

脊柱胸腰段骨折椎体的三维形态学分析

苏启航¹ 张锦飙¹ 李聪¹ 张岩¹ 潘杰¹ 李立钧¹ 谭军^{1,2}

【摘要】目的 通过三维骨折线分布图的大数据形态学分析,揭示脊柱胸腰段椎体(T₁₁~L₂)骨折的好发模式及骨折特点,从而指导临床决策。**方法** 回顾性分析 2017 年 1 月至 2019 年 3 月 AO 分型为 A 型的压缩性胸腰段椎体(T₁₁~L₂)骨折病人的临床资料。共纳入了 257 例研究对象,平均年龄为 46 岁,266 个骨折椎体,其中 T₁₁ 骨折 15 例, T₁₂ 骨折 69 例, L₁ 骨折 95 例, L₂ 骨折 87 例。把病人高分辨率 CT 数据导入到 Mimics 软件中,通过阈值分割,重建出骨折椎体模型。依次将各个骨折椎体的骨折线临摹到相应正常椎体模型上,获得各个椎体节段的 3D 骨折线分布图。**结果** 3D 骨折线分布图揭示骨折线主要集中在椎体的上半部分以及椎体的外 1/3 部分,并且沿着椎体的前方和侧方呈环状楔形分布。**结论** 首次将骨折的 Mapping 技术应用到胸腰段骨折的分析研究中,骨折线分布图揭示了胸腰段骨折的好发模式及形态学特点,从流行病学及形态学方面提高了对胸腰段骨折的认识,有助于提升后续的科学性及改善临床决策。

【关键词】 脊柱骨折;三维断层扫描成像;Mapping 技术

Three-dimensional morphological analysis of thoracolumbar vertebrae fracture. SU Qi-hang¹, ZHANG Jin-biao¹, LI Cong¹, ZHANG Yan¹, PAN Jie¹, LI Li-jun¹, TAN Jun^{1,2}. ¹Department of Orthopaedics, Shanghai East Hospital, Tongji University School of Medicine, Shanghai 200120, China; ²Department of Orthopaedics, Pinghu Second People's Hospital, Jiading 314200, China

Corresponding author: TAN Jun, E-mail: dr_tanjun@tongji.edu.cn

【Abstract】Objective To produce fracture maps of the thoracolumbar (TL) fracture vertebral body (T₁₁-L₂) using CT mapping as a big data visualization method, and reveal recurrent patterns and characteristics of the TL fractures. **Methods** We undertook a retrospective analysis on the CT imaging data of patients with TL fractures (type A, AO fracture classification system) between January 2017 and March 2019. This study consisted of 257 patients with an average age of 46 years old. A total of 266 fracture vertebrae were collected, which comprised of 15 T₁₁ vertebral fractures, 69 T₁₂ vertebral fractures, 95 L₁ vertebral fractures and 87 L₂ vertebral fractures. Raw CT data were acquired utilizing a 64 channel CT scanner, and then imported into Mimics software to create three-dimensional reconstruction models, which were superimposed and oriented to fit a model vertebral template by both aligning specific bio-landmarks and reducing reconstructed fracture fragments. Fracture lines were found and traced in order to create a fracture map of the vertebral body. **Results** Three-dimensional maps showed that the fracture lines tended to be concentrated in the upper half and outer third of the vertebral body, as well as being distributed in annular wedges along the anterior and lateral sides of the vertebral body. **Conclusion** Fracture maps revealed recurrent patterns and characteristics of the TL fracture vertebral body, which improves the understanding of TL fracture, as well as helping to increase opportunities for follow-up research and aid clinical decision-making.

【Key words】 Spinal fractures; Imaging, three-dimensional, tomography scanners; Mapping

在脊柱骨折损伤中,位于移行处的胸腰段椎体(T₁₁~L₂)骨折发生率最高,约占脊柱骨折的 90%^[1,2]。胸腰段椎体骨折通常是高能量损伤的结果,其中大多数由机动车事故、跌倒或坠落造成^[3],并且存在一

些潜在的严重并发症,包括顽固性疼痛、瘫痪、脊柱后凸、椎体高度和功能的丧失。尽管在胸腰段椎体骨折中通常较少出现瘫痪,但不稳定的脊柱结构可能导致周围组织的破坏,从而发生迟发性瘫痪^[4]。因此,准确、全面的病情评估,正确的临床决策以及早期的康复功能锻炼,成为了影响病情预后的关键因素。

以往关于胸腰段椎体损伤研究多数是致力于建立一种可靠的、重复性好的损伤分型或评分,其中包

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2019.05.003

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFA0105404);上海市卫生局科研计划项目(20134025)

作者单位:1. 同济大学附属东方医院骨科,上海 200120;2. 平湖市第二人民医院骨科,浙江嘉兴 314200

通信作者:谭军, E-mail: dr_tanjun@tongji.edu.cn

括 Denis 分型系统^[5], Magerl 等^[6]的 AO 分型系统, McCormack 等^[7]提出的脊柱载荷分享评分(load sharing classification, LSC)系统,以及目前最具临床指导价值的胸腰椎损伤分类及损伤程度评分系统(TLICS)^[8]。然而并没有一种系统能完全被临床医生所接受,各系统都存在一定程度的利弊。近些年,随着骨科数字化、大数据分析的发展,三维(three-dimensional, 3D)技术、有限元生物力学分析及 Mapping 技术,越来越受到临床医生及研究者的关注与应用。其中,在诸多骨科形态学分析的研究^[9-12]中,3D Mapping 技术显示出了其特有的优越性及价值。该技术实现了大数据的可视化,这对进一步研究胸腰椎椎体骨折的生物力学和形态学特点起到了关键作用。

本研究的目的是根据一系列胸腰椎椎体(T₁₁~L₂)的骨折线位置和频率,通过 3D Mapping 技术得到椎体 3D 骨折线分布图(3D maps)。我们假设 3D maps 将揭示胸腰椎椎体骨折的好发模式以及骨折特征,这可以提高外科医生在术前评估过程中对胸腰椎骨折的认识和理解,以便作出最佳的临床决策。

资料与方法

一、纳入与排除标准

纳入标准:①年龄为 20~65 岁的病人;②T₁₁~L₂椎体的 A 型骨折(Type A1.3 和 Type A1.1 除外, Magerl 等^[6]提出的 AO 骨折分型系统);③非骨质疏松性和非病理性椎体骨折;④病史小于 1 周的新鲜椎体骨折;⑤具有完整高质量的胸腰椎 CT 影像学资料。

排除标准:①CT 影像学资料质量差,无法分辨椎体骨折线;②极其严重的粉碎性骨折或骨松质坍塌性骨折,无法复位和分辨骨折线;③既往已行胸、腰椎内固定手术或具有非正常解剖结构的病人。

二、一般资料

回顾性分析 2017 年 1 月至 2019 年 3 月于我科就诊的胸腰椎椎体骨折病人的临床资料,并获取胸腰椎 CT 检查数据。本研究的兴趣区域为 T₁₁~L₂的椎体部分。研究对象由本研究第一作者、一位资深脊柱外科临床医生及一位高年资影像科医师,共同评估筛选。

根据纳入与排除标准,纳入 257 例研究对象,共 266 个骨折椎体。其中,男 150 例,女 107 例,平均年龄为 46 岁。T₁₁椎体骨折 15 例(15/266, 5.64%),T₁₂椎体骨折 69 例(69/266, 25.94%),L₁椎体骨折 95 例

(95/266, 35.71%),L₂椎体骨折 87 例(87/266, 32.71%),T₁₁椎体骨折例数所占比例不高,而 L₁和 L₂椎体在胸腰段骨折损伤所占比例相对较高。另外,根据病史资料,病人的受伤机制主要有坠落、摔倒及交通意外,坠落和摔倒 181 例(181/257, 70.43%),交通事故 76 例(76/257, 29.57%)。

三、3D 骨折线分布图

我们根据 Xie 等^[13]描述的方法绘制椎体(T₁₁~L₂)的 3D 骨折线分布图。首先,在图片存档和通信系统(picture archiving and communication system, PACS)数据库里,筛选并导出研究对象的医学数字成像和通信(digital imaging and communications in medicine, DICOM)格式原始 CT 数据。且各研究对象所使用的 CT 检查设备为 64 通道的高分辨率 CT 扫描仪(SOMATOM Sensation 64, 西门子公司,德国),扫描参数如下:管电压,120 kV;管电流,200 mA;切片厚度,1 mm;层间距,0.5 mm。然后,将各个研究对象的 DICOM 数据导入 Mimics V20.0 软件(Materialise 公司,比利时)。通过阈值分割,确定胸椎和腰椎大致区域;然后通过区域增长,将骨折椎体的骨折块分离重建出来;再通过数学形态学图像处理中的闭运算和光滑化处理,使骨折椎体更进一步接近原始形貌;最终建立起完整的骨折椎节 STL 格式的三角网格模型。在轴向、矢状面和冠状面上同时分析、分离骨折块,使我们能够更完整地重建骨折椎体三维模型。

然后将 STL 模型数据输出到 3-matic V9.0 软件(Materialise 公司,比利时)中,其中重建的骨折块需进行适当地旋转、水平翻转、复位和标准化操作,使其能最佳地匹配正常椎体的 3D 模板模型。调整骨折椎体模型的透明度,将复位好的骨折椎体模型与正常椎体模型相重叠,然后直接在正常椎体 3D 模型的表面临摹骨折线。然后依次将各骨折椎体的骨折线临摹到同一正常椎体模型上,最后就获得了各个椎体节段的 3D 骨折线分布图。

四、统计学方法

使用分类变量的频率和百分比以及连续变量的算术平均值及标准差来总结病人的统计学特征。并对 3D 骨折线分布图进行描述性分析。

结 果

从图 1 我们可以看到,45~49 岁为胸腰段骨折高发年龄段。表 1 展示了 T₁₁~L₂椎体的 AO 骨折分型情况。A1 型压缩性骨折(147/266, 55.26%)和 A3 型爆

裂性骨折(109/266, 40.98%)较A2型分裂性骨折(10/266, 3.76%)发生率高。而对于各亚型而言, A1.2.1上方楔形压缩性骨折和A3.1.1上方不完全爆裂性骨折所占比例相对较高。

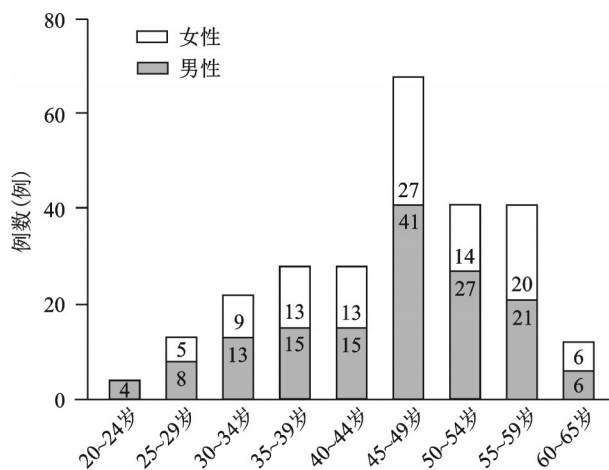


图1 病人年龄段分布情况

图2是T₁₁、T₁₂、L₁和L₂的3D骨折线分布图,直观地展示了四个节段的骨折线分布特点。从图中我们可以看出,骨折线主要集中在椎体的上半部分以及椎体的外1/3部分,并且沿着椎体的前方和侧方呈环状楔形分布,也就说这部分骨折线的密度更高。而且通过观察,骨折线的分布似乎从集中部分向椎

骨折分型	T ₁₁	T ₁₂	L ₁	L ₂	合计
A1型	10(3.76)	41(15.41)	49(18.42)	47(17.67)	147(55.26)
A1.2.1	8	34	34	41	117
A1.2.2	2	5	10	5	22
A1.2.3	0	2	5	1	8
A2型	1(0.38)	1(0.38)	5(1.88)	3(1.13)	10(3.76)
A2.1	1	1	3	1	6
A2.2	0	0	1	2	3
A2.3	0	0	1	0	1
A3型	4(1.50)	27(10.15)	41(15.41)	37(13.91)	109(40.98)
A3.1.1	4	15	26	21	66
A3.1.2	0	3	1	4	8
A3.1.3	0	1	1	1	3
A3.2.1	0	5	6	5	16
A3.2.2	0	1	1	1	3
A3.2.3	0	0	1	0	1
A3.3.1	0	0	3	2	5
A3.3.2	0	2	1	1	4
A3.3.3	0	0	1	2	3

体的后方和下方部分逐渐分散、稀疏。另外,我们可以发现T₁₂的骨折线分布比较集中和有序,其骨折线集中部分更加靠椎体上方。L₁和L₂(尤其L₂)骨折线分布相对于T₁₂更加分散和杂乱。

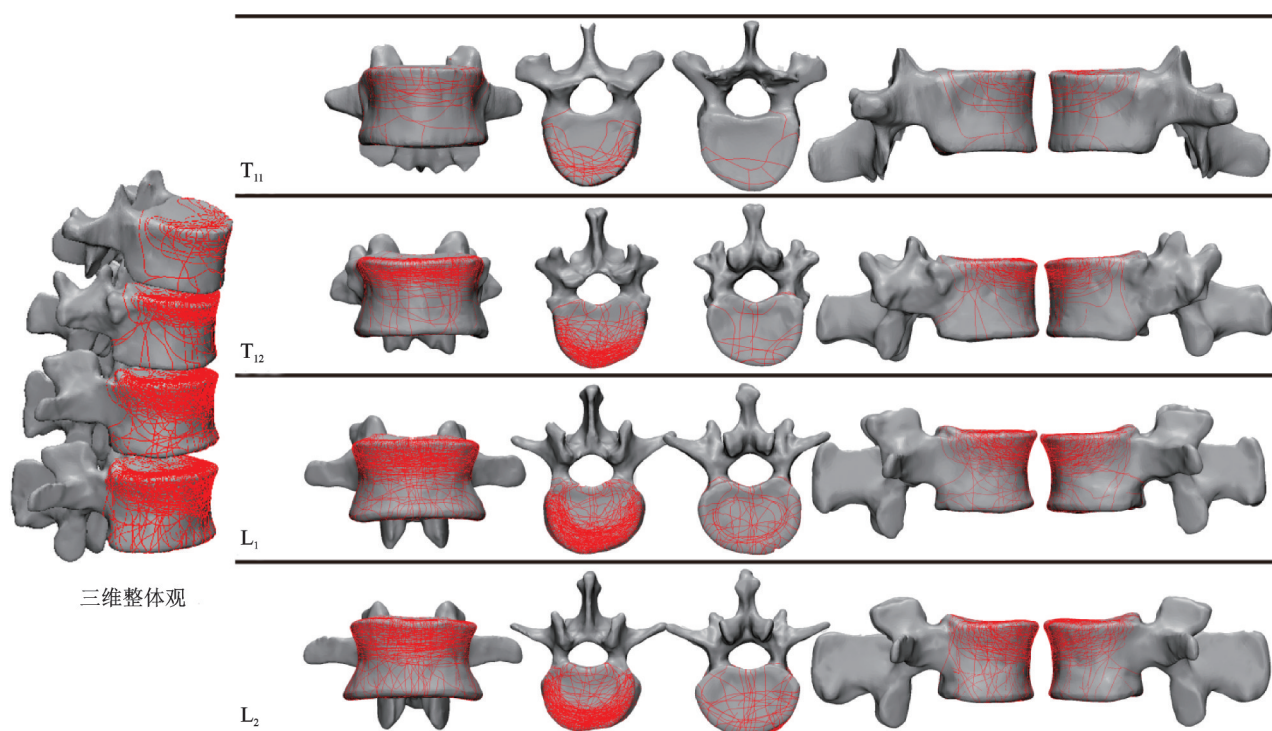


图2 T₁₁~L₂3D骨折线分布图 从左往右依次为正面观、顶面观、底面观、右面观及左面观

讨 论

本研究采用了一种循证大数据可视化方法——3D Mapping技术,该技术近些年被广泛用于肩胛骨骨折^[9]、胫骨平台骨折^[10]及踝关节骨折^[11]等骨科领域的形态学分析研究中,且取得了许多成绩斐然的研究成果,其研究价值越来越受到研究者和临床工作者的关注。此次研究,我们结合了流行病学及形态学的分析,对胸腰段椎体骨折的AO分型和骨折损伤特点有了新的认识。

表1的AO分型结果揭示, T_{11} 、 T_{12} 、 L_1 和 L_2 的分型特点似乎差别不大,都有A1型压缩性骨折和A3型爆裂性骨折较A2型分裂性骨折发生率高的共同特点。仅从AO分型,很难发现这四个节段骨折特点的不同点,且所示的特点并不直观。再加上AO分型本身的复杂性^[14],因此AO分型很难被广泛应用于临床决策中。然而,对于此次研究的结果,通过对 T_{11} ~ L_2 椎体的3D骨折线分析图的观察分析,我们可以非常直观地看到 T_{11} ~ L_2 的骨折特点和模式是略微不同的,且显示出了AO分型所不能展示的大数据形态学特点:骨折线分布主要集中在椎体的上半部分以及椎体的外1/3,尤以前1/3最为集中,并沿着椎体上缘呈环形分布。因此,从该结果来看,我们猜测这部分是椎体骨折时的主要受力区或者是相对脆弱区。并且我们发现椎弓根下缘以下的椎体部分相比上半部分的椎体更不易发生骨折。所以在骨折内固定手术治疗时,我们需要更多地关注这部分骨折高发区的隐匿性骨折的存在,在优化置钉角度和深度以及骨折内固定器械设计方面亦是如此。

另外,相比 T_{11} 和 T_{12} 而言, L_1 和 L_2 的骨折发生率更高,而且从更加散乱的骨折线分布特点来看,一般情况下, $L_{1/2}$ 椎体的骨折粉碎程度相对 $T_{11/12}$ 更严重,对椎管的威胁程度也就不一样。根据解剖特点^[15,16], T_{11} ~ L_2 是脊柱生理弯曲的移行区域, T_{11} 和 T_{12} 处于脊柱后凸的位置, L_1 和 L_2 是处于脊柱前凸的位置,因此它们的受力重心是不同的。 $L_{1/2}$ 的受力重心比 T_{11} 和 T_{12} 更靠近椎体后部,因此 $L_{1/2}$ 椎体后部骨折发生率也相对更高,即中柱发生骨折的比例相对更高,对椎管和脊柱稳定性的威胁程度也就更高。而对于 T_{11} 和 T_{12} ,由于这种解剖差异所导致的受力重心的差异,在3D骨折线分析图上体现得更加明显:它们的骨折线大部分是集中分布于脊柱前柱的椎体边缘,即“椎体边缘性骨折”的占比比较高。结合临床经验,单纯的 T_{11} 或 T_{12} 椎体前柱的骨折,倾向于保守治疗或椎

体前路内固定术。而 L_1 和 L_2 椎体的骨折,由于中柱损伤的发生率较高,因此对于TLICS评分^[8]在3~5分的病人,尽早采取后路内固定减压术是必要的,以免发生进一步椎管神经的损伤和脊柱失稳。因此,我们可以看到3D Mapping技术在形态学分析方面是优于AO分型的,它可以非常直观地为我们提供更加准确清晰的信息,这将对后续的研究提供更多的形态学分析依据。

其次,本研究引发了我们新的思考:椎管前方椎体后壁和椎弓根前方椎体后壁是否应该视为同一整体,对椎管的威胁程度是否相同?众所周知,在Denis^[5]和Ferguson等^[17]提出并改进的三柱理论中,椎体的后1/3是被归为中柱的,且中柱对脊柱的稳定性以及对椎管的威胁性是不可忽视的。根据临床经验,椎弓根前方的椎体后部发生骨折的比例是相对较低的,该部分的骨折很多是伴有椎体前部的骨折。而椎管前方的椎体后壁单独发生骨折且不伴有椎体前部骨折的比例是相对更高的。我们猜测这可能是由于椎弓根的把持作用,致使椎管前方椎体后壁和椎弓根前方椎体后壁具有不同骨折特点和模式。从骨折线分布图我们也可以看出,这两部分的骨折线分布位置和密度也是不同的。因此,我们认为这两部分具有不同的生理解剖特点和骨折特征,对椎管的威胁程度也不一样,不应笼统地将两者视为同一整体,是否应该被归为同一柱也值得研究者和临床工作者进一步讨论。

目前很少有研究把3D Mapping技术应用到胸腰段骨折分析的研究中。事实上,这种大数据可视化的技术将有利于未来胸腰段骨折研究的发展。但是本次研究仍然存在着一些不足:①本研究的兴趣区域是 T_{11} ~ L_2 的椎体部分,未涉及胸腰椎后柱的相关结构。胸腰段脊柱后方的韧带对脊柱的稳定性以及临床决策是非常重要的^[18,19],因此仅仅从3D骨折线分布图无法对病人进行全面的病情评估。②对于很多的椎体坍塌性骨折病例以及粉碎较为严重的病例并未纳入本研究中,因为应用Mapping技术是很难复位骨块以及识别骨折线的,因此本技术存在一定的局限性。③本研究主要是通过形态学对骨折进行了分析,并未对胸腰段脊柱的生物力学进行进一步详细的研究。未来,我们将结合其他更多的新技术和新方法,对胸腰段骨折进行进一步研究。④该技术非常耗时,因此对于极大病例群体的研究,存在一定局限性^[20]。

虽然3D Mapping技术有一定的局限性,但是我

们也不能忽视它带给我们的研究价值。该技术可以辅助我们从形态学以及流行病学方面,对胸腰段骨折有新的认识,使得我们能够进一步优化手术方案,甚至是对优化骨折内固定器械的设计有所帮助。在提出一套完善的指导临床决策的骨折分型系统方面,具有巨大的辅助潜力和价值。

参 考 文 献

- [1] 肖辉,朱长宝,陈操,等.后路切开复位椎弓根螺钉固定并自体椎板状髂骨块植骨融合治疗胸腰段椎体爆裂性骨折的疗效[J].中华骨与关节外科杂志,2019,12(3):177-181.
- [2] Cahueque M, Cobar A, Zuñiga C, et al. Management of burst fractures in the thoracolumbar spine [J]. J Orthop, 2016, 13(4): 278-281.
- [3] Fu MC, Nemani VM, Albert TJ. Operative treatment of thoracolumbar burst fractures: is fusion necessary? [J]. HSS J, 2015, 11(2): 187-189.
- [4] Zhang C, Liu Y. Combined pedicle screw fixation at the fracture vertebrae versus conventional method for thoracolumbar fractures: a meta-analysis [J]. Int J Surg, 2018, 53: 38-47.
- [5] 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.
- [6] Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, et al. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries [J]. Eur Spine J, 1994, 3(4): 184-201.
- [7] McCormack T, Karakovic E, Gaines RW. The load sharing classification of spine fractures [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1994, 19(15): 1741-1744.
- [8] Vaccaro AR, Lehman RA Jr, Hurlbert RJ, et al. A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(20): 2325-2333.
- [9] Armitage BM, Wijdicks CA, Tarkin IS, et al. Mapping of scapular fractures with three-dimensional computed tomography [J]. J Bone Joint Surg Am, 2009, 91(9): 2222-2228.
- [10] Molenaars RJ, Mellema JJ, Doornberg JN, et al. Tibial plateau fracture characteristics: computed tomography mapping of lateral, medial, and bicondylar fractures [J]. J Bone Joint Surg Am, 2015, 97(18): 1512-1520.
- [11] Cole PA, Mehrle RK, Bhandari M, et al. The pilon map: fracture lines and comminution zones in OTA/AO type 43C3 pilon fractures [J]. J Orthop Trauma, 2013, 27(7): e152-e156.
- [12] Yang Y, Yi M, Zou C, et al. Mapping of 238 quadrilateral plate fractures with three-dimensional computed tomography [J]. Injury, 2018, 49(7): 1307-1312.
- [13] Xie X, Zhan Y, Dong M, et al. Two and three-dimensional ct mapping of hoffa fractures [J]. J Bone Joint Surg Am, 2017, 99(21): 1866-1874.
- [14] Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, et al. AO Spine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(23): 2028-2037.
- [15] Smith HE, Anderson DG, Vaccaro AR, et al. Anatomy, biomechanics, and classification of thoracolumbar injuries [J]. Semin Spine Surg, 2010, 22(1): 2-7.
- [16] Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, et al. Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1982, 7(4): 335-342.
- [17] Ferguson RL, Allen BL Jr. A mechanistic classification of thoracolumbar spine fractures [J]. Clin Orthop Relat Res, 1984, 189: 77-88.
- [18] Lee HM, Kim HS, Kim DJ, et al. Reliability of magnetic resonance imaging in detecting posterior ligament complex injury in thoracolumbar spinal fractures [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(16): 2079-2084.
- [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.
- [20] Dugarte AJ, Tkany L, Schroder LK, et al. Comparison of 2 versus 3 dimensional fracture mapping strategies for 3 dimensional computerized tomography reconstructions of scapula neck and body fractures [J]. J Orthop Res, 2018, 36(1): 265-271.

(收稿日期: 2019-05-12)

(本文编辑: 龚哲妮)