

后Pilon骨折的三维骨折地图绘制与成像分析

王 诚, 李学谦, 傅绍菱, 施忠民, 邹 剑*

上海交通大学医学院附属第六人民医院骨科, 上海

收稿日期: 2022年9月24日; 录用日期: 2022年10月17日; 发布日期: 2022年10月26日

摘 要

目的: 本研究旨在根据CT二维与三维成像技术描绘并量化后pilon骨折线、骨折块在三平面上发生的位置和频率。方法: 对我院骨科2018年1月至2020年12月收治的47例后pilon骨折的影像学资料进行回顾分析。根据CT影像学数据对骨折进行三维重建, 并将骨折线、骨折块和关节面情况叠加到胫骨远端3D模型上。通过骨折线特征以及骨折块的数量和体积对骨折地图特征分别进行定性、定量总结。结果: 47例后pilon骨折定位均显示后外侧与后内侧两条相交的骨折线, 以及后内侧(PM)和后外侧(PL)骨块。骨折块面积与胫骨远端面积的比值(FAR1)为20.65% (4.30%~48.84%), 骨折线长度、宽度与高度的平均值分别为27.97 (14.56~45.30) mm, 4.72 (0.79~21.62) mm, 23.15 (9.10~42.00) mm。3D模型图显示了骨折线、粉碎区和三平面骨折块的走行分布与骨折模式。结论: 后pilon骨折PM与PL骨折块较大, 累及关节面的同时常累及内踝, 粉碎性骨块较少。通过对三维CT模型的量化可以可靠地评估后pilon骨折的骨折特征, 以此为未来内植物和生物力学模型的设计提供参考。

关键词

后Pilon, 骨折, 三维成像, 骨折图

Three-Dimensional Fracture Mapping and Imaging Analysis of Posterior Pilon Fractures

Cheng Wang, Xueqian Li, Shaoling Fu, Zhongmin Shi, Jian Zou*

Department of Orthopedics, Shanghai Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai

Received: Sep. 24th, 2022; accepted: Oct. 17th, 2022; published: Oct. 26th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 王诚, 李学谦, 傅绍菱, 施忠民, 邹剑. 后 Pilon 骨折的三维骨折地图绘制与成像分析[J]. 临床医学进展, 2022, 12(10): 9662-9669. DOI: 10.12677/acm.2022.12101396

Abstract

Objective: This study aims to delineate and quantify the location and frequency of posterior pilon fracture lines and fracture mappings occurring in the triplane according to CT 2D and 3D imaging technology. **Methods:** The imaging data of 47 posterior pilon fractures admitted in our orthopedics department from January 2018 to December 2020 were reviewed. The fracture was reconstructed in 3D based on the CT imaging data, and the fracture line, fracture block, and articular surface conditions of distal to the tibia were superimposed on the 3D model. The fracture mapping features were qualitatively and quantitatively summarized by fracture line features and the number and volume of fracture mappings. **Results:** All 47 posterior pilon fracture localization showed two fracture lines crossing the posterolateral (PL) and posteromedial bones (PM). The average ratio of fracture area to distal tibia area (FAR1) was 20.65% (4.30%~48.84%), and the average value of fracture line length, width and height were 27.97 (14.56~45.30) mm, 4.72 (0.79~21.62) mm, and 23.15 (9.10~42.00) mm, respectively. The 3D model imaging showed the distribution and fracture pattern of the fracture line, comminuted area, and triplane fracture mappings. **Conclusion:** The PM of pilon fractures and PL fractures are large, often involving the medial malleolus and less comminuted bones. The fracture characteristics of posterior pilon fracture can be reliably evaluated for providing reference for the design of future implants and biomechanical models.

Keywords

Posterior Pilon, Fracture, 3D Imaging, Fracture Mapping

Copyright © 2022 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

后 pilon 骨折是一种少见的踝关节关节内损伤, 主要是由踝关节跖屈时受到过度的垂直应力或旋转暴力, 导致后踝延伸至内踝的胫骨远端关节内骨折, 介于低能量与高能量之间[1] [2]。不同于三踝骨折或其他类型的踝关节骨折, 由于后 pilon 骨折累及胫骨远端关节面且可能存在压缩骨块, 它是一种独特的骨折类型, 预后较差[2] [3] [4]。

目前对于后 pilon 骨折的骨折形态分析较少。Klammer 等[5]基于二维 CT 图像对 11 例后 pilon 骨折病例进行了报告且根据横断面上后踝骨折线形态分为 3 型: I 型骨折累及整个后踝, 并有一个朝向后外侧的长斜形基底; II 型骨折线延伸至内踝后丘; III 型包括单独内侧和/或外侧骨块, 包括内踝前后丘, 伴有骨折脱位和严重软组织损伤。尽管已有学者对后 pilon 骨折影像形态学进行了描述, 但尚未补充骨折地图绘制方面的研究[2] [6]。骨折地图绘制技术是定义骨折线特征的良好工具, 尤其在三维成像中更为有效[7] [8]。本研究通过骨折地图绘制对后 pilon 骨折线特征进行描述, 并测量主要骨块大小, 为后期骨折手术入路、钢板置入及钢板设计提供临床参考。

2. 资料与方法

2.1. 临床资料

笔者对 2018 年 1 月至 2020 年 12 月在院诊断为后 pilon 骨折的病历资料进行了收集。CT 横断面上骨

折线累及内踝是后 pilon 骨折的诊断标准。纳入标准包括：1) 符合后 pilon 骨折诊断标准；2) 影像学资料完整，包括踝关节正侧位 X 片及 CT 平扫 + 三维重建。排除标准包括：1) 开放或病理性骨折；2) 伴有同侧其余足踝部骨折；3) 儿童骨折；4) 存在争议诊断的后 pilon 骨折。最终符合上述标准的后 pilon 骨折共 47 例。

2.2. 测量方法

由具有后 pilon 骨折治疗经验的骨科医生指导软件工程师使用 Mimics 软件进行二维、三维成像模拟与测量。首先根据先前的二维 CT 成像对骨折模式与损伤机制进行分析[9]。根据 CT 影像学数据对骨折进行三维重建和模拟，然后导入 Mimics 软件(Materialise)进行加工处理，例如旋转、翻转和标准化。随后将骨折线、骨折块和关节面情况叠加到胫骨远端 3D 模型上，实现胫骨远端三维模型的最佳匹配。通过骨折线特征以及骨折块的数量和体积对骨折地图特征分别进行定性、定量总结。参考解剖标志包括胫骨远端腓切迹后侧、胫骨后结节和内踝后丘。在三维模型表面绘制平滑曲线以表示骨折线，同时对骨折移位、关节凹陷以及干骺端区域的骨折线延伸进行标记(图 1~4)。最后，将所有骨折线和骨折块重叠到三维模型上，以生成骨折线图(图 5)。然后，对每种骨折线的图像进行组合，得到总体骨折线图(图 6)。

2.3. 统计学分析

当无法定量呈现骨折特征时，采用了骨折线图的描述性分析。使用 SPSS 26.0 (IBM)对所有数据进行统计分析。测量数据采用均值(Mean)来描述。

3. 结果

3.1. 一般情况

共纳入 47 例后 pilon 骨折，按照 Klammer 分型 III 型骨折 32 例，II 型骨折 15 例。本研究中导致后 pilon 骨折的因素主要包括 14 例车祸伤和 33 例摔倒、扭伤。所有的 X 线摄片和 CT 成像均由两名具有 5 年以上临床经验的临床医生完成。所有病例均含后内侧(PM, the posteromedial)和后方侧(PL, the posterolateral)胫骨远端骨折块。PM 骨块主要骨折线均累及内踝，存在距骨脱位或半脱位 36 例(76.6%)。其中 41 例合并有外踝斜形骨折，6 例合并内踝完全骨折。

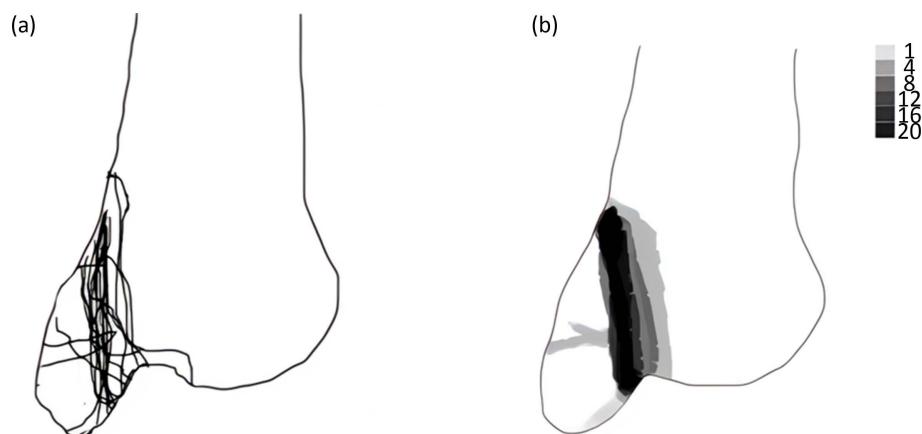


Figure 1. Coronal view of the left posterior pilon fracture in 2D imaging. (a) represents fracture line distribution map, (b) represents fracture frequency map. The darker the color, the higher the frequency of the fracture

图 1. 右侧后 pilon 骨折二维成像前方冠状位视图。(a) 骨折线分布图，(b) 骨折频率图。颜色越深代表粉碎区频率越高

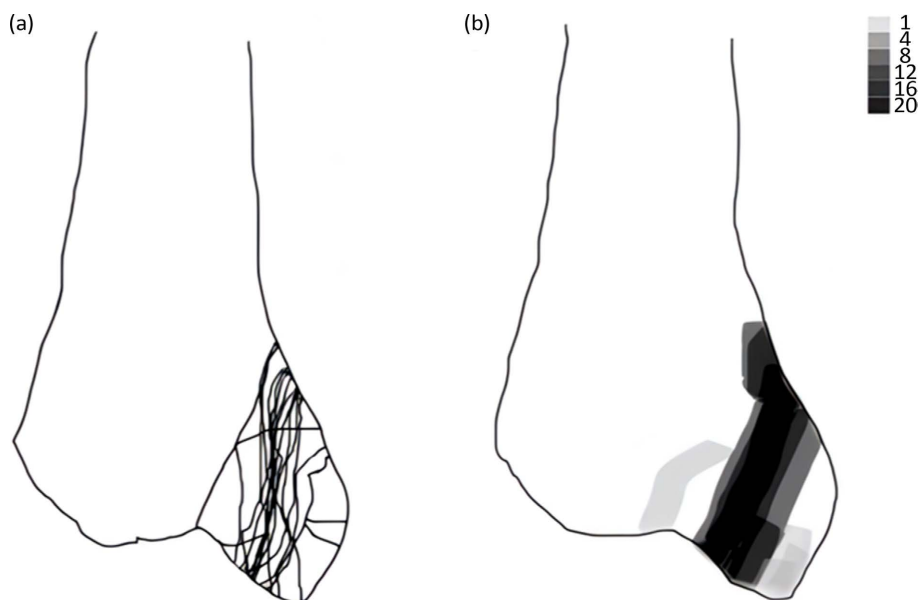


Figure 2. Coronal view of the left posterior pilon fracture from behind in 2D imaging. (a) represents fracture line distribution map, (b) represents fracture frequency map. The darker the color, the higher the frequency of the fracture

图 2. 左侧后 pilon 骨折二维成像骨折后方冠状位视图。(a) 骨折线分布图, (b) 骨折频率图。颜色越深代表粉碎区频率越高

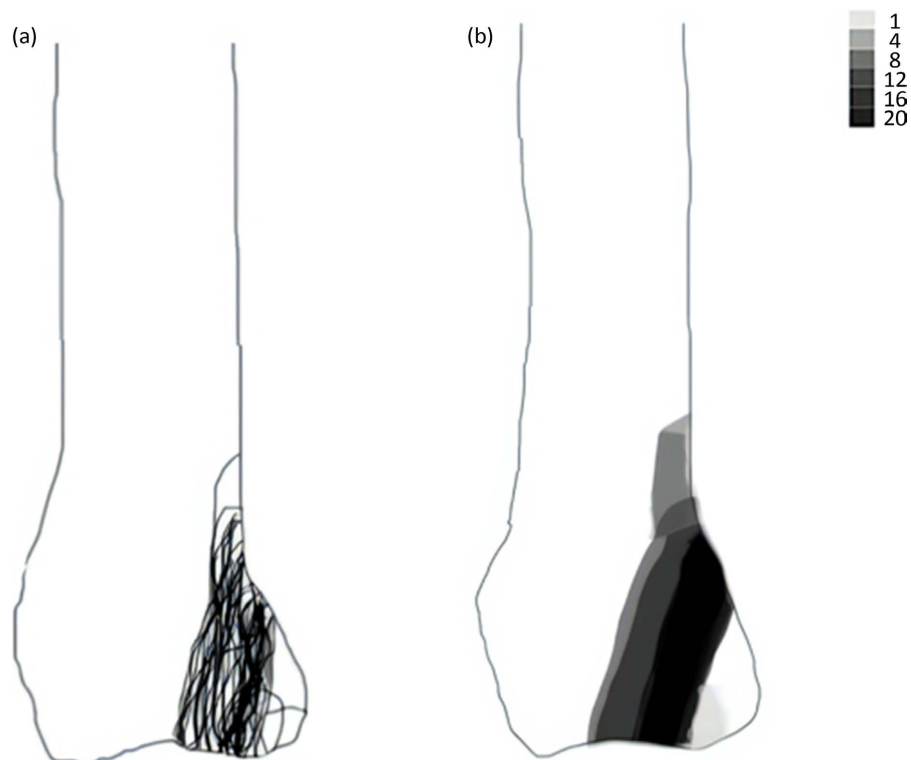


Figure 3. Sagittal view of posterior pilon fracture in 2D imaging. (a) represents fracture line distribution map, (b) represents fracture frequency map. The darker the color, the higher the frequency of the fracture

图 3. 后 pilon 骨折二维成像外侧矢状位视图。(a) 骨折线分布图, (b) 骨折频率图颜色越深代表粉碎区频率越高

3.2. 后 Pilon 主要骨折块的骨折地图绘制分析

在二维成像上, 胫骨远端矢状面上除了 PL 骨块, 可见到胫骨远端后内侧平台一条垂直的骨折线。在横截面上, 后外侧骨折线大多数自腓骨切迹中后 1/2 向内踝后丘延伸。与之相比的, 后内侧骨折线呈斜形, 自内踝向后外侧方向沿内踝内侧关节面走形居多, 走形分布大多数围绕内踝后丘, PM 骨块可能仅包括内踝后丘, 也可能累及全部内踝。并且内踝骨折线的集中程度较低, 轨迹变化较大(图 1~5)。

在三维成像上, 大多数 PM 骨块的骨折线沿内踝上方 5~10 cm 的轨迹延伸, 自胫骨远端后方向内踝

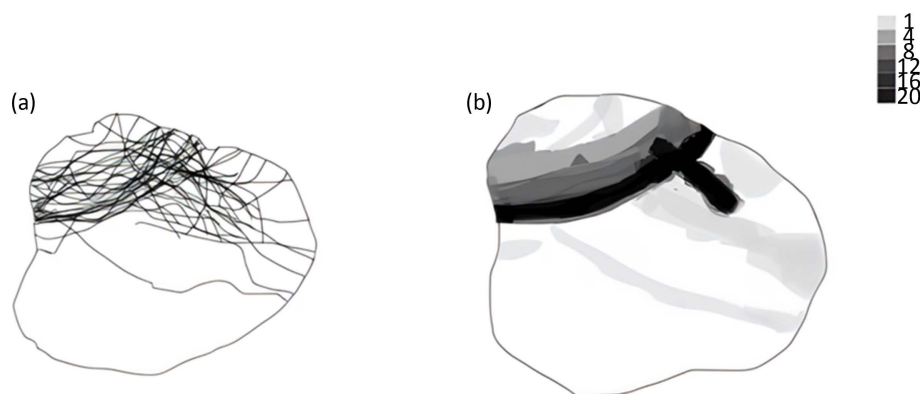


Figure 4. Cross-sectional view of posterior pilon fracture in 2D imaging. (a) represents fracture line distribution map, (b) represents fracture frequency map. The darker the color, the higher the frequency of the fracture

图 4. 后 pilon 骨折二维成像横截面视图。(a) 骨折线分布图, (b) 骨折频率图。颜色越深代表粉碎区频率越高

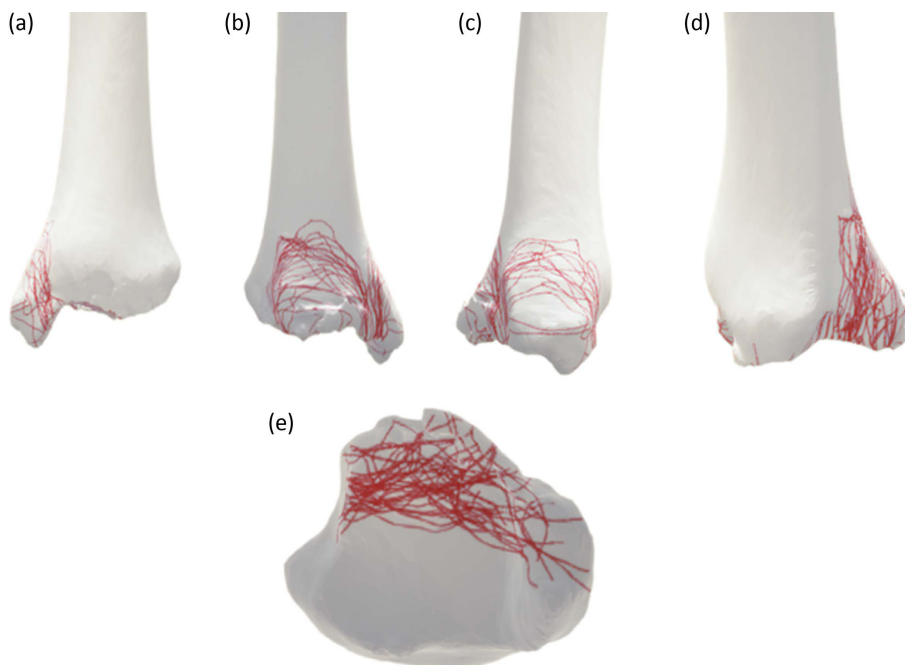


Figure 5. Fracture line distribution in 3D reconstruction of posterior pilon fracture. It includes front view, rear view, side view, and horizontal view. The fracture line appears as red lines on the posterior and medial malleolus

图 5. 后 pilon 骨折三维重建骨折线分布情况。包括前视图、后视图、侧视图和水平视图。骨折线表现为分布于后踝与内踝的红线

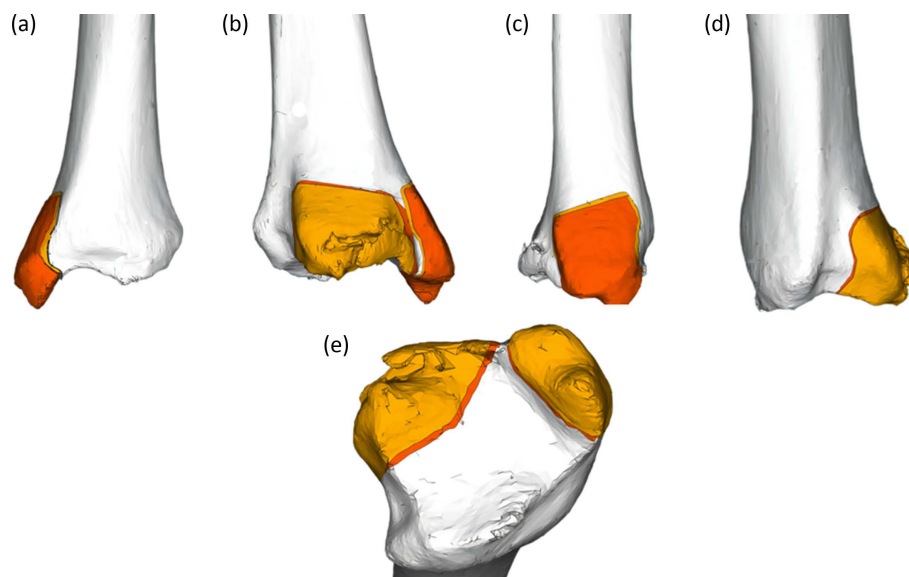


Figure 6. Three-dimensional reconstruction map of the comminuted area of posterior pilon fracture. It includes front view, rear view, side view, and horizontal view

图 6. 后 pilon 骨折粉碎区三维重建地图绘制。包括前视图、后视图、侧视图和水平视图

方向走行。从侧面看，骨折线向前上方延伸至胫骨远端前关节面。最后从后视图看，PM 骨块的骨折线汇入内踝后丘(图 6)。通过组合平面分析，能够确定后 pilon 骨折 PM 骨块常见的骨折平面，该骨折平面起源于内踝后丘，并向前上方和向前内侧横穿(图 6)。粉碎区集中在内踝垂直向上的胫骨内侧部分，该区域被认为是垂直暴力的主要受累区。测量骨折块的体积大小，并计算横断面上骨折块面积比(FAR)，即后 pilon 骨块面积与胫骨远端关节面面积的比值。骨折块长度平均值为 27.97 (14.56~45.30) mm，骨折块宽度平均值为 4.72 (0.79~21.62) mm，骨折块高度平均值：23.15 (9.10~42.00) mm，FAR 均值为 20.65% (4.30%~48.84%)。

4. 讨论

后 pilon 骨折是一种特殊的踝关节骨折类型，其受伤机制是踝关节在跖屈状态下受到高能量垂直暴力和旋转暴力。骨折线延伸至内踝是其特点。通过 X 线片及 CT 扫描的结合能够根据形态特征基本区分后 pilon 骨折和后踝骨折，并协助识别骨折类型和进行术前规划。踝关节侧位 X 线上可见胫骨后缘骨折线。虽然 X 线片上的“双廓征”与“台阶征”是明确后 pilon 骨折诊断的特征性图像，但骨折线方向、内踝累及情况、骨折块大小和数量等详细情况需进行 CT 检查加以确认[4]。后 pilon 骨折 CT 冠状面的特点在于存在两块或两块以上的骨折块[2]。一些后 pilon 骨折的形态学研究显示，PM 与 PL 骨折块在各方面都存在差异，主要包括骨折线方向、骨折块前后径与胫骨远端前后径比值，以及骨折块最大高度等[6] [10]。另外，一项研究显示了后 pilon 骨折与后踝骨折以及不同分型后 pilon 骨折在 CT 形态学方面都存在差异[11]。因此，针对后 pilon 骨折的二维、三维骨折地图绘制研究将有助于推进后 pilon 骨折的形态学分析和损伤机制讨论。

本次研究通过二维和三维骨折标测技术结合放射学测量来阐明后 pilon 骨折的一般骨折模式，并对骨折块形态进行测量。与以往的二维骨折图绘制分析不同，本研究侧重于关节三维平面重复出现的骨折线，立体地呈现了骨折线分布及走形，同时有助于对原发骨折平面进行精准定位。研究发现，后 pilon 骨折线矢状面上存在垂直骨折线和位于后方的冠状骨折线，并且 PM 与 PL 骨块的骨折线通常方向相反。在横断面扫描中，PL 骨折线大多自腓骨切迹向胫骨远端后方走形，而 PM 骨折线大多自胫骨远端后方向内踝方

向走行, 两处骨折线呈交叉分布, 有时两处骨折线也会联合在一起。在 CT 三维重建图像绘制出的骨折地图中, PL 骨折块在冠状面上自内踝后丘斜向外上方至腓骨切迹居多, 在矢状面上自胫骨关节面 1/2 处向后上方呈“S”形走行, 在横断面上自腓骨切迹中后 1/2 向内踝后丘走行; PM 骨块骨折线在冠状面上自内踝内侧关节面斜向后上方分布居多, 在矢状面上自内踝后丘斜向前上方至胫骨远端前方居多, 在横断面上沿内踝内侧关节面走行居多。虽然骨折线及其他信息可以通过骨折二维成像反映, 但三维地图绘制显示了 PM 与 PL 的解剖位置、面积占比和体积大小。因此, 将二维与三维成像两种技术相结合的方式可以提高对后 pilon 骨折完整性和准确性的理解。

后 pilon 骨折骨折地图绘制所呈现的二维、三维影像学特征, 决定了其特殊的手术入路、固定方法。骨折块面积超过 10% 关节面的后 pilon 骨折应考虑手术治疗[1], 而在本次研究中的骨折块平均面积为 20.65%, 因此绝大多数的病例均需要手术治疗。常见的后 pilon 骨折入路有后外侧入路和改良后内侧入路, 这与本次研究的 PM 及 PL 骨块的分布也存在相关性。改良后内侧入路可以直接显露 PM、PL 骨块, 实现大多数后 pilon 骨折的解剖复位[3]。由于骨折的发生是在后方, 且骨块较大, 通过后外侧或后内侧入路切开复位支撑钢板内固定对后 pilon 骨折块的固定效果优于间接复位前后位螺钉固定[12], 当采用多向锁定钢板后, 其远端能覆盖包括 PL、PM 骨块在内的广泛区域[13][14]。在本研究中, 作者认为可根据影像学资料个性化选择后外侧及改良后内侧入路。如果 PM 骨块较大, 后外侧入路也可实现后内侧暴露与固定。而 PM 骨块粉碎或存在游离骨碎片时通常会选择从后外侧转为后内侧或联合入路。由于内踝区域对稳定性承担了大部分生理负荷和结构要求, 可能需要特别关注。同时需要兼顾 PL 骨块的精准定位, 以避免复位不良。

本次研究具有一定局限性。首先, 本研究中提出的骨折机制与实际情况可能并不完全一致。除了患者无法准确回忆骨折发生的情景, 影像科测试装置, 以及患者的骨骼质量、骨密度、肌肉强度、韧带张力等方面可能存在差异, 从而导致偏倚。此外, 本研究中后 pilon 骨折的形态学评估是基于 CT 成像获得的, 骨折图可能并不代表遗漏的或未经 CT 检查的后 pilon 骨折。最后, 本研究中采用的骨折分类标准来自以往的研究, 仍需要系统研究, 专门研究后 pilon 骨折的损伤力机制, 包括力向量和踝关节位置。

综上所述, 骨折地图绘制技术得到的相关数据能更好地显示后 pilon 骨折的后外侧与后内侧骨折块。该形态学研究清晰展现了胫骨远端关节面与后 pilon 骨折线地图, 不仅有助于识别这一挑战性损伤的主要骨折平面和机制, 还能提示潜在的周围韧带损伤。该研究对术前计划的优化至关重要, 例如手术入路和内固定方式、材料的选择。目前还需要进一步研究来验证评估方式的可靠性, 以及在手术方案制定中的潜在价值。

基金项目

2020 年度宁夏回族自治区重点研发计划, 基金号: 2020BCH01001; 2020 年度上海“科技创新行动计划”国内科技合作项目编号: 20025800200; 2019 年度“上海交通大学医工(理)交叉基金资助”基金号: YG2019QNB16。

参考文献

- [1] Amorosa, L.F., Brown, G.D. and Greisberg, J. (2010) A Surgical Approach to Posterior Pilon Fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 24, 188-193. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181b91927>
- [2] 李勇奇, 罗瑞, 杨云峰. 后踝骨折及后 pilon 骨折分型的研究进展[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15(3): 234-240. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-9958.2022.03.13>
- [3] Chaparro, F., Ahumada, X., Urbina, C., et al. (2019) Posterior Pilon Fracture: Epidemiology and Surgical Technique. *Injury*, 50, 2312-2317. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.10.007>
- [4] Switaj, P.J., Weatherford, B., Fuchs, D., et al. (2014) Evaluation of Posterior Malleolar Fractures and the Posterior Pi-

- lon Variant in Operatively Treated Ankle Fractures. *Foot & Ankle International*, **35**, 886-895. <https://doi.org/10.1177/1071100714537630>
- [5] Klammer, G., Kadakia, A.R., Joos, D.A., *et al.* (2013) Posterior Pilon Fractures: A Retrospective Case Series and Proposed Classification System. *Foot & Ankle International*, **34**, 189-199. <https://doi.org/10.1177/1071100712469334>
- [6] 王驭恺, 王建伟, 罗从凤, 等. 后 Pilon 骨折影像形态学研究[J]. 国际骨科学杂志, 2016, 37(6): 401-405. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-7083.2016.06.013>
- [7] Su, Q.H., Liu, J., Zhang, Y., *et al.* (2020) Three-Dimensional Computed Tomography Mapping of Posterior Malleolar Fractures. *World Journal of Clinical Cases*, **8**, 29-37. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i1.29>
- [8] Zeng, J., Xu, C., Xu, G., *et al.* (2022) Evaluation of Ankle Fractures in 228 Patients from a Single Center Using Three-Dimensional Computed Tomography Mapping. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **10**, Article ID: 855114. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.855114>
- [9] Zhang, Z.C., He, W.B. and Lin, H. (2022) Analysis of the Efficacy of a Modified Posteromedial Approach for Klammer III Posterior Pilon Fractures. *Chinese Journal of Traumatology*, **25**, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.cjte.2022.01.003>
- [10] 张庭庭, 白曼莫, 吉思璇, 等. 后 Pilon 骨折的 CT 影像形态学分析及 CT 指导不同分型骨折手术治疗效果分析[J]. 中国医学装备, 2022, 19(4): 85-91. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-8270.2022.04.016>
- [11] Sukur, E., Akman, Y.E., Gokcen, H.B., *et al.* (2017) Open Reduction in Pilon Variant Posterior Malleolar Fractures: Radiological and Clinical Evaluation. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **103**, 703-707. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.05.012>
- [12] Hoekstra, H., Rosseels, W., Rammelt, S., *et al.* (2017) Direct Fixation of Fractures of the Posterior Pilon via a Posteromedial Approach. *Injury*, **48**, 1269-1274. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.03.016>
- [13] 赵宏谋, 梁晓军, 俞光荣, 等. 三种内固定方法治疗外侧 Pilon 骨折的临床与生物力学分析[J]. 中国修复重建外科杂志, 2013, 27(10): 1190-1195.
- [14] 赖志斌, 朱永展, 邹运璇, 等. 改良后内侧经胫长屈肌外侧入路治疗后 Pilon 骨折[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(15): 1077-1082.