了避免相邻椎间盘病变等不良反应, 尤其是对于年轻的患者而言, 是否进行植骨融合术应进行谨慎的术前评估。



图 1. PLC 损伤累及 T₁₂L₁ 黄韧带、棘间韧带、棘上韧带, 伴有 L₁ 爆裂性骨折, 并伴有椎管内占位。1a: 侧位 X 线片显示椎体骨折后凸畸形 (粗箭头); 伴棘突间隙明显大于上下相邻棘突间隙, 提示该处 PLC 损伤 (长箭头); 1b: CT 显示出累及椎体前柱和中柱的爆裂骨折, 骨折碎片向椎管内凸出 (箭头所示); 1c: MRI 显示软组织损伤, 包括黄韧带、棘间韧带、棘上韧带连续性中断 (粗短箭头), 椎体上终板损伤, 碎骨块向椎管内凸出 (细箭头)。

Figure 1. The PLC injury involves the T₁₂L₁ ligamentum flavum, interspinous ligament, and supraspinous ligament, accompanied by an L₁ burst fracture and anspinal canal occupied. 1a: Lateral X-ray reveals vertebral body fracture with significant kyphotic deformity (the broad arrow), and widened interspinous space compared to adjacent interspinous spaces, suggesting PLC injury (the long arrow); 1b: CT shows burst fracture involving the anterior and middle columns, with bone fragments protruding into the spinal canal (the arrow); 1c: MRI presents soft tissue injuries, including ligamentum flavum, interspinous ligament, and supraspinous ligament ruptures (the thick arrow), and endplate damage with bone fragments protruding into the spinal canal (the thin arrow).

4.2.2 开放非融合手术

随着材料学的发展, 内固定装置有了更出色的韧性和抗应力强度, 单纯后路内固定治疗 TLFDI 成为可能。不进行植骨融合, 手术节段运动功能未受到不可逆的破坏, 有望恢复, 邻近椎间盘病变的风险降低^[3, 25]。近年的研究表明, 不进行植骨融合, 单独后路椎弓根内固定即可维持 TLFDI 的稳定^[26]。Bizdikian 等^[5]研究认为, 对于 TLFDI 的治疗, 即使进行椎板切除减压, 单纯后路椎弓根螺钉内固定也能提供足够稳定, 仅对伴有神经损伤的过伸损伤或骨折-脱位需要进行植骨融合。孙乐乐等^[26]对 43 例 TLFDI 的患者进行开放非融合手术, 对椎管内有压迫并伴有神经症状的病例进行椎管减压, 经过 13~23 个月随访, 所有病例局部后凸角、伤椎前缘高度比均显著改善; 有神经损伤的病例经过椎管内减压,

神经功能也显著恢复。因此, 开放非融合手术更多应用于有椎管内占位并出现神经症状, 但不存在过伸损伤或骨折-脱位的 PLC 损伤病例。由于开放手术软组织剥离过多会导致术后肌肉缺血和神经支配缺失, 从而引发疼痛及肌肉萎缩, 对损伤节段的恢复不利^[27]。对于无神经症状的 TLFDI 患者行非融合手术, 在有经皮微创椎弓根螺钉内固定术 (percutaneous minimally invasive pedicle screw fixation, PMPSF) 的条件下, 目前更倾向于选择 PMPSF。

4.2.3 经皮微创椎弓根螺钉内固定术

微创技术致力于达到与开放手术相似治疗效果的同时, 减少患者的创伤。相比开放手术, PMPSF 手术时间短、术中出血量少、椎旁软组织剥离少、降低了 PLC 二次破坏风险, 有利于手术节段的恢复^[3, 28, 29]。此前, PMPSF 用于治疗创伤性胸腰椎爆

裂性骨折的疗效已得到充分证实，在脊柱内固定方面可以达到与开放手术相似的治疗效果，因此，PMPSF 用以治疗 TLFDI 受到广泛关注^[28, 30]。PMPSF 无法直接减压或融合，仅能通过撑开受压椎体，间接促进凸出的碎骨块还纳；因此 PMPSF 仅适用于需要脊柱内固定但神经功能完整，不需要直接减压及融合的 TLFDI 患者。Grossbach 等^[20]的前瞻性研究中，将受试者分为微创组和开放融合组，经过平均 9 个月的随访，两组后凸角无显著差异；他们认为：后路内固定足以恢复 TLFDI 稳定性，对于神经功能完整不需要直接减压的 TLFDI，即便伴有 PLC 损伤，PMPSF 仍可作为一种选择。张志成等^[2]将 45 例无神经损伤的 TLFDI，分为微创组和开放融合组，至少 16 个月的随访后，两组后凸角及伤椎前缘高度无显著差异。现有研究表明，PMPSF 应用于无神经损伤的 TLFDI 的治疗，在维持脊柱稳定方面取得了与开放手术相似的疗效。但这些研究大多仅随访 1 年左右，长期随访如去除内固定后节段活动度是否会恢复，节段是否会出现不稳等尚未见报道，还需进一步研究。

5 内固定取出

内固定是否应常规取出，其争议点主要是未植骨融合的患者。目前被广泛接受的取出内固定的适应证包括感染、钉棒移位、松动、断裂等^[31]。未植骨融合的患者取出内固定在解除手术节段运动功能限制的同时，也会使得手术节段失去内固定的保护，可能导致胸腰椎不稳、复发性后凸畸形等^[31-35]。而植骨融合患者的手术节段已经形成不可逆的解剖结构改变，即便取出内固定也不能使手术节段运动功能恢复^[32]。

PLC 损伤将会导致其限制胸腰椎过度屈伸的功能缺失，而相比于骨，PLC 损伤愈合能力更差，存在延迟愈合或不愈合的风险，TLFDI 骨性愈合后便取出内固定，易引起胸腰椎不稳，需要引起特别重视^[3, 5]。Grossbach^[20]等认为，PLC 损伤愈合能力较差，不应常规取出内固定，除非出现钉棒断裂等情况，即使取出内固定也应该至少 1 年后。冯勇等^[6]也建议，PLC 损伤的 TLFDI 内固定取出时间不低于术后 12 个月；他们认为 PLC 愈合能力比骨更差，移除内固定时需要更谨慎的评估。Axelsson 等^[32]的研究中包含 3 例 TLFDI，于初次手术 1.5 年后取出内固定，其中 2 例取得了良好的预后，而 1 例出现了复发性后凸畸形。理论上来说，PLC 损伤需要更长时间的内固定以保证恢复，但过长时间的内固定会使得关节僵硬，影响运

动功能的恢复^[36]。但是，Wu 等^[33]的研究显示，节段活动度随着固定时间的延长逐渐丢失，12 个月内取出内固定节段活动度恢复最好，12~24 个月次之，超过 24 个月节段活动度不再恢复，他们推测节段活动度降低是由于固定节段时间制动引起小关节自发性僵硬所致。Ko 等^[7]对入选的 19 例中的 6 例 AO-B2 型损伤患者行后路开放非融合手术，平均术后 12.2 个月取出内固定，在至少 10 年的随访后与内固定取出后 1 年相比，后凸角及椎体前缘高度比无显著差异，取出手术 1 年时节段活动度为 $(10.4 \pm 3.3)^\circ$ ，末次随访时节段活动度为 $(9.3 \pm 3.3)^\circ$ 。该研究虽然显示出良好的预后，但所示数据为多种脊柱损伤类型的平均随访结果，爆裂骨折等 PLC 未受损的病例会对 TLFDI 病例的随访结果造成干扰。对于内固定取出的报道，目前主要关注胸腰椎爆裂骨折，少数报道关注 TLFDI，病例数较少，且报道结果具有较大争议，无法提供安全可靠的 TLFDI 内固定移除方案。

6 小结

TLFDI 在临床上极易误诊为单纯的压缩骨折或爆裂骨折而导致选择错误的治疗方案。开放融合或非融合手术为传统经典手术方式，但是创伤大、出血多。随着脊柱外科微创技术及内固定器械的发展，对于无神经症状的 TLFDI，PMPSF 具有明显优势，其损伤更小，手术时间更短，近期疗效与开放融合手术相似，但是缺乏长期疗效观察。此外，对于是否常规取出内固定装置，何时取出内固定装置等方面尚未达成共识，仅有少量个案报道，缺乏更多病例长期随访数据。临床医生应加强对 TLFDI 的认识，选择合适治疗方案，以期通过最小的创伤获得最好的临床疗效。此外，PMPSF 在无神经症状的 TLFDI 的应用还需要大量的病例及长期随访结果，尤其对于是否去除内固定及时机选择，还需进一步研究，以指导临床决策。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张国权：课题设计与实施、论文写作、病例图片采集；黄亮亮：课题设计与指导、对研究的实施和论文的写作进行指导并提出批判性意见、获取研究经费、行政和材料支持、支持性贡献；周旭：课题设计与讨论、病例图片采集、文章审阅；李方：课题设计与讨论、病例图片采集、文章审阅

参考文献

- [1] Laghmouche N, Prost S, Farah K, et al. Minimally invasive treatment of thoracolumbar flexion-distraction fracture [J]. *Orthop*

- Traumatol Surg Res, 2019, 105 (2) : 347–350. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.09.023.
- [2] 张志成, 李放, 任大江, 等. 无神经功能障碍胸腰段屈曲牵张型损伤: 经皮与开放椎弓根螺钉固定的比较研究 [J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23 (12) : 1063–1067. DOI: 10.3977/j.issn1005-847820151202.
- Zhang ZC, Li F, Ren DJ, et al. Thoracolumbar flexion–distraction injury without neurological impairment: comparison of percutaneous pedicle screw and open surgery [J]. Orthopedic Journal of China, 2015, 23 (12) : 1063–1067. DOI: 10.3977/j.issn1005-847820151202.
- [3] Chu JK, Rindler RS, Pradilla G, et al. Percutaneous instrumentation without arthrodesis for thoracolumbar flexion–distraction injuries: a review of the literature [J]. Neurosurgery, 2017, 80 (2) : 171–179. DOI: 10.1093/neuros/nyw056.
- [4] Kitamura K, Fukuda K, Takahashi Y, et al. Temporary monosegmental fixation using multiaxial percutaneous pedicle screws for surgical management of bony flexion–distraction Injuries of the thoracolumbar spine: a technical note [J]. Spine Surg Relat Res, 2022, 6 (6) : 711–716. DOI: 10.22603/ssrr.2022-0005.
- [5] Bizdikian AJ, Rachkidi RE. Posterior ligamentous complex injuries of the thoracolumbar spine: importance and surgical implications [J]. Cureus, 2021, 13 (10) : e18774. DOI: 10.7759/cureus.18774.
- [6] 冯勇, 雍浩川, 张晓星, 等. 经皮内固定治疗单纯屈曲–牵张型胸腰椎骨折 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (16) : 1463–1466. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.16.06.
- Feng Y, Yong HC, Zhang XX, et al. Percutaneous pedicle screw fixation for simple flexion–distraction thoracolumbar fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28 (16) : 1463–1466. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.16.06.
- [7] Ko S, Jung S, Song S, et al. Long–term follow–up results in patients with thoracolumbar unstable burst fracture treated with temporary posterior instrumentation without fusion and implant removal surgery follow–up results for at least 10 years [J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99 (16) : e19780. DOI: 10.1097/md.00000000000019780.
- [8] Liu YJ, Chang MC, Wang ST, et al. Flexion–distraction injury of the thoracolumbar spine [J]. Injury, 2003, 34 (12) : 920–923. DOI: 10.1016/s0020-1383(02)00396-0.
- [9] Hoshikawa T, Tanaka Y, Kokubun S, et al. Flexion–distraction injuries in the thoracolumbar spine: an in vitro study of the relation between flexion angle and the motion axis of fracture [J]. J Spinal Disord Tech, 2002, 15 (2) : 139–143. DOI: 10.1097/00024720-200204000-00008.
- [10] Groves CJ, Cassar–Pullicino VN, Tins BJ, et al. Chance–type flexion–distraction injuries in the thoracolumbar spine: MR imaging characteristics [J]. Radiology, 2005, 236 (2) : 601–608. DOI: 10.1148/radiol.2362040281.
- [11] Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1983, 8 (8) : 817–831. DOI: 10.1097/00007632-198311000-00003.
- [12] Reinhold M, Audige L, Schnake KJ, et al. Ao spine injury classification system: a revision proposal for the thoracic and lumbar spine [J]. Eur Spine J, 2013, 22 (10) : 2184–2201. DOI: 10.1007/s00586-013-2738-0.
- [13] Vaccaro AR, Lee JY, Schweitzer KM, et al. Assessment of injury to the posterior ligamentous complex in thoracolumbar spine trauma [J]. Spine J, 2006, 6 (5) : 524–528. DOI: 10.1016/j.spinee.2006.01.017.
- [14] Hartmann F, Nusselt T, Mattyasovszky S, et al. Misdiagnosis of thoracolumbar posterior ligamentous complex injuries and use of radiographic parameter correlations to improve detection accuracy [J]. Asian Spine J, 2019, 13 (1) : 29–34. DOI: 10.31616/asj.2017.0333.
- [15] Vaccaro AR, Rihn JA, Saravanja D, et al. Injury of the posterior ligamentous complex of the thoracolumbar spine a prospective evaluation of the diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34 (23) : E841–E847. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181bd11be.
- [16] Rihn JA, Yang N, Fisher C, et al. Using magnetic resonance imaging to accurately assess injury to the posterior ligamentous complex of the spine: a prospective comparison of the surgeon and radiologist clinical article [J]. J Neurosurg Spine, 2010, 12 (4) : 391–396. DOI: 10.3171/2009.10.Spine08742.
- [17] Morrissey PB, Shafi KA, Wagner SC, et al. Surgical management of thoracolumbar burst fractures surgical decision–making using the ao spine thoracolumbar injury classification score and thoracolumbar injury classification and severity score [J]. Clin Spine Surg, 2021, 34 (1) : 4–13. DOI: 10.1097/bsd.0000000000001038.
- [18] Lopez AJ, Scheer JK, Smith ZA, et al. Management of flexion distraction injuries to the thoracolumbar spine [J]. J Clin Neurosci, 2015, 22 (12) : 1853–1856. DOI: 10.1016/j.jocn.2015.03.062.
- [19] Lee JY, Vaccaro AR, Lim MR, et al. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma [J]. J Orthop Sci, 2005, 10 (6) : 671–675. DOI: 10.1007/s00776-005-0956-y.
- [20] Grossbach AJ, Dahdaleh NS, Abel TJ, et al. Flexion–distraction injuries of the thoracolumbar spine: open fusion versus percutaneous pedicle screw fixation [J]. Neurosurg Focus, 2013, 35 (2) : E2. DOI: 10.3171/2013.6.Focus13176.
- [21] Wu CC, Jin HM, Yan YZ, et al. Biomechanical role of the thoracolumbar ligaments of the posterior ligamentous complex. a finite element study [J]. World Neurosurg, 2018, 112 : E125–E133. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.12.171.
- [22] Tezer M, Ozturk C, Aydogan M, et al. Surgical outcome of thoracolumbar burst fractures with flexion–distraction injury of the posterior elements [J]. Int Orthop, 2005, 29 (6) : 347–350. DOI: 10.1007/s00264-005-0005-7.
- [23] Ortiz AO, de Moura A, Johnson BA. Postsurgical spine: techniques, expected imaging findings, and complications [J]. Semin

- Ultrasound CT MR, 2018, 39 (6) : 630-650. DOI: 10.1053/j.sult.2018.10.017.
- [24] 李东儒, 杨涛, 高旭, 等. 腰椎融合后邻近节段退变的研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (13) : 1198-1202. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.13.09.
- Li DR, Yang T, Gao X, et al. Research progress in adjacent segment degeneration secondary to lumbar fusion [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31 (13) : 1198-1202. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.13.09.
- [25] Diniz JM, Botelho RV. Is fusion necessary for thoracolumbar burst fracture treated with spinal fixation? a systematic review and meta-analysis [J]. J Neurosurg Spine, 2017, 27 (5) : 584-592. DOI: 10.3171/2017.1.Spine161014.
- [26] 孙乐乐, 梁成民, 尹稳, 等. 经伤椎与跨伤椎 6 钉固定屈曲牵张型胸腰椎骨折 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (6) : 481-486. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.06.01.
- Sun LL, Liang CM, Yin W, et al. Three-pair pedicle screws with or without placement in the injured vertebrae for flexion-distraction thoracolumbar fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31 (6) : 481-486. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.06.01.
- [27] 彭永利, 崔浩杰, 尹向超, 等. 经皮椎弓根螺钉内固定恢复胸腰椎爆裂骨折椎管形态的效果 [J]. 临床骨科杂志, 2022, 25 (1) : 7-11. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2022.01.002.
- Peng YL, Cui HJ, Yin XC, et al. The effect of percutaneous pedicle screw internal fixation in the restoration of spinal canal morphology of thoracolumbar burst fractures [J]. Journal of Clinical Orthopaedics, 2022, 25 (1) : 7-11. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2022.01.002.
- [28] Camacho JE, Usmani MF, Strickland AR, et al. The use of minimally invasive surgery in spine trauma: a review of concepts [J]. J Spine Surg, 2019, 5 (Suppl 1) : S91-S100. DOI: 10.21037/jss.2019.04.13.
- [29] Bhagawati D, Bhagawati DD. Minimally invasive spinal surgery for trauma: a narrative review [J]. J Spine Surg, 2018, 4 (1) : 138-141. DOI: 10.21037/jss.2018.01.02.
- [30] Rosenthal BD, Boody BS, Jenkins TJ, et al. Thoracolumbar burst fractures [J]. Clin Spine Surg, 2018, 31 (4) : 143-151. DOI: 10.1097/bsd.0000000000000634.
- [31] Wang X, Wu XD, Zhang YB, et al. The necessity of implant removal after fixation of thoracolumbar burst fractures—a systematic review [J]. J Clin Med, 2023, 12 (6) : 2213. DOI: 10.3390/jcm12062213.
- [32] Axelsson P, Stromqvist B. Can implant removal restore mobility after fracture of the thoracolumbar segment? A radiostereometric study [J]. Acta Orthop, 2016, 87 (5) : 511-515. DOI: 10.1080/17453674.2016.1197531.
- [33] Wu J, Zhu J, Wang Z, et al. Outcomes in thoracolumbar and lumbar traumatic fractures: does restoration of unfused segmental mobility correlated to implant removal time [J]. World Neurosurg, 2022, 157: E254-E263. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.09.138.
- [34] Kim HS, Kim SW, Ju CI, et al. Implant removal after percutaneous short segment fixation for thoracolumbar burst fracture : Does It preserve motion [J]. J Korean Neurosurg Soc, 2014, 55 (2) : 73-77. DOI: 10.3340/jkns.2014.55.2.73.
- [35] Danison AP, Lee DJ, Panchal RR. Temporary stabilization of unstable spine fractures [J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2017, 10 (2) : 199-206. DOI: 10.1007/s12178-017-9402-y.
- [36] Oh HS, Seo HY. Percutaneous pedicle screw fixation in thoracolumbar fractures: comparison of results according to implant removal time [J]. Clin Orthop Surg, 2019, 11 (3) : 291-296. DOI: 10.4055/cios.2019.11.3.291.

(收稿:2024-05-30 修回:2024-12-16)

(同行评议专家: 朱佳福, 朱庄臣, 郝定均)

(本文编辑: 宁桦)