

# 胸腰段后方韧带复合体损伤评估的影像学研究进展

李东洋<sup>1</sup>, 刘 瑞<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>内蒙古医科大学第一临床医学院, 内蒙古 呼和浩特

<sup>2</sup>内蒙古医科大学附属医院骨科, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2023年10月28日; 录用日期: 2023年11月22日; 发布日期: 2023年11月29日

## 摘 要

胸腰段骨折是最常见的脊柱骨折。如何恢复脊柱的稳定性是治疗胸腰段脊柱骨折的重中之重。因此, 术前准确、全面地评价胸腰段骨折的稳定性是治疗的重要环节之一。后方韧带复合体的损伤程度评估脊柱稳定性及指导治疗中拥有非常重要的地位。本文根据各影像学检查的特点, 查阅相关的文献, 对不同影像学检查评估后方韧带复合体损伤的准确性及可靠性进行综述。希望对临床治疗胸腰段脊柱骨折提供参考。

## 关键词

胸腰段骨折, 后方韧带复合体, 脊柱骨折, 核磁共振, 超声

# Imaging Research Progress in the Evaluation of Thoracolumbar Posterior Ligament Complex Injury

Dongyang Li<sup>1</sup>, Rui Liu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>First Clinical Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

<sup>2</sup>Department of Orthopaedics, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Oct. 28<sup>th</sup>, 2023; accepted: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Nov. 29<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

文章引用: 李东洋, 刘瑞. 胸腰段后方韧带复合体损伤评估的影像学研究进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(11): 18507-18514. DOI: 10.12677/acm.2023.13112601

## Abstract

**Thoracolumbar fracture is the most common spinal fracture. How to restore the stability of the spine is the most important thing in the treatment of thoracolumbar spinal fractures. Therefore, accurate and comprehensive evaluation of the stability of thoracolumbar fracture before operation is one of the important links in the treatment. The injury degree of posterior ligament complex plays a very important role in evaluating spinal stability and guiding treatment. According to the characteristics of various imaging examinations and consulting the relevant literature, this paper reviews the accuracy and reliability of different imaging examinations in the evaluation of posterior ligament complex injury. It is hoped to provide reference for the clinical treatment of thoracolumbar spinal fractures.**

## Keywords

**Thoracolumbar Fracture, Posterior Ligament Complex, Spinal Fracture, MRI, Ultrasound**

Copyright © 2023 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

胸腰段骨折是最常见的脊柱骨折。数十年来,胸腰段骨折的治疗一直是脊柱外科的重点之一,如何评估及恢复骨折节段的稳定性便是重中之重。为了更加直观地了解胸腰段骨折机制及治疗方法,1938年Watson第一次在分型中引入了稳定性的概念,并强调了后方韧带复合体(PLC)的重要性。PLC是指由棘后韧带、棘间韧带、小关节囊、黄韧带组成的复杂的结构。1970年,Holdsworth提出了二柱理论并强调了PLC对维持脊柱稳定具有重要意义。Denis在1983年将二柱理论优化为三柱理论并沿用至今。在前人的基础上,根据数年来对胸腰段骨折的研究,目前常用的分型方法主要有两种:AO分型,TLICS分型。根据AO分型,合并有张力带损伤的B型骨折多数建议手术治疗,因此是合并有PLC损伤及PLC的损伤程度成为手术的关键,术中对损伤的PLC修复对于恢复脊柱稳定性、降低后凸畸形、减轻神经损伤及长期腰痛有着重要的意义。2005年,美国学者Vaccaro等人提出的TLICS分型将椎体形态、神经功能、PLC损伤程度纳入分型标准。结合三方面因素,Vaccaro等人对手术入路选择也提出了几点建议:前路压迫时导致的神经功能障碍选择前路手术;后方韧带复合体损伤时应选择后路手术;而二者同时存在时则选择联合入路。TLICS评分系统中使用基于损伤形态、PLC完整性和神经状态的评分确定适当的治疗方法。在该分类中,损伤形态和神经系统状态可基于X线平片、MRI和体格检查进行准确评分,但后方韧带复合体损伤评分为0(完整)、2(疑似损伤/不确定)和3(损伤)。这意味着确定后方韧带复合体中的损伤状态是非常困难的,以至于应该包括一个模糊的类别,即不确定。此外,AOSpine分类系统根据压迫、前部和/或后部张力带损伤确定适当的治疗,PLC损伤的程度在诊断中非常重要。因此,PLC损伤的准确诊断可能有助于确定适当的治疗[1]。然而,后方韧带复合体损伤程度的评估目前在国际上并没有统一的标准。本文对现有的影像学检查对PLC的损伤程度的评估进行讨论,希望给临床工作者提供参考。

## 2. X线/CT对PLC损伤评估的价值

X线和CT对于骨性结构的显示要优于MRI,另外,X线和CT价格低廉,成像速度快。虽然CT检

查及增强 CT 有一定的软组织显像能力, 但是对于神经损伤来说, X 线、CT 的显像能力明显远远不如 MRI。因此, X 线、CT 对于 PLC 的损伤情况具有一定的参考意义。X 线、CT 评估 PLC 损伤时, 主要依赖于通过放射检查手段得到的骨性标志的相关数据, 如棘突间距离、椎弓根间距离、椎体压缩高度等。通过对 57 例胸腰椎椎体骨折的骨影像学参数进行回顾性分析, 滕跃[1]等人得出结论: 在众多骨性参数中, 棘突间距离增加值及椎弓根间距离增加值具有较高的诊断效能。根据对 117 例脊椎损伤患者的 X 线片回顾性分析, Gehweiler 等人[2]发现椎体移位、椎板间隙增宽、骨突关节增宽和椎管增宽均提示 PLC 中断。Daffner 等人[3]在对 114 例爆裂性骨折患者的侧位 X 线片和 CT 进行回顾性分析时, 纳入了第五个椎体后线断裂征象。Petersilge 等人[4]的后续研究没有发现骨折的影像学表现和 PLC 损伤之间有任何显著的相关性, 并建议在怀疑韧带损伤的胸腰椎爆裂性骨折患者中使用 MRI。Radcliff 等人[5]的一项回顾性研究。在 67 例胸腰椎爆裂性骨折患者中得出的结论是, 椎体高度损失大于 50%, 局部后凸超过 30%, 椎管受损都是 PLC 损伤的不良预测因素, 只有椎体平移大于 3.5 mm 与 PLC 损伤和神经功能缺损相关。Hiyama *et al.* [6]在 40 例胸腰椎爆裂骨折患者中, 证实局部后凸超过 20 度与 PLC 损伤相关, 而椎体高度损失、椎体平移和椎管损伤与 PLC 损伤无显著相关性。Rajasekaran 等人[7]报道当 MRI 作为 PLC 损伤的参考标准时, X 线平片上脊柱后凸  $> 20^\circ$  的敏感性为 85%, 棘突间距离差大于 2 mm 的敏感性为 90%。作为 MRI 的辅助手段, Kwon *et al.*报道[8], 侧卧位 X 线片上测量的棘突间距离比为 120%, 提高了检测 MRI 不确定的损伤后韧带复合体的诊断价值。基于对 105 例胸腰椎骨折患者的回顾性分析, Chen 等人[9]得出结论, 前缘 - 下终板角度  $< 70^\circ$ 、骨折椎体前方的骨碎片、局部后凸  $> 25^\circ$  和前缘移位增加与棘间或棘上韧带断裂相关。Bharti Khurana 等人[10]通过回顾性分析 105 例急性胸腰椎骨折患者的 CT 表现, 发现虽然没有单独的 CT 表现足以准确诊断或排除 PLC 损伤, 但阳性 CT 表现(VBT 椎体平移, PLF 椎弓根或椎板骨折, ISW 棘突间距离增宽和 SPF 棘突骨折)的数量越多, PLC 损伤的几率越高。一个异常的 CT 结果的存在可能需要 MRI 确认 PLC 损伤, 而两个或两个以上的 CT 结果可能有足够的特异性, 以避免在手术干预之前完善 MRI 检查。然而 Anupama Maheswaran 等人[7]在 2020 年的研究提出了而不同的看法。Anupama Maheswaran 等人对 42 名阅片员及常见的显示 PLC 损伤的 CT 参数(包括上级终板角、椎体高度丢失、局部后凸畸形、棘突间距离和椎弓根间距离)进行变异性评估。Anupama Maheswaran 等人观察到在所有 CT 参数中, 个体测量值的变异性非常高, 即基于 CT 的放射学参数提示 PLC 损伤显示出相当大的变异性并建议在可疑 PLC 损伤需要完善 MRI 检查。但是 Anupama Maheswaran 等人的局限性在于没有客观的参考测量值, 受人为主观因素影响比较大。

### 3. 骨性参数在 PLC 损伤诊断中的意义

大部分骨性参数可以通过 CT 或者 X 线快速获得, 在快速评估脊柱骨折情况发挥重大的作用。

#### 3.1. 棘突间距离

棘突间距离增大可以通过手法触诊评估 PLC 损伤情况, 但是手法触诊过于主观且缺失诊断标准, 所以评估结果并不准确。Vaccaro 等人[11]发现, 通过 X 线测量损伤部位棘突间距离相比较相邻部位棘突间距离增大的距离可以提高诊断的准确度。通过对 148 例连续胸腰椎骨折(T11-L2)患者进行研究, Rajasekaran [7]等人发现 PLC 损伤组棘突间距离(ISD)明显大于 PLC 完整组(PLC 损伤组的平均 ISD 为 6.7 mm, 相比之下, PLC 完整组的平均 ISD 为 2.86 mm)。Rajasekaran 等人得出结论: 若将 ISD 视为单个因素, 若受伤椎体的 ISD 与未受累远端节段相比增加 2 mm, 则 ISD 诊断 PLC 损伤的敏感性为 90%, 特异性为 36%。此外, Rajasekaran 等人还提出: 若将局部后凸畸形(LK)视为单个因素, 则 LK 为  $20^\circ$  时识别 PLC 损伤的敏感性为 85%, 特异性为 33%。当 LK 角逐渐增大至  $30^\circ$  时, 则敏感性增加至 35%, 特异性增加至 97%。

在此研究中, Rajasekaran 等人还提出: 当考虑 LK 大于  $20^\circ$  和 ISD 大于 2 mm 这两个因素时, 则诊断 PLC 损伤的灵敏度为 75%, 特异性为 53%。2007 年 Ki Youn Kwon [8] 提出了棘突间距比 (ISDR) 的概念。ISDR 指侧位 X 线片上损伤节段棘突间距离与其上下相邻两个棘突间距离之和的平均值的比值。当  $ISDR > 120\%$  时, 评估 PLC 损伤敏感性、特异性和准确性分别为 81.2%、76.2% 和 79.2%。同时作者也指出了本研究的局限性: PLC 损伤程度与 ISDR 之间的关联无法研究。

### 3.2. 椎弓根间距 (IPD)

一般情况下, 同一椎体两侧椎弓根的距离与上下椎体相比大小相差不超过 2 mm, 但是在严重的脊柱损伤或者骨折中, 暴力可能会椎弓根断裂而向外侧移位, 从而导致这一数值增 [12]。研究人员为了减少此数值测量的误差, 引入参数椎弓根间距 (IPD) 的概念并采用比值法进行评估。IPD 定义为: 在正位 X 线片上, 伤椎两侧椎弓根内侧缘距离假设为 a, 上下位椎弓根内侧缘距离之和的平均值假设为 b, 则  $IPD (\%) = (a - b) / b \times 100\%$ 。通过对 260 例急性胸腰椎爆裂骨折患者的 X 线平片进行研究, Caffaro [13] 发现 99% 胸腰椎骨折患者 IPD 增大, 增大范围为 5%~114%, 此外, 还发现 IPD 和椎管狭窄百分比、神经功能受损、椎板骨折之间存在显著相关性。Li 等 [14] 通过回顾性分析 103 例胸腰椎骨折患者临床资料后发现, IPD 与神经功能状态有显著相关性。分析显示 IPD 增加大于 20% 是神经功能缺损的指标。此外, 小关节损伤和椎板骨折也与 IPD 相关, IPD 增加超过 15% 是小关节损伤的指标, 超过 20% 是椎板骨折的预测因子。也有学者对该指标提出质疑, 认为 IPD 增大不足以证明 PLC 损伤, 但是可以反映后方椎管狭窄程度、神经损伤及椎板骨折情况 [7] [12]。

### 3.3. 椎体移位 (AED)

椎体移位指上位椎体后缘切线与下位椎体后缘切线之间的距离增大, PLC 损伤或者腰椎滑脱时椎体会有不同程度的移位。通过回顾性分析 105 例胸腰椎骨折 (T11-L2) 患者, Chen [9] 等人发现, AED 增加等影像学指征与棘间韧带 (ISL) 或棘上韧带 (SSL) 破裂相关。2006 年美国脊柱研究学组开展的一项研究, 要求 24 位资深脊柱外科医师对包括椎体移位在内的 14 项 X 线、CT 或 MRI 征象进行排序及分析, 最终得出结论, 椎体移位是评估 PLC 损伤的首选指标, 临床认可度也最高 [11]。Khurana [10] 等研究员通过对 105 例急性胸腰椎骨折患者的 CT, MRI 研究, 研究员们通过对小关节对线、小关节增宽、椎弓根或椎板骨折、棘突骨折、棘突间距增宽、椎体移位和后终板骨折进行 CT 分级, 最终发现 PLC 损伤的统计学显著预测因子为椎体移位、椎弓根或椎板骨折、棘突间距增宽和棘突骨折。研究人员得出结论: 虽然没有单独的 CT 发现足以准确诊断或排除 PLC 损伤, 但阳性 CT 发现 (椎体移位、椎弓根或椎板骨折、棘突间距增宽和棘突骨折) 的数量越多, PLC 损伤的几率越高。通过对 46 例患者的各项 CT 测量参数进行回顾性分析, Radcliff 等人 [5] 认为小于 2.5 mm 的椎体移位并不足以证明 PLC 损伤, 大于 3.5 mm 的下节段椎体移位与韧带损伤存在显著相关性。综上所述, 椎体移位可以作为评估 PLC 损伤的比较有力的指标, 但其移位程度及可信程度缺乏一个明确的诊断标准。

### 3.4. 椎体高度丢失及椎体压缩程度

一般来说, 椎体高度丢失及椎体压缩一般是由于椎体受到压缩暴力。理论上来说, 同一椎体受到的暴力越大, 其高度丢失及椎体压缩越严重, 损伤 PLC 的可能性及 PLC 损伤程度也越大。因此, 椎体高度丢失及椎体压缩程度被广泛认为可以作为评估 PLC 损伤的间接指标。但是, 这 2 个指标的目前仍然存在较大争议。争议一般都存在于椎体高度丢失与 PLC 损伤的相关性。Hiyama [6] 等人通过对 40 例胸腰椎爆裂骨折患者的 MRI 进行研究得出结论: 局部后凸  $> 20^\circ$  和棘上距离增加与 PLC 损伤相关。然而也有研究

表明[5]: 局部后凸  $> 20^\circ$  也不能预测胸腰椎爆裂性骨折中 PLC 损伤, 因为存在这些征象的患者采取非手术治疗也并未出现严重并发症。

### 3.5. 其他相关骨性参数

Gehweiler 等人[2]认为, 椎板间距离、关节突关节宽度、椎管宽度增加可作为预测 PLC 损伤的指标。Chen 等人[9]发现, 伤椎前缘延线与下终板之间的夹角  $< 70^\circ$  以及椎体前缘存在游离骨赘是棘上韧带和棘间韧带损伤的高危因素。有研究显示[15], 小关节囊分离也具有预测意义, 由于小关节囊在牵张损伤中最先被破坏, 小关节囊分离也具有预测意义, 其在 CT 上最先表现为小关节囊关节间隙增大。除 MRI 外, 超声也可显示韧带情况, 尤其对韧带的连续性显像较好, 并且超声具有便捷、实时性、无损伤的优点, 其诊断灵敏度达 89%, 特异度达 100% [16]。但是, T10~12 棘突重叠较多, 超声对该部位的损伤诊断相对困难, 且超声对于深部组织, 如黄韧带、小关节囊等探测不佳甚至无法探测, 检查时可以通过倾斜探头或者调节深度及频率可部分减弱棘突重叠对探查的影响[17]。

## 4. MRI 对 PLC 损伤评估的价值

MRI 是后方韧带复合体损伤最敏感的影像学检查方法, 这一点在国内外已经达成共识。但是 MRI 本身也具有一定的局限性。首先 MRI 检查费用较高, 会增加就诊者的经济负担。其次, MRI 检查本身具有一定的禁忌症(如患有幽闭恐惧症、装有心脏起搏器或者血管支架等)。再次, 在部分地区夜间无法进行 MRI 检查, 部分偏远地区及条件较差医院甚至没有 MRI 设备。PLC 损伤在 MRI 上的影像学征象: 矢状位 T1 或 T2 加权序列韧带所在位置的黑色条状信号带连续性中断或不可见, 或矢状位 T2 加权像上高信号影[18] [19] [20]。具体影像学征象: 棘突后方黑色条纹带连续性中断提示 SSL 断裂; T2 加权像棘突间高亮信号提示 ISL 撕裂; 关节突之间横断面 T2 加权像高信号积液提示关节囊撕裂; 黄韧带连续性中断提示黄韧带断裂。Lee [15] 等人的一项针对 34 例胸腰椎骨折患者的前瞻性研究的报告称: 术前 MRI 评估 PLC 损伤结果与术中所见 PLC 损伤结果高度一致。在一项近期的使用标准 MRI 测序方案进行的前瞻性研究中, 包括接受保守治疗的患者, Javier *et al.* [21] 报告: MRI 对 PLC 损伤的灵敏度和特异性分别为 91% 和 100%。这些结果表明, MRI 对后韧带复合体损伤 MRI 的准确性可能会因阅读图像的医生而异。Vaccaro 等人[22]通过一项前瞻性研究发现, MRI 诊断 PLC 损伤的灵敏度为 79%~90%, 特异度为 53%~65%。Rihn 等[23]发现, 虽然 MRI 具有很高的灵敏度, 但是阳性预测值过低, 仅仅依赖 MRI 可能会增加非必要手术率。也就是说仅仅依靠 MRI 作为评估 PLC 程度的唯一手段会增加误诊率。因此, 为了对 PLC 的损伤进行评估时, 需要完善 MRI 的阅片标准, 并且需要其他工具辅助诊断 PLC 损伤程度。

## 5. 超声对 PLC 损伤评估的价值

脊柱超声是一种非侵入检查, 廉价、安全而且没有辐射剂量, 当患者存在 MRI 检查禁忌时, 例如幽闭恐惧症、安装心脏起搏器、人工心脏瓣膜患者, 可以选择超声检查。超声的优势主要在于超声检查的便捷性及实时性, 但是超声检查结果的准确程度比较依赖检查者的临床经验及操作规范。超声检查允许基于第一连续回声层的任何破坏的存在来检测 PLC 的损伤, 作为皮下脂肪和筋膜结构的损伤标志, 棘突之间的连续低回声线的破坏作为 SSL 和 ISL 损伤的标志, 棘突的识别作为具有后部声影的回声分界, 低回声囊肿的检出是血肿和破裂、韧带和肌纤维排列不均匀或撕脱性骨碎片的间接征象。使用上述征象, 超声是一项高度准确的检查方式。Alcalá-Cerra Gabriel 等[23]在 2023 年的一项系统综述和荟萃分析表示: 超声检测 PLC 损伤的诊断准确性非常好, 因此, 可被视为 PLC 损伤影像学评价的另一种有用的辅助手段。它对于评估 SSL 和 ISL 的完整性特别有用, SSL 和 ISL 与创伤性骨折后维持脊柱稳定性最相关。但是该

研究存在一定的局限性: 第一, PLC 的定义, 因为在大多数纳入的研究中仅考虑了 ISL 和 LSS。因此, 在该荟萃分析中不能充分解决超声用于评估黄韧带(LF)和小关节囊(FJC)的诊断性能的分析, 阻碍了将其结果完全推广到 PLC 的所有元素。第二: 参考标准定义之间的一致性, 因为大多数纳入的研究基于手术结果, 但有一项研究基于 MRI 结果。H. Meinig [24]等人在 2015 年的一项研究中, 对 27 例急性脊柱损伤患者行超声和 MRI 检查, 以术中所见为金标准, 研究超声检查 PLC 损伤的灵敏度及特异性。结果, 超声检出 9 例阳性, MRI 检出阳性 11 例。超声检查诊断 PLC 损伤的敏感性为 0.82, 特异性为 1。因此作者得出结论: 超声在诊断脊柱创伤中, 特别是诊断 PLC 的完整性可能是一个有用的工具, 超声对脊柱外伤的诊断特异性和敏感性与 MRI 相近。该结果已通过手术证实。在国内同样有学者对超声评估 PLC 损伤的准确性情况进行了研究。2020 年, 赵予辉等人[25]回顾性分析了 29 例青中年胸腰椎压缩性骨折患者的临床资料。所有患者均按要求进行超声及 MRI 检查, 以 MRI 检查结果为标准, 研究超声诊断 PLC 的灵敏度和特异度, 结果超声诊断 PLC 的灵敏度和特异度分别为 81.8% (9/11), 特异度为 100.0% (18/18)。赵予辉等人得出结论: 在 MRI 无法使用或者患者有 MRI 使用禁忌的情况下, 超声检查可精准提供胸腰椎压缩性骨折患者 PLC 损伤情况, 可以为伤员的精准救治提供帮助。但是该研究也存在一定的局限性: 第一, 该研究以 MRI 检查结果为金标准, 但是有些研究指出, MRI 检查也存在一定的假阳性或者是假阴性的概率。第二, 该研究仅纳入 29 例患者, 样本容量较小, 样本对总体缺乏足够的代表性, 难以保证推算结果的精确度和可靠性。

## 6. 结论

综上所述, 虽然目前 MRI 是检测 PLC 损伤程度的最佳影像学诊断, 但其自身存在一定的局限性, 损伤后血肿可能导致假阳性, 除此之外不同阅片者得出的结论可能存在较大的差异。因此 MRI 作为评估 PLC 损伤的“金标准”可能会遭到质疑。对于对骨性结构显影更佳的 X 线和 CT 检查, 不同阅片者差异较小, 但是 X 线和 CT 检查是通过骨性参数间接评估 PLC 损伤情况, 其准确性不如 MRI。且单一的骨性标志对 PLC 损伤情况的评估不够可靠, 临床应用中建议采用多个骨性参数数据进行评估。超声检查目前临床应用广泛, 超声检查具有自身独特的优势如: 实时性、便捷性、可重复性及经济性。肌骨超声的应用对于评估棘上韧带、棘间韧带的损伤情况具有较可靠的参考意见, 但其对深部组织如小关节囊、黄韧带评估效果不佳。且病人的营养情况也会影响超声作用的发挥。但是超声便捷及普遍的特性使得在某些紧急或者偏远地区可以快速、准确评估棘上韧带、棘间韧带的损伤情况, 指导临床医师快速做出反应。作者建议在条件允许、时间充足的情况下, 首选 MRI 进行 PLC 损伤的评估及治疗, 尤其是抑制序列。在紧急情况下可以使用多个骨性参数对 PLC 损伤进行评估, 并将椎体移位超过 2 mm、棘突间距增大超过 20%作为首选间接指标, 将椎弓根间距增大、椎体压缩角超过 20°、椎体前缘高度丢失超过 50%则作为次选指标。在不具备移动病人或者室外条件下, 可使用超声对棘上韧带、棘间韧带损伤情况进行初步评估。以上建议出发于各个检查手段的特点与准确性, 临床上医师应实际情况结合临床疗效谨慎选择检查方法。

## 致 谢

对本文的资助者和支持者、提供指导和帮助者、给予转载和引用权的文献、研究思想的所有者, 表示感谢。

## 参考文献

[1] 滕跃, 朱静芬, 黄仁军, 等. 骨性影像学参数对胸腰椎骨折 PLC 损伤诊断效能的研究[J]. 临床放射学杂志, 2017,

36(3): 398-401.

- [2] Gehweiler, J.A., Daffner, R.H. and Osborne, R.L. (1981) Relevant Signs of Stable and Unstable Thoracolumbar Vertebral Column Trauma. *Skeletal Radiology*, **7**, 179-83. <https://doi.org/10.1007/BF00361861>
- [3] Daffner, R.H., Deeb, Z.L. and Rothfus, W.E. (1987) The Posterior Vertebral Body Line: Importance in the Detection of Burst Fractures. *American Journal of Roentgenology*, **148**, 93-96. <https://doi.org/10.2214/ajr.148.1.93>
- [4] Petersilge, C.A., Pathria, M.N., Emery, S.E. and Masaryk, T.J. (1995) Thoracolumbar Burst Fractures: Evaluation with MR Imaging. *Radiology*, **194**, 49-54. <https://doi.org/10.1148/radiology.194.1.7997581>
- [5] Radcliff, K., Su, B.W., Kepler, C.K., Rubin, T., Shimer, A.L., Rihn, J.A., Harrop, J.A., Albert, T.J. and Vaccaro, A.R. (2012) Correlation of Posterior Ligamentous Complex Injury and Neurological Injury to Loss of Vertebral Body Height, Kyphosis, and Canal Compromise. *Spine*, **37**, 1142-1150. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318240fcd3>
- [6] Hiyama, A., Watanabe, M., Katoh, H., Sato, M., Nagai, T. and Mochida, J. (2015) Relationships between Posterior Ligamentous Complex Injury and Radiographic Parameters in Patients with Thoracolumbar Burst Fractures. *Injury*, **46**, 392-398. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.10.047>
- [7] Rajasekaran, S., Maheswaran, A., Aiyer, S.N., Kanna, R., Dumpa, S.R. and Shetty, A.P. (2016) Prediction of Posterior Ligamentous Complex Injury in Thoracolumbar Fractures Using Non-MRI Imaging Techniques. *International Orthopaedics*, **40**, 1075-1081. <https://doi.org/10.1007/s00264-016-3151-1>
- [8] Kwon, K.Y., Park, H.J., Shin, J.S. and Lee, J.P. (2017) Another Diagnostic Tool in Thoracolumbar Posterior Ligament Complex Injury: Interspinous Distance Ratio. *European Spine Journal*, **26**, 1447-1453. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4662-6>
- [9] Chen, J.X., Goswami, A., Xu, D.L., Xuan, J., Jin, H.M., Xu, H.M., Zhou, F., Wang, Y.L. and Wang, X.Y. (2017) The Radiologic Assessment of Posterior Ligamentous Complex Injury in Patients with Thoracolumbar Fracture. *European Spine Journal*, **26**, 1454-1462. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4687-x>
- [10] Khurana, B., Prevedello, L.M., Bono, C.M., Lin, E., McCormack, S.T., Jimale, H., Harris, M.B. and Sodickson, A.D. (2018) CT for Thoracic and Lumbar Spine Fractures: Can CT Findings Accurately Predict Posterior Ligament Complex Injury? *European Spine Journal*, **27**, 3007-3015. <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5712-z>
- [11] Vaccaro, A.R., Lee, J.Y., Schweitzer, K.M., Lim, M.R., Baron, E.M., Oner, F.C., Hulbert, R.J., Hedlund, R., Fehlings, M.G., Arnold, P., Harrop, J., Bono, C.M., Anderson, P.A., Anderson, D.G., Harris, M.B. and Spine Trauma Study Group (2006) Assessment of Injury to the Posterior Ligamentous Complex in Thoracolumbar Spine Trauma. *The Spine Journal*, **6**, 524-528. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2006.01.017>
- [12] Daffner, R.H. and Daffner, S.D. (2002) Vertebral Injuries: Detection and Implications. *European Journal of Radiology*, **42**, 100-116. [https://doi.org/10.1016/S0720-048X\(02\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0720-048X(02)00047-5)
- [13] Caffaro, M.F. and Avanzi, O. (2012) Can the Interpedicular Distance Reliably Assess the Severity of Thoracolumbar Burst Fractures? *Spine*, **37**, E231-E236. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318237b0cf>
- [14] Li, Y., Huang, M., Xiang, J., Lin, Y., Wu, Y. and Wang, X. (2018) Correlation of Interpedicular Distance with Radiographic Parameters, Neurologic Deficit, and Posterior Structures Injury in Thoracolumbar Burst Fractures. *World Neurosurgery*, **118**, e72-e78. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.06.122>
- [15] Lee, J.Y., Vaccaro, A.R., Schweitzer, K.M., Lim, M.R., Baron, E.M., Rampersaud, R., Oner, F.C., Hulbert, R.J., Hedlund, R., Fehlings, M.G., Arnold, P., Harrop, J., Bono, C.M., Anderson, P.A., Patel, A., Anderson, D.G. and Harris, M.B. (2007) Assessment of Injury to the Thoracolumbar Posterior Ligamentous Complex in the Setting of Normal-Appearing Plain Radiography. *The Spine Journal*, **7**, 422-427. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2006.07.014>
- [16] Gabriel, A.C., Angel, J.P., Juan, J.G., Luis, R.M., Hernando, R.A. and Rubén, S.B. (2013) Diagnostic Accuracy of Ultrasound for Detecting Posterior Ligamentous Complex Injuries of the Thoracic and Lumbar Spine: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Craniovertebral Junction and Spine*, **4**, 25-31. <https://doi.org/10.4103/0974-8237.121621>
- [17] Vordemvenne, T., Hartensuer, R., Löhrer, L., Vieth, V., Fuchs, T. and Raschke, M.J. (2009) Is There a Way to Diagnose Spinal Instability in Acute Burst Fractures by Performing Ultrasound? *European Spine Journal*, **18**, 964-971. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-1009-6>
- [18] Mi, J., Sun, X.J., Zhang, K., Zhao, C.Q. and Zhao, J. (2018) Prediction of MRI Findings Including Disc Injury and Posterior Ligamentous Complex Injury in Neurologically Intact Thoracolumbar Burst Fractures by the Parameters of Vertebral Body Damage on CT Scan. *Injury*, **49**, 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.12.011>
- [19] Haba, H., Taneichi, H., Kotani, Y., Terae, S., Abe, S., Yoshikawa, H., Abumi, K., Minami, A. and Kaneda, K. (2003) Diagnostic Accuracy of Magnetic Resonance Imaging for Detecting Posterior Ligamentous Complex Injury Associated with Thoracic and Lumbar Fractures. *Journal of Neurosurgery*, **99**, 20-26. <https://doi.org/10.3171/spi.2003.99.1.0020>
- [20] Emery, S.E., Pathria, M.N., Wilber, R.G., Masaryk, T. and Bohlman, H.H. (1989) Magnetic Resonance Imaging of Posttraumatic Spinal Ligament Injury. *Journal of Spinal Disorders*, **2**, 229-233.

- <https://doi.org/10.1097/00002517-198912000-00003>
- [21] Pizonés, J., Zúñiga, L., Sánchez-Mariscal, F., Alvarez, P., Gómez-Rice, A. and Izquierdo, E. (2012) MRI Study of Post-Traumatic Incompetence of Posterior Ligamentous Complex: Importance of the Supraspinous Ligament. Prospective Study of 74 Traumatic Fractures. *European Spine Journal*, **21**, 2222-2231.  
<https://doi.org/10.1007/s00586-012-2403-z>
- [22] Vaccaro, A.R., Lehman, R.A., Hurlbert, R.J., Anderson, P.A., Harris, M., Hedlund, R., Harrop, J., Dvorak, M., Wood, K., Fehlings, M.G., Fisher, C., Zeiller, S.C., Anderson, D.G., Bono, C.M., Stock, G.H., Brown, A.K., Kuklo, T. and Oner, F.C. (2005) A New Classification of Thoracolumbar Injuries: The Importance of Injury Morphology, the Integrity of the Posterior Ligamentous Complex, and Neurologic Status. *Spine*, **30**, 2325-2333.  
<https://doi.org/10.1097/01.brs.0000182986.43345.cb>
- [23] Rihn, J.A., Yang, N., Fisher, C., Saravanja, D., Smith, H., Morrison, W.B., Harrop, J. and Vacaro, A.R. (2010) Using Magnetic Resonance Imaging to Accurately Assess Injury to the Posterior Ligamentous Complex of the Spine: A Prospective Comparison of the Surgeon and Radiologist. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **12**, 391-396.  
<https://doi.org/10.3171/2009.10.SPINE08742>
- [24] Meinig, H., Döffert, J., Linz, N., Konerding, M.A., Gercek, E. and Pitzen, T. (2015) Sensitivity and Specificity of Ultrasound in Spinal Trauma in 29 Consecutive Patients. *European Spine Journal*, **24**, 864-870.  
<https://doi.org/10.1007/s00586-014-3596-0>
- [25] 赵予辉, 高越, 谢雁春, 等. 超声评估胸腰段骨折后方韧带复合体损伤的敏感性和特异性[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(12): 1915-1921.