

· 临床研究 ·

CT/MRI 融合成像对腰椎爆裂骨折伴神经损伤手术的意义

张振辉^{1,3}, 潘强强¹, 陈旭义², 梅伟^{1*}, 王庆德¹

(1. 郑州市骨科医院脊柱外科, 河南郑州 450052; 2. 中国人民武装警察部队特色医学中心, 天津 300300;
3. 天津大学医学部, 天津 300072)

摘要: [目的] 评价 CT/MRI 融合成像诊断腰椎爆裂骨折中创伤性马尾神经硬膜疝的价值, 以及确定手术方式的意义。

[方法] 回顾性分析 2016 年 6 月—2020 年 6 月郑州市骨科医院脊柱外科收治的腰椎爆裂性骨折合并椎板骨折、马尾神经损伤 28 例患者的临床资料。术前常规行薄层 CT、MRI 检查, 并使用 Medraw 软件实现 CT、MRI 三维图像的快速配准融合。术中探查验证影像诊断马尾神经根被嵌夹的准确性, 并实施相应个体化手术治疗。[结果] 术前 CT/MRI 图像融合 28 例中, 23 例 (82.1%) 发生马尾神经硬膜疝, 马尾神经根被嵌夹在椎板骨折裂隙中, 术中探查所见与影像所见完全一致, 影像诊断准确率 100.0%。所有患者均顺利手术, 随访 12~26 个月, 平均 (18.5±2.3) 个月。与术前相比, 末次随访时 VAS 评分 [(8.3±0.7), (2.2±0.3), $P<0.001$]、ODI 评分 [(38.5±4.3), (7.2±1.3), $P<0.001$]、JOA 评分 [(12.8±0.8), (25.6±1.4), $P<0.001$] 以及 ASIA 神经功能评级 [A/B/C/D/E, (0/18/7/3/0), (0/0/3/5/20), $P<0.001$] 均显著改善。[结论] 对腰椎爆裂骨折合并神经症状者术前行 CT/MRI 融合成像, 能够直观判断马尾神经硬膜与后方骨折椎板的位置关系, 准确诊断创伤性马尾神经硬膜疝, 为精准手术提供重要参考, 取得了满意的临床结果。

关键词: 脊柱骨折, 椎板骨折, 马尾神经硬膜疝, 融合图像

中图分类号: R683.2 文献标志码: A 文章编号: 1005-8478 (2025) 08-0744-04

Significance of CT/MRI fusion imaging for surgical treatment of lumbar fractures complicated with nerve injury // ZHANG Zhen-hui^{1,3}, PAN Qiang-qiang¹, CHEN Xu-yi², MEI Wei^{1*}, WANG Qing-de¹. 1. Department of Spine Surgery, Zhengzhou Orthopaedic Hospital, Zhengzhou, Henan 450052, China; 2. Specialty Medical Center, PLA Armed Police Force, Tianjin 300300, China; 3. Medical College of Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: [Objective] To evaluate the value of CT/MRI fusion imaging in the diagnosis of traumatic cauda equina dural herniation in lumbar burst fractures, and its significance in determining the surgical technique. **[Methods]** A retrospective study was conducted on 28 patients who received surgical treatment for lumbar burst fracture combined with lamina fracture and cauda equina nerve injury in Zhengzhou Orthopaedic Hospital from June 2016 to June 2020. As thin-slice CT and MRI were performed routinely before operation, and Medraw software was used to achieve rapid registration fusion of CT and MRI 3D images. Intraoperative exploration was conducted to verify accuracy of imaging diagnosis of dural cauda equina herniation, and carried out corresponding individualized surgical treatment. **[Results]** On the preoperative CT/MRI fusion imaging of 28 patients, dural and cauda equina nerve herniation were found in 23 cases, accounting for 82.1%, which presented cauda equina nerve embedded in the lamina fracture gap. The intraoperative findings were completely consistent with the imaging findings, and the diagnostic accuracy of imaging was 100.0%. All patients underwent successful surgery and were followed up for 12 to 26 months (18.5±2.3). Compared with those before surgery, the VAS scores [(8.3±0.7), (2.2±0.3), $P<0.001$], ODI score [(38.5±4.3), (7.2±1.3), $P<0.001$], JOA score [(12.8±0.8), (25.6±1.4), $P<0.001$], and ASIA nerve function scale [A/B/C/D/E, (0/18/7/3/0), (0/0/3/5/20), $P<0.001$] significantly improved at the last follow-up. **[Conclusion]** The CT/MRI fusion imaging taken before surgery for patients with lumbar fracture complicated with neurological symptoms does intuitively determine the position relationship between the dura cauda equina and the posterior lamina fractured, accurately diagnose traumatic dura cauda equina herniation, provide an important reference for accurate surgery, and obtain satisfactory clinical results.

Key words: spinal fracture, lamina fracture, dural cauda equina herniation, fusion imaging

据研究报道约 85.3% 的腰椎爆裂性骨折患者合并椎板骨折, 伴有临床神经损伤表现者发生创伤性马尾

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.110553

作者简介: 张振辉, 主治医师, 研究方向: 脊柱外科, (电子信箱)1041187141@qq.com

* 通信作者: 梅伟, (电子信箱)13613711661@163.com

神经硬膜疝高达 86.7%^[1]。椎管内骨折块对硬膜神经压迫的同时,又可能伴有骨折椎板内马尾神经卡压,形成创伤性马尾神经硬膜疝,脑脊液漏出,处理不当容易引起神经功能恶化^[2]。目前临床多依靠观察术前常规 CT、MRI 图像上骨折椎板内脑脊液填充情况,依此判断骨折椎板内是否发生了马尾神经硬膜疝,但容易漏诊误诊并且影响着手术方案的制定^[3]。近年来,随着医学影像学及图像后处理技术的快速发展,其中的多模态医学影像配准融合技术(CT、MRI 图像)可同时呈现 CT 图像骨组织和 MRI 软组织,在诊疗复杂外科疾病中应用广泛^[4]。基于此,本研究采用回顾性队列研究分析 2016 年 6 月—2020 年 6 月郑州市骨科医院收治的 28 例腰椎爆裂性骨折合并椎板骨折、马尾神经损伤患者的临床资料,以探讨 CT/MRI 融合成像技术在腰椎爆裂性骨折合并椎板骨折中的临床应用价值。

1 临床资料

1.1 一般资料

回顾性分析 2016 年 6 月—2020 年 6 月郑州市骨科医院脊柱外科收治的腰椎爆裂性骨折合并椎板骨折、马尾神经损伤 28 例患者的临床资料,所有患者术前影像显示腰椎爆裂骨折(图 1a, 1b)。其中男 16 例、女 12 例,年龄 19~58 岁,平均(45.6±3.5)岁。骨折椎体发生部位:L₁椎体 4 例,L₂椎体 12 例,L₃椎体 10 例,L₄椎体 1 例,L₅椎体 1 例。致伤原因:高处坠落伤 12 例,交通伤 10 例,重物砸伤 6 例。受伤至本院就诊时间 2 h~3 d,平均(1.2±0.3) d,患者综合情况允许者尽早进行手术。本研究已经通过郑州市骨科医院医学伦理委员会批准(2016 年医伦审 12 号),所有患者均知情同意并签署知情同意书。

1.2 CT/MRI 图像融合检查

术前行 CT、MRI 检查,将患者 CT、MRI 原始 DICOM 数据分别导入 Medraw 软件中,利用所导入 CT 图像序列及 MRI 图像 T1 横断面序列进行图像配准。应用 Medraw 配准功能以得到 CT、MRI 图像坐标系之间的最佳三维刚体变换。再依据 CT 坐标系为参考,对 MRI 图像进行重采样,根据高亮信号优先的原则进行三维图像融合;得出的三维融合图像既保留了 CT 图像中清楚的骨结构特征,也呈现出 MRI 图像中准确的软组织结构(图 1c~1e)。判断是否存在创伤性马尾神经硬膜疝。

1.3 手术方法

患者俯卧位,全身麻醉。常规经后路正中切口显露。于骨折上下相邻 2 个节段双侧置入椎弓根螺钉。对骨折椎板小开窗探查有无发生马尾神经硬膜疝,并与术前影像评估结果做对照。对于未发生马尾神经硬膜疝者,可直接利用钉棒力量进行骨折椎体复位。证实发生马尾神经硬膜疝者,则先进行半椎板或全椎板切除,探查椎管内硬膜囊及疝出马尾神经损伤情况,对于硬膜撕裂者可适当扩大硬膜囊破口,将疝出马尾神经小心还纳于硬膜囊内并闭合修补,对于硬膜囊缺损严重者可采用阔筋膜等组织修补。安装双侧棒,撑开复位骨折,确定解除硬膜囊腹侧压迫。锁紧钉-棒系统,安装横连,结束手术。

术后均常规给予抗炎、镇痛、营养神经等治疗,48~72 h 拔除引流管,脑脊液漏患者根据引流情况适当延长拔管时间,根据恢复情况尽早佩戴支具下床活动。

1.4 评价指标

记录围手术资料,采用疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)、日本骨科协会腰评分(Japanese Orthopaedic Association, JOA)和美国脊柱损伤协会(American Spinal Injury Association, ASIA)神经功能评级评价患者临床状态。行腰椎正侧位 X 线及 CT 检查,评估内固定物位置以及愈合情况

1.5 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对 *T* 检验,等级资料采用秩和检验。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术前图像融合所见与术中探查的一致性

术前 CT/MRI 图像融合 28 例中,23 例发生马尾神经硬膜疝,马尾神经根被嵌夹在椎板骨折裂隙中,占 82.1%。上述 23 例患者术中探查均可见椎体后壁骨折碎片明显突入椎管,向后方压迫硬脑膜囊并使其进入骨折椎板内,形成硬脑膜囊的卡压,部分马尾神经根丝从硬膜囊破口挤出。术中探查所见与术前 CT/MRI 融合影像评估完全一致,影像诊断准确率 100.0%。

2.2 临床结果

依据是否有马尾神经硬膜疝,23 例患者证实发生马尾神经硬膜疝者行椎板切除减压,椎弓螺钉内固定;5 例患者椎板小开窗探查观察未发生马尾神经硬膜疝仅行单纯骨折复位,椎弓螺钉内固定。所有患者

均顺利手术，手术时间为 (95.7 ± 12.3) min，出血量为 (170.4 ± 15.8) mL。2 例患者术后手术切口延迟愈合，对症处理后痊愈。

平均随访 (18.5 ± 2.3) 个月，临床资料见表 1。与术前相比，末次随访时，所有 VAS、ODI、JOA 和 ASIA 神经功能评级均显著改善 $(P < 0.001)$ 。随访期间，X 线及 CT 检查显示内固定位置良好、植骨融合充分，未见内固定松动拔出等并发症发生，术后典型影像见图 1g, 1h。

表 1. 28 例患者临床资料			
Table 1. Clinical data of the 28 patients			
指标	术前	末次随访	P 值
VAS 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	8.3 \pm 0.7	2.2 \pm 0.3	<0.001
ODI 评分 (% , $\bar{x} \pm s$)	38.5 \pm 4.3	7.2 \pm 1.3	<0.001
JOA 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	12.8 \pm 0.8	25.6 \pm 1.4	<0.001
ASIA 评级 (例, A/B/C/D/E)	0/18/7/3/0	0/0/3/5/20	<0.001

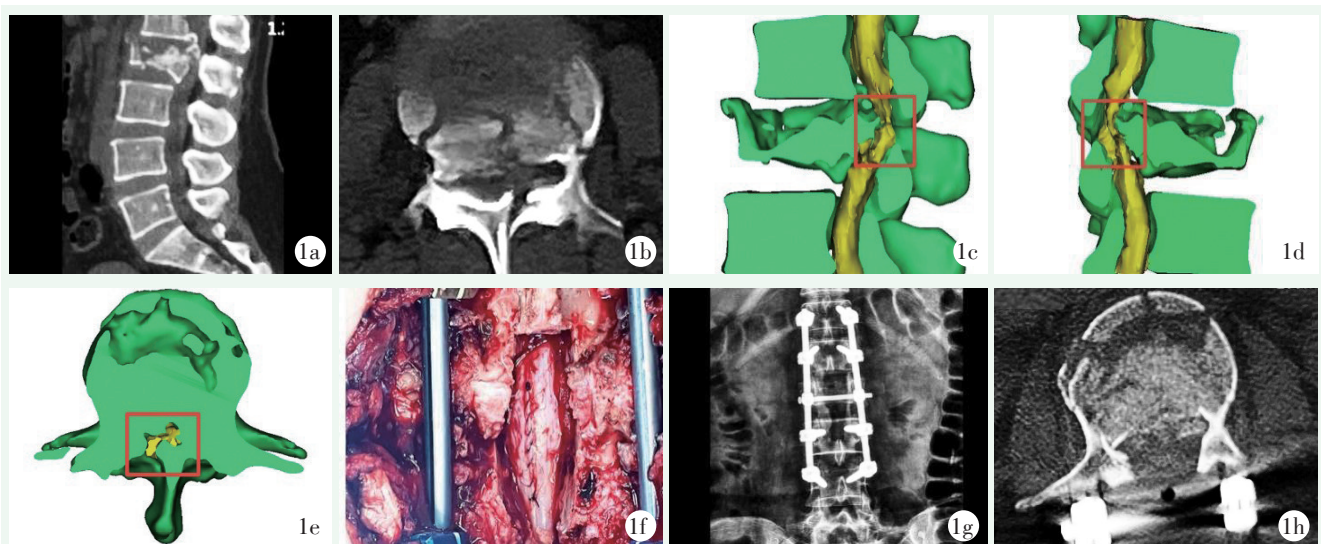


图 1. 患者女性，50 岁，L₂ 椎体爆裂性骨折合并椎板骨折。1a: 腰椎侧位 X 线片示 L₂ 双侧椎弓根间距变宽，椎体高度降低明显，局部后凸畸形；1b: 腰椎横断位 CT 示左侧椎板骨折，椎体后壁爆裂骨折并突入椎管；1c: CT/MRI 融合图像左侧面观，红色方框内可见椎体后缘及椎板骨折严重，硬膜囊受压明显；1d: CT/MRI 融合图像右侧面观，红色方框内可见硬膜囊前后方受压，卡顿在后方骨折椎板内；1e: CT/MRI 融合图像横断面观，红色方框内可见左侧马尾神经硬膜疝入骨折椎板；1f: 术中给予硬膜囊缝合修补；1g: 末次随访腰椎正侧位 X 线片示 L₂ 椎体高度恢复，内固定位置良好；1h: 末次随访腰椎横断位 CT 示 L₂ 椎体后缘骨折复位良好。

Figure 1. A 50-year-old male suffered from L₂ vertebral burst fracture with lamina fracture. 1a: Lateral radiographs of the lumbar spine showed a wider distance between the bilateral pedicles, a significant reduction in vertebral height, and local kyphosis; 1b: A transverse CT scan of the lumbar spine showed a fracture of the left lamina, a burst fracture of the posterior wall of the vertebral body and a protrusion into the spinal canal; 1c: On the left side view of the CT/MRI fusion image, the posterior margin of the vertebral body and lamina were severely fractured in the red box, and the dural sac was obviously compressed; 1d: On the right side view of the fusion CT/MRI image, anterior and posterior compression of the dural sac was seen in the red box, and the pileup was in the posterior fractured lamina; 1e: Cross-sectional view of CT/MRI fusion image, the left cauda equina dural herniation into the fractured lamina was seen in the red box; 1f: Intraoperative dural sac suture repair was given; 1g: At the last follow-up, anterolateral radiographs of the lumbar spine showed that the L₂ recovered in height with implant in good position; 1h: At the last follow-up, cross-sectional CT of the lumbar spine showed good reduction of the L₂ posterior margin fracture.

3 讨论

对于腰椎爆裂性骨折合并椎板骨折的患者，手术是否需要神经减压及减压的方式取决于骨折椎板内有无发生马尾神经硬膜疝，因此术前做出准确的判断十分重要^[5]。而目前单一 CT 或 MRI 无法满足准确诊断的要求^[6]。本研究利用三维 CT 图像和 MRI 图像

的配准融合，同时充分发挥 CT、MRI 图像各自的优势，实现在同一图像系统中分别呈现出骨折椎板骨性结构和神经软组织边界，重建出腰椎爆裂性骨折骨-神经组织融合图像^[7, 8]。作者共纳入的 28 例腰椎爆裂性骨折合并椎板骨折患者，其中 23 例 (82.1%) 发生马尾神经硬膜疝，马尾神经根被嵌夹在椎板骨折裂隙中，与作者术前基于 CT/MRI 融合图像术前评估

完全一致, 准确性高, 临床应用可靠, 也进一步证实了三维图像融合技术在辅助诊断方面的优势所在^[9]。其次, 融合图像还能进一步明确神经卡压的具体解剖位置, 为术中精准神经减压提供参考借鉴^[10]。

既往对于腰椎爆裂骨折合并椎板骨折患者的手术治疗, 都以全椎板切除减压为主^[11]。腰椎爆裂性骨折合并马尾神经硬膜患者大多都伴有不同程度的神经功能障碍症状^[12]。作者术中先对骨折椎板小开窗探查有无发生马尾神经硬膜病: 对于证实未发生马尾神经硬膜病者, 可直接利用钉棒力量进行骨折椎体复位^[13]; 证实发生马尾神经硬膜病者, 则强调必须先进行半椎板或全椎板的神经减压, 探查椎管内硬膜囊及疝出马尾神经损伤情况, 有些部分马尾神经从硬膜囊破口处脱出并嵌夹在骨折椎板处, 此时进行减压时应谨慎操作, 仔细还纳疝出马尾神经纤维束并修复硬膜囊^[14]。28例患者术后临床疗效显著, 与术前相比, 末次随访时所有患者VAS、JOA和ASIA神经功能评级均显著改善($P<0.05$)。

综上所述, 对腰椎骨折合并神经症状者术前行三维CT/MRI融合成像, 能够直观判断马尾神经硬膜与后方骨折椎板的位置关系, 准确诊断创伤性马尾神经硬膜病, 在实现准确诊断和安全高效手术方面具有指导意义。但本研究还存在纳入样本量较少等不足之处, 在后续研究中将进一步增加样本量, 提高临床应用效果。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张振辉: 课题设计、实施和论文写作、采集分析和解释数据、统计分析、获取研究经费及行政、技术或材料支持、支持性贡献; 潘强强: 采集数据及行政、技术或材料支持; 陈旭义: 采集分析和解释数据、论文写作、统计分析; 梅伟、王庆德: 分析和解释数据、论文审阅及行政、技术或材料支持、支持性贡献

参考文献

- [1] 翟腊梅, 陶伟伟. 腰椎爆裂骨折硬脊膜完整性术前评估指标分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(12): 1083-1087. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.12.06.
- [2] Zhai LM, Tao WW. An analysis on preoperative parameters for evaluating dural integrity in lumbar burst fracture[J]. Orthopedic Journal of China, 2019, 27(12): 1083-1087. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.12.06.
- [3] Choi HJ, Park SH, Choi JI, et al. Assessment of instability in thoracolumbar burst fractures using a new bone scan scoring system[J]. Medicina (Kaunas), 2022, 58(8): 979. DOI: 10.3390/medicina58080979.
- [4] Giordan E, Del VJ, Pastorello G, et al. Treatment of thoracolumbar burst fractures: spinejack vs. Posterior arthrodesis-comparison of clinical and radiological outcomes[J]. J Spine Surg, 2022, 8(2): 242-253. DOI: 10.21037/jss-21-118.
- [5] Nemecek SF, Peloschek P, Schmook MT, et al. CT-MR image data fusion for computer-assisted navigated surgery of orbital tumors[J]. Eur J Radiol, 2010, 73(2): 224-229. DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.11.003.
- [6] 周金华, 张文玺, 乔之军, 等. 3D打印伤椎置钉内固定胸腰椎爆裂骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(8): 699-703. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.08.06.
- [7] Zhou JH, Zhang WX, Qiao ZJ, et al. Pedicle screw fixation of thoracolumbar burst fractures with screw placed on the injured vertebrae and preoperative simulating on 3D printed models[J]. Orthopedic Journal of China, 2021, 29(8): 699-703. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.08.06.
- [8] Shi X, Xiang S, Dai B, et al. Association of the presence and its types of lamina fractures with posterior dural tear and neurological deficits in traumatic thoracic and lumbar burst fractures[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22(1): 300. DOI: 10.1186/s12891-021-04178-9.
- [9] Tisot RA, Avanzi O. Laminar fractures as a severity marker in burst fractures of the thoracolumbar spine[J]. J Orthop Surg, 2009, 17(3): 261-264. DOI: 10.1097/01.brs.0000231730.34754.9e.
- [10] Meves R, Avanzi O. Correlation among canal compromise, neurologic deficit, and injury severity in thoracolumbar burst fractures[J]. Spine, 2006, 31(18): 2137-2141. DOI: 10.1097/01.brs.0000231730.34754.9e.
- [11] Kahamba JF, Rath SA, Antoniadis G, et al. Laminar and arch fractures with dural tear and nerve root entrapment in patients operated upon for thoracic and lumbar spine injuries[J]. Acta Neurochir, 1998, 140(2): 114-119. DOI: 10.1007/s007010050071.
- [12] Aoyama R, Anazawa U, Hotta H, et al. The utility of augmented reality in spinal decompression surgery using CT/MRI fusion image[J]. Cureus J Med Sci, 2021, 13(9): e18187. DOI: 10.7759/cureus.18187.
- [13] Krempien RC, Daeuber S, Hensley FW, et al. Image fusion of ct and mri data enables improved target volume definition in 3D-brachytherapy treatment planning[J]. Brachytherapy, 2003, 2(3): 164-171. DOI: 10.1016/S1538-4721(03)00133-8.
- [14] Kaminsky J, Rodt T, Zajaczek J, et al. Multisegmental image fusion of the spine[J]. Biomed Tech (Berl), 2004, 49(3): 49-55. DOI: 10.1515/BMT.2004.010.
- [15] Xu H, Yuan J, Ma J. MURF: mutually reinforcing multi-modal image registration and fusion[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2023, 45(10): 12148-12166. DOI: 10.1109/TPAMI.2023.3283682.
- [16] Siddeshappa N, Chhaya MM, Prabhu GK, et al. 3-dimensional neurosurgical planning using multilevel CT-MRI image registration and fusion[J]. Turk Neurosurg, 2023, 33(5): 745-753. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.37166-21.3.

(收稿:2024-07-26 修回:2024-09-19)
(同行评议专家: 栾继耀, 毛克政)
(本文编辑: 闫承杰)