胫骨平台骨折线的三维模型分析

https://doi.org/10.12307/2022.054
投稿日期：2021-04-12
送审日期：2021-04-16
采用日期：2021-04-30
在线日期：2021-06-10
中图分类号：
R459.9；R318；R683.42
文章编号：
2095-4344(2022)03-00334-06
文献标识码：A

邓朝阳，杨朝晖

文章快速阅读：

对象：	方法：	结果：	结论：
收集胫骨平台骨折患者的原始CT资料。	使用Mimics 17.0和3-matic 9.0软件对胫骨平台骨折行三维重建、复位、镜像、拟合、临摹并叠加，得出胫骨平台骨折线三维模型。	胫骨平台骨折线有明显的主要、次要聚集区和低发区。	胫骨平台骨折有好发部位，临床工作中不能完全依赖某一骨折分型，需要个性化分析和治疗。

文题释义：
胫骨平台骨折：胫骨平台位于胫骨近端，外形膨大，松质骨较为丰富，密质骨较少，对暴力抵抗能力较差，其关节面与股骨远端关节面相对应。胫骨平台骨折近年来呈增多趋势，占全部骨折的1.2%，粉碎性骨折更多见，常合并严重的半月板、韧带和血管神经损伤，且常遗留术后畸形等。
骨折线三维模型：2009年ARMITAGE等提出了“骨折线分布地图”技术(骨折地图技术)，该技术将骨折患者的原始CT资料行三维重建，将各重建模型拟合叠加到选择的标准模型上，对骨折线的走行分布、骨折形态特征进行直接观察，为各处骨折的诊断、分型、手术入路及方案、内固定物选择提供了一种更先进的统计研究方案。

摘要
背景：胫骨平台骨折常由于其复杂的骨折类型及不满意的治疗结果，手术入路及治疗方法常不明确。临床常用骨折分型各有侧重，给临床医生的选择带来一定困难。近年来随着骨折地图绘制技术应用于临床研究，骨折地图研究越来越多。
目的：重建胫骨平台骨折三维模型，分析骨折线特点。
方法：回顾性研究133例胫骨平台骨折患者的病历资料，收集其原始影像资料，在Mimics 17.0软件中重建骨折模型，在3-matic 9.0软件中将重建的骨折模型复位并拟合到标准模板，在标准模板上临摹并叠加全部骨折线，分析骨折线分布规律。
结果与结论：①胫骨平台骨折患者年龄大多分布于43-52岁(33.1%)，其中男性患者骨折好发于43-52岁(35.4%)，平均发病高峰为47岁；女性患者骨折好发于53-62岁(40.7%)，平均发病高峰为52岁；②胫骨外侧平台骨折(81.8%)多于内侧平台(31.4%)，骨折线主要集中在外侧平台内侧并延续至胫骨结节、Gerdy结节交界区(75.9%)和髁间嵴(71.5%)，次要骨折线有3条，一条从髁间嵴向腓骨头前缘走行(21.2%)，第2条沿前外侧平台外缘呈外弧形走行(13.8%)，第3条从内侧平台前内侧向后外侧走行并延伸至外侧平台(15.3%)；骨折线较少在胫骨结节(13.1%)、Gerdy结节(10.9%)、后内侧骨块(8.6%)、胫骨腓关节面(7.3%)出现；③结果表明，胫骨平台骨折有好发部位，临床中不能完全依赖某一骨折分型，需要个性化分析和治疗。
关键词：膝；创伤；胫骨平台骨折；骨折线；三维模型；CT；骨折地图；三维重建

Three-dimensional model analysis of tibial plateau fracture lines

Deng Zhaoyang, Yang Zhaohui
Department of Orthopedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China
Deng Zhaoyang, Master candidate, Physician, Department of Orthopedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China
Corresponding author: Yang Zhaohui, MD, Chief physician, Department of Orthopedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China

Abstract
BACKGROUND: Due to complex fracture types and unsatisfactory treatment results of tibial plateau fracture, the surgical approach and treatment methods are often unclear. The common clinical classification of tibial plateau fracture is different, which brings some difficulties to the choice of clinicians. In recent years, with more and more application of fracture mapping technology in clinical research, more and more studies on tibial plateau fracture mapping have been conducted.
OBJECTIVE: To reconstruct the three-dimensional model of tibial plateau fracture and to analyze the characteristics of fracture lines.
METHODS: A retrospective study was conducted in 133 cases of tibial plateau fractures. The original imaging data of patients were collected and used to reconstruct fracture model in Mimics 17.0 software. The reconstructed fracture model was reduced and fitted to the standard template and all fracture lines were delineated and superimposed on the standard template in 3-matic 9.0 software.
RESULTS AND CONCLUSION: (1) Most patients of tibial plateau fracture were aged between 43 and 52 years (33.1%). Fractures in male patients mainly

山西医科大学第二医院骨科，山西省太原市 030001
第一作者：邓朝阳，男，1990年生，山西省临汾市人，汉族，山西医科大学在读硕士，医师，主要从事骨科创伤方面的研究。
通讯作者：杨朝晖，博士，主任医师，山西医科大学第二医院骨科，山西省太原市 030001
https://orcid.org/0000-0002-4914-7754 (邓朝阳)
引用本文：邓朝阳，杨朝晖. 胫骨平台骨折线的三维模型分析 [J]. 中国组织工程研究，2022，26(3):334-339.

occurred between 43 and 52 years old (35.4%), and the average peak age of onset was 47 years; fractures in female patients mainly occurred between 53 and 62 years (40.7%), and the average peak age of onset was 52 years old. (2) The fracture line of lateral tibial plateau (81.8%) was more than that of medial plateau (31.4%). Fracture lines tended to occur mainly on the inner part of the lateral condyle that extended to the junctional zone between Gerdy's tubercle and the tibial tubercle (75.9%), as well as intercondylar eminence (71.5%). There were three secondary fracture lines: One ran from the intercondylar eminence to the front of the fibular head (21.2%). The second line took an outer arc along the outer edge of the anterolateral tibial plateau (13.8%). The third line ran from the anteromedial to the posterolateral that extended to lateral tibial plateau (15.3%). Fracture lines were less likely to occur in the tibial tubercle (13.1%), the Gerdy's tubercle (10.9%), the posteromedial fragment (8.6%), and tibiofibular articular surface (7.3%). (3) Results have showed that tibial plateau fracture has its own predilection sites. In clinical work, individual analysis and treatment are needed instead of relying entirely on a certain fracture type.
Key words: knee; trauma; tibial plateau fracture; fracture lines; three-dimensional model; computed tomography; fracture mapping; three-dimensional reconstruction

How to cite this article: *DENG ZY, YANG ZH. Three-dimensional model analysis of tibial plateau fracture lines. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2022;26(3):334-339.*

0 引言 Introduction

胫骨平台骨折是一种复杂的损伤，损伤原因多样，损伤能量可高可低，由于其复杂的骨折类型及不满意的治疗结果，手术入路及治疗方法往往不明确 [1-2]。临床常用的胫骨平台骨折 X 射线分型如 Hohl-Moore 分型、Schatzker 分型、AO 分型均不能完全反映骨折的真实情况，从而掩盖病情，给临床疗效带来一定偏差 [3-6]。随着影像技术的发展，胫骨平台骨折的 CT 分型相继提出，包括三柱分型 [7-8]、四柱分型 [9]、十段分型 [10]、四柱九区分型等 [11]，见**图 1**，各有其侧重，给临床医生的选择带来一定困难。近年来，骨折地图绘制技术越来越多地应用于临床研究。MOLENAARS 等 [12] 于 2015 年绘制了胫骨平台骨折地图。YAO 等 [13] 于 2019 年绘制了胫骨平台骨折三维热图，使临床医生对胫骨平台骨折有了进一步的认识。

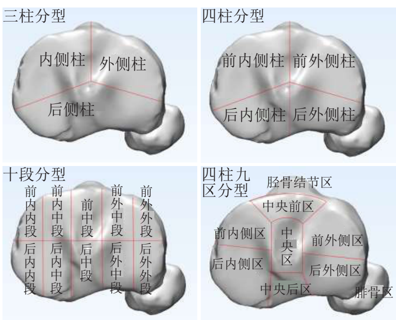


图 1 |**胫骨平台骨折三柱、四柱、十段、四柱九区分型**
Figure 1 | **Classification of three-column, four-column, ten-segment, four column and nine segment of tibial plateau fracture**

研究回顾性分析 137 例胫骨平台骨折患者的病历资料，以原始骨折 CT 数据为基础，重建并虚拟复位平台骨折三维模型，描述骨折线特点，揭示其走行与分布规律，以期指导临床治疗。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性病例资料虚拟复位骨折的三维有限元分析。

1.2 时间及地点 于 2018 年 5 月至 2020 年 10 月在山西医科大学第二医院完成。

1.3 对象 收集 2018 年 5 月至 2020 年 10 月在山西医科大学第二医院行手术治疗的胫骨平台骨折患者 133 例，其中男 79 例，女 54 例；年龄 18–72 岁，平均 (49±11) 岁；左膝骨折 73 例，右膝骨折 56 例，双膝骨折 4 例。所有患者对研究方案均知情同意，且得到山西医科大学第二医院伦理委员会批准。

纳入标准：于山西医科大学第二医院影像科行 CT 检查的胫骨骨折患者。

排除标准：①CT 资料不全；②假体周围骨折及病理骨折；③畸形；④同侧有膝关节手术史。

标准模板：选取骨质较好的 36 岁男性患者健侧 (右侧) 胫骨平台为模板。

1.4 设备和软件 纳入资料设备为山西医科大学第二医院各品牌多层螺旋 CT 机。图像处理用 MIMICS 17.0 和 3-matic 9.0(Materialise's Interactive Medical Image Control System，Materialise®，Materialise HQ) 软件。图像处理设备：操作系统 Windows10 64 位 (DirectX 12)，处理器 Intel(R) Core(TM)i 7-4710HQ CPU@2.50 GHz，主板 Alienware 17 R2(Lynx Point)，内存 16 GB(海力士 DDR3L 1600 MHz)，主硬盘西数 WDC WD10JPVX-75JC3T0(1TB)，主显卡 Nvidia GeForce GTX 980M (4 GB)，显示器 LG LGD0459(17.3 英寸)。

1.5 方法 从医院数据库中筛选符合条件的胫骨平台骨折患者，将其影像学资料以 DICOM 格式导出。用 Mimics 17.0 New project wizard 导入患者 DICOM 格式文件，用 CT Bone Segmentation 创建蒙版，用 Edit Masks 等工具分别在各个层面分离胫骨平台骨折块行三维重建。将重建后的三维骨折模型以 STL 文件格式导入 3-matic 9.0 软件，见**图 2**，通过 Interactive Translate/Rotate 对移位的骨折块进行平移、旋转将骨折块复位，见**图 3**。若平台骨折为左侧，通过 Mirror 工具将其镜像为右侧胫骨平台，见**图 4**。将复位镜像后的骨折模型通过 Scale 工具调整模型大小，以拟合标准模板，见**图 5**。通过 Smooth Carve 工具在标准模板上临摹骨折模型的骨折线，见**图 6**，将所有临摹的骨折线叠加，即可得出平台骨折线三维形态。**图 7** 为一 Schatzker Ⅴ型胫骨平台骨折患者案例。

1.6 主要观察指标 标准模板骨折线走行及聚散程度。

图 2 |**重建后的胫骨平台骨折模型**
Figure 2 | **Reconstruction model of tibial plateau fracture**

图 3 |**复位后的胫骨平台骨折模型**
Figure 3 | **Reduction model of tibial plateau fracture**

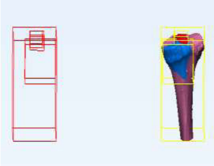


图 4 丨镜像后胫骨平台骨折模型
Figure 4 | Mirror model of tibial plateau fracture

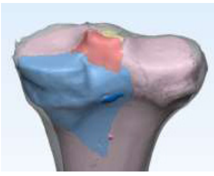


图 5 丨拟合后胫骨平台骨折模型
Figure 5 | Fitting model of tibial plateau fracture

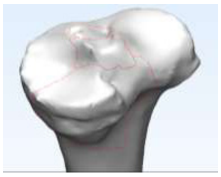
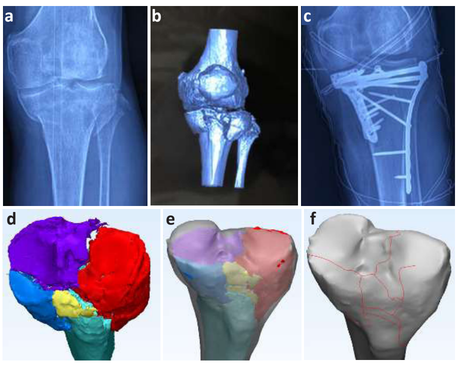


图 6 丨胫骨平台骨折线
Figure 6 | Tibial plateau fracture lines



图注：a、b 为该患者术前 X 射线片、CT 片，显示平台内外侧髁骨折，关节面塌陷；c 为术后 X 射线片，显示复位良好；d 为骨折三维重建模型，清楚显示骨折部位；e 为复位拟合模型；f 为骨折线走行
图 7 丨男性 49 岁 Schatzker Ⅴ型胫骨平台骨折患者典型案例分析
Figure 7 | Analysis of typical case of a 49-year-old man with Schatzker type V tibial plateau fracture

2 结果 Results

2.1 胫骨平台骨折患者年龄分布 患者年龄大多分布于 43–62 岁，骨折最好发于 43–52 岁的患者 (33.1%，44/133)，见图 **8**，其中男性患者好发于 43–52 岁 (35.4%，28/79)，平均发病高峰为 47 岁；女性患者好发于 53–62 岁 (40.7%，22/54)，平均发病高峰为 52 岁。

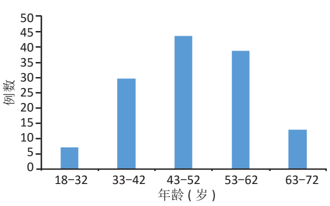


图 8 丨胫骨平台骨折患者年龄分布
Figure 8 | Age distribution of patients with tibial plateau fracture

2.2 轴面骨折线分布 外侧平台骨折线 (81.8%，112/137) 较内侧平台 (31.4%，43/137) 多，骨折线主要集中在外侧平台内侧 (75.9%，104/137) 及髁间嵴 (71.5%，98/137)。外侧平台有 2 条次要骨折线汇集，一条从髁间嵴向腓骨头前缘走行 (21.2%，29/137)，一条沿前外侧平台外缘呈外弧形走行 (13.8%，19/137)。在内侧平台有一条次要骨折线汇集，自前内侧向后外侧走行并延伸至外侧平台 (15.3%，21/137)，而后内侧平台骨折线则较少，见图 **9**，表 1。

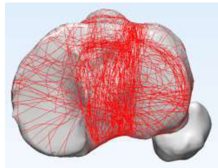
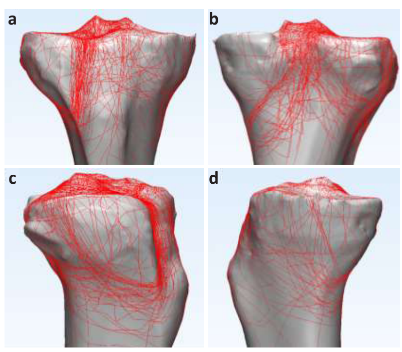


图 9 丨胫骨平台骨折轴面骨折线分布
Figure 9 | Fracture lines distribution of tibial plateau fracture in axial view

表 1 丨胫骨平台骨折患者 137 例骨折线分布情况
Table 1 | Fracture lines distribution of 137 patients with tibial plateau fracture

骨折线分布		*n*	比例
主要分布区	外侧平台内侧并延续至胫骨结节、Gerdy 结节交界区	104	75.9%
	髁间嵴	98	71.5%
次要分布区	髁间嵴向腓骨头前缘走行	29	21.2%
	内侧平台前内侧向后外侧走行并延伸至外侧平台	21	15.3%
	沿前外侧平台外缘呈外弧形走行	19	13.8%
较少分布区	胫骨结节	18	13.1%
	Gerdy 结节	15	10.9%
	后内侧骨块	12	8.6%
	胫骨腓关节面	10	7.3%

2.3 其他位面骨折线分布 在胫骨前方视角，胫骨结节 (13.1%，18/137) 和 Gerdy 结节 (10.9%，15/137) 区域的骨折线较少，骨折线主要集中在二者之间的区域，为外侧平台内侧骨折线的延续；在后方视角，后内侧骨块 (8.6%，12/137) 和胫骨腓关节面 (7.3%，10/137) 区域的骨折线较少；在外侧视角，胫骨腓关节面前方有骨折线集中，为髁间嵴向腓骨头前缘走行骨折线的延续，将外侧平台分为前、后两部分；内侧视角无明显骨折线汇集区，见图 **10**，表 1。



图注：a 为前方视角，胫骨结节和 Gerdy 结节区域的骨折线较少，骨折线主要集中在二者之间的区域，为外侧平台内侧骨折线的延续；b 为后方视角，后内侧骨块和胫骨腓关节面区域的骨折线较少；c 为外侧视角，胫骨腓关节面前方有骨折线集中，为髁间嵴向腓骨头前缘走行骨折线的延续，将外侧平台分为前、后两部分；d 为内侧视角，无明显骨折线汇集区
图 10 丨胫骨平台骨折其他位面骨折线分布
Figure 10 | Fracture lines distribution of tibial plateau fracture in surrounding views

3 讨论 Discussion

3.1 *胫骨平台骨折好发年龄* 此次研究中，胫骨平台骨折患者好发于43–52岁区间(占33.1%)，其中男性患者年龄主要分布于43–52岁(35.4%)，女性患者好发于53–62岁(40.7%)。MEULENKAMP等[14]研究指出，胫骨平台骨折发病高峰男性为47.7岁，而女性为55.2岁。此次研究中，男性平均发病高峰为47岁，女性为52岁，与以往研究相符。女性绝经后骨质较男性流失更快，骨质疏松更严重，因而高龄女性更易发生胫骨平台骨折。

3.2 *胫骨平台骨折常见分型* 胫骨平台骨折形态多样，因而国内外出现很多描述其骨折形态的分型方法，常见的平台骨折X射线分型为AO分型和Schatzker分型[5-6]，AO分型中，41表示胫骨平台，其可分为A、B、C三型，A型为关节外骨折，因而胫骨平台骨折主要指B、C型骨折，B型为部分关节内骨折，细分为3个亚型：1劈裂骨折，2压缩骨折，3劈裂骨折合并压缩骨折；C型骨折为完全关节内骨折，细分为3个亚型：1关节面简单骨折、干骺端简单骨折，2关节面简单骨折、干骺端粉碎骨折，3关节面粉碎骨折。各亚型还可更进一步细分。AO/OTA分型对骨折线形态描述很详尽，因而使之较为复杂，难以在临床广泛应用。Schatzker共分为6型：Ⅰ型，胫骨外侧平台不伴有塌陷的劈裂骨折，以骨质致密的年轻人多见；Ⅱ型，外侧平台伴有塌陷的劈裂骨折，年龄较大患者好发，因其骨质较年轻人疏松，不能抵抗暴力引起的塌陷；Ⅲ型，外侧平台塌陷骨折，不伴有劈裂，以骨质较为疏松的老年人常见；Ⅳ型，单纯的内侧髁骨折；Ⅴ型，涉及双侧髁的平台骨折；Ⅵ型，涉及双侧髁和干骺端的平台骨折。该分型简单明确，临床应用广泛。然而此两种分型均由X射线片诊断，因而有其固有缺点，即易忽略对胫骨平台后侧及冠状位骨折的诊断。

随着CT影像技术发展，临床对各类骨折有了从二维影像到三维影像的变化，胫骨平台骨折基于CT的分型不断出现。LUO等[7]于2010年提出了胫骨平台骨折的三柱分型，其以胫骨棘连线中点为中心点、取平台轴面腓骨头前缘、胫骨结节前缘和后内侧嵴三点分为三个柱，定义了零柱、单柱、双柱、三柱骨折等。三柱分型加入了平台后侧柱，使临床医生更全面地感受和分析骨折情况，并提出了后侧倒L切口治疗后侧柱骨折的观点。HOEKSTRA等[15]于2017年对该分型进一步改良，提出后外侧角的存在(胫骨嵴连线中点、腓骨头前缘轴面点、腓骨头后缘轴面点组成的三角形)，表示该区域的骨折可根据其延伸而变化。三柱分型有其不足之处，只定义了一个后侧柱，未区分后外侧和后内侧骨折；其次没有重视髁间嵴及前、后交叉韧带的骨折。

随后的四柱分型、十段分型、四柱九区分型都将髁间嵴骨折考虑在内。KRAUSE等[16]于2016年提出了八段分型，随后KRAUSE等[10]又将其发展为十段分型，根据有无关节面覆盖将胫骨平台轴面分为内侧关节面、中间裸区、外侧关节面三区，再将内外侧关节面从矢状面平分，最后由通过胫骨嵴中点的冠状面总共将胫骨平台分为10段。YAO等[11]于2018年阐述了四柱九区分型，根据关节面有无软骨覆盖及腓骨分为内侧、中间、外侧和腓骨柱，再细分为9个区，内侧柱根据以往文献总结的后内侧骨折线走行分为前内区和后内区[12, 17-18]，中间柱分为胫骨结节区(髌韧带附着)、中央前区、中央区(前交叉韧带附着)、中央后区(后交叉韧带附着)，外侧柱根据常见骨折线走行分为前外区和后外区，腓骨柱为腓骨区。此两种分型均较为细致，十段分型将临床预后考虑在内，而四柱九区分型主要依据骨折线形态。

3.3 *常见骨折地图研究* 影像学技术的进步对于骨折的分型和治疗有推动作用，X射线片对于骨折的评价较为片面困难，CT二维骨折断层平面技术清楚展现了骨折细节特点，基于CT的三维重建技术又建立了整体的骨折观，对于骨折块形态、位置、手术入路和内固定物选择有很大帮助。COLE等[19]比较了X射线片和CT三维重建技术，发现后者在骨折评价方面更准确，并建议完善术前CT。骨折地图技术是三维重建技术的进一步发展，其将一定数量的骨折模型叠加到特定的标准模板上，从单一的骨折分析到大样本的骨折特点研究，对骨折整体的特点、骨折线走行规律有了更直观整体的认识，因而对骨折分型、骨折好发部位、骨折手术入路及内固定设计有了更详细的分析研究。

MOLENAARS等[12]于2015年绘制了127例患者的骨折地图，得出了4个主要的骨折特点：①平台的外侧劈裂骨折，伴有或不伴有塌陷(75%，95/127)；②平台后内侧骨折，骨折线从前内侧平台延伸至后外侧平台(43%，55/127)；③胫骨结节骨折(16%，20/127)；④髁间嵴并延伸至外侧髁的粉碎性骨折(28%，36/127)。赵腾飞等[20]于2017年在MOLENAARS等研究基础上改进，将平台骨折分为四区三环，起始于髁间窝后侧两个底角，经髁间嵴中点并向前延伸至内外侧平台前缘的两条线将胫骨平台分为前、内、后、外四区，髁间嵴周围骨折线形成一六边形环和从膝横韧带内侧缘到上胫腓关节后缘的弧线将平台分为三环。MCGONAGLE等[21]于2019年绘制了包含261条骨折线的骨折地图，发现134条骨折线累及外侧平台，90条骨折线累及内侧平台，37条骨折线累及双髁，其认为胫骨平台骨折有较一致的骨折模型，大部分外侧和内侧平台骨折线位于矢状面，但内侧平台骨折线变异更大。YAO等[13]于2020年发现胫腓骨上联合、Gerdy结节、胫骨结节、后内侧骨折块为骨折冷区，热区主要集中在前交叉韧带止点、后交叉韧带止点、外侧平台内侧延伸至Gerdy结节和胫骨结节交界区之间。上述各研究结果不尽相同，可能与纳入的病例不同有关。

3.4 *骨折线分布规律* 此次研究外侧平台骨折线(81.8%)多于内侧平台(31.4%)，且外侧平台多为劈裂骨折，同临床常用的平台骨折Schatzker分型较符合，与前人研究一致[22]。

在胫骨平台骨折线的三维模型中，有两处主要的骨折线汇集区，一为外侧平台内侧并延续至胫骨结节与Gerdy结节之间的交界区(75.9%)，这说明外侧平台尤其是前外侧平

台骨折多见，前外侧入路仍应为平台骨折的主要手术入路；另一为髁间嵴 (71.5%)，因而对平台骨折患者制定手术方案时应注意有无髁间嵴尤其前、后交叉韧带的损伤。三维模型中还有 3 条次要骨折线汇集区，一条从髁间嵴向腓骨头前缘走行 (21.2%)，将外侧平台分为前后两个部分，这与基于 CT 的平台骨折分型均较契合；第 2 条沿前外侧平台外缘呈外弧形走行 (13.8%)，可能为外翻暴力时股骨髁挤压外侧平台所致；第 3 条从内侧平台前内侧向后外侧走行并延伸至外侧平台 (15.3%)。近年来对 Schatzker Ⅳ型胫骨平台骨折研究较多 [23-25]，WAHLQUIST 等 [26] 根据 Schatzker Ⅳ型骨折线走行将其分为 3 个亚型，骨折线分别位于髁间嵴内侧、经过髁间嵴、位于髁间嵴外侧；PURNELL 等 [27] 报道了 18 例因滑雪造成的 Schatzker Ⅳ型平台骨折患者，其骨折线均起自平台外侧，经髁间嵴向前内侧走行；YANG 等 [17] 发现 32 例诊断为 Schatzker Ⅳ型胫骨后内侧髁骨折的患者中，有 84%(27 例) 伴有后外侧平台塌陷骨折。因此，治疗这类骨折时应兼顾到外侧平台 [28-30]。

胫骨平台骨折线在胫骨结节、Gerdy 结节、后内侧骨块、胫骨腓关节面较少集中 (分别为 13.1%，10.9%，8.6%，7.3%)，可能与其有较强韧的附着结构 (髌韧带、髂胫束、腓骨头韧带、半膜肌腱等) 有关 [31-32]。Gerdy 结节通常完整，因此，胫骨平台前外侧及部分后外侧骨折可将 Gerdy 结节向外侧翻开进行复位而无需广泛剥离。后内侧骨折块较完整，因此平台骨折复位时可先复位后内侧 [33-34]。此次研究发现胫骨结节骨折较少见，这与 YAO 等 [13] 的发现相似，以往的分型也没有明确提出胫骨结节骨折，然而 MOLENAARS 等 [12] 认为胫骨结节骨折为胫骨平台骨折的一个特点，可能与纳入的病例和研究方法不同有关。

此次研究所描绘骨折线地图显示，外侧平台有 3 处骨折好发部位，分别为外侧平台内侧缘、前外侧平台外缘和外侧平台前后分界；髁间嵴好发部位主要涉及前、后交叉韧带；内侧平台骨折块主要在后内侧并可涉及部分后外侧。此次研究发现，胫骨外侧平台骨折大多为劈裂骨折，劈裂部位主要在外侧平台内侧缘，位于矢状面，这与 MOLENAARS 等 [12] 和 MCGONAGLE 等 [21] 的发现相似。此次研究发现，前外侧平台外缘骨折线并不少见 (13.8%)，赵腾飞等 [20] 将此骨折线作为分区的一部分，MOLENAARS 等虽有发现但并未列入骨折主要特点，未见到关于此骨折线走行的 CT 分型，这可能与暴力发生时骨折粉碎较严重有关。外侧平台前后分界处骨折报道较多，三柱、四柱九区分型分别将此处列为柱和区的分界线，YAO 等 [13] 的研究也发现此处为骨折好发区。髁间嵴骨折为胫骨平台骨折的重要部分，MOLENAARS 和 YAO 的发现也证实了这一点，三柱分型并未区分髁间嵴骨折，之后的十段分型、四柱九区分型划分虽有不同，但都将髁间嵴加入了分类中。MCGONAGLE 等认为内侧平台骨折线变异较大，此次研究也发现内侧平台骨折线走行规律不十分明显，但 15.3% 的病例都有前内到后外的骨折线走行，而 MOLENAARS 等发现有 43% 骨折线从前内侧平台延伸至后外侧平台，可见内侧平台抵抗暴力能力较好而受伤机制更为复杂。

对于骨折来说，好的分型既应简单方便又能很好地指导临床。此次研究基于 137 例平台骨折真实病例，对于临床具体病例分析、手术方案制定、内固定物选择非常具有参考意义；同时，骨折线地图与胫骨近端解剖特点紧密结合，揭示了骨折特点与胫骨近端形态特征的相关性，避免了因性别、年龄、种族、患侧等所造成的差异，而常见分型及以往的骨折地图忽视了髁间嵴、胫骨结节、Gerdy 结节等的解剖特点。然而，研究亦有不足之处，虽然描绘了大量骨折线，但没有揭示骨折的损伤机制，而三柱、四柱九区分型在阐述骨折类型时都提出了相应的损伤机制；此外，研究亦没有相对应的手术入路，临床常见的 Schatzker 分型和三柱分型都涉及了手术入路的分析。可见，每一种分型都有其优势而又有不完善之处，然而过于详尽的分型记忆困难，临床应用不方便，因此对于具体的病例，应根据其骨折特点选用合适的分型，制定个性化的手术方案。

3.5 *局限性* 回顾性研究有一定局限性，首先，总计纳入 137 例胫骨平台骨折，病例数较少；其次，研究只能显示骨折线分布，而不能显示骨折块的塌陷程度；再次，研究仅限于平台骨折的三维模型骨折线分析，缺乏生物力学研究。以上可能导致结果与临床存在一定偏差 [18]。

3.6 *总结* 综上所述，胫骨平台骨折外侧多于内侧，骨折好发于外侧平台内侧并延续至胫骨结节、Gerdy 结节交界区及髁间嵴，而较少在胫骨结节、Gerdy 结节、胫骨腓关节面、后内侧骨块发生。以往的胫骨平台 CT 分型有相同点又各有侧重点，临床中不能完全依赖某一分型，应个性化分析和治疗。对于应用骨折地图分析骨折线走行仍需大样研究以揭示其规律。

致谢：感谢山西医科大学第二医院的全体同事在我的研究生 3 年期间给予各个方面的支持与鼓励。

作者贡献：邓朝阳进行病例收集、骨折线制作及文章撰写，杨朝晖负责资料审核及写作指导。

经费支持：该文章没有接受任何经费支持。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程，不存在利益冲突。

机构伦理问题：该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和山西医科大学第二医院对研究的相关伦理要求。

知情同意问题：参与研究的患病个体为自愿参加，均对试验过程完全知情同意，在充分了解治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

写作指南：该研究遵守《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。

文章查重：文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审：文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明：文章统计学方法已经山西医科大学第二医院生物统计学专家审核。

4 参考文献 References

[1] ELSOE R, JOHANSEN MB, LARSEN P. Tibial plateau fractures are associated with a long-lasting increased risk of total knee arthroplasty a matched cohort study of 7,950 tibial plateau fractures. Osteoarthritis Cartilage. 2019;27(5):805-809.
[2] GASTON P, WILL EM, KEATING JF. Recovery of knee function following fracture of the tibial plateau. J Bone Joint Surg Br. 2005;87-B(9): 1233-1236.
[3] HOHL M. Tibial condylar fractures. J Bone Joint Surg Am. 1967;49-A(7): 1455-1467.
[4] MOORE TM. Fracture-dislocation of the knee. Clin Orthop Relat Res. 1981;156:128-140.
[5] SCHATZKER J. Compression in the surgical treatment of fractures of the tibia. Clin Orthop Relat Res. 1974;105:220-239.
[6] MARSH JL, SLONGO TF, AGEL J, et al. Fracture and dislocation classification compendium : orthopaedic Trauma Association classification, database andoutcomes committee. J Orthop Trauma. 2007;21(10 Suppl):1-133.
[7] LUO CF, SUN H, ZHANG B, et al. Three-column fixation for complex tibial plateau fractures. J Orthop Trauma. 2010;24(11):683-692.
[8] 张彬彬，罗从风，王驭恺，等．胫骨平台骨折手术治疗的新三柱理念 [J]. 上海医学 ,2017,40(6):341-348.
[9] CHANG SM. Selection of surgical approaches to the posterolateral tibial plateau fracture by its combination patterns. J Orthop Trauma. 2011;25(3):32-33.
[10] KRAUSE M, PREISS A, MÜLLER G, et al. Intra-Articular Tibial Plateau Fracture Characteristics according to the “Ten Segment Classification”. Injury. 2016;47(11):2551-2557.
[11] YAO X, XU Y, YUAN J, et al. Classification of tibia plateau fracture according to the “four-column and nine-segment”. Injury. 2018;49(12): 2275-2283.
[12] MOLENAARS RJ, MELLEMA JJ, DOORNBERG JN, et al. Tibial Plateau Fracture Characteristics: Computed Tomography Mapping of Lateral, Medial and Bicondylar Fractures. J Bone Joint Surg Am. 2015;97(18): 1512-1520.
[13] YAO X, ZHOU KH, LV B, et al. 3D mapping and classification of tibial plateau fractures. Bone Joint Res. 2020;9(6):258-267.
[14] MEULENKAMP B, MARTIN R, DESY NM, et al. Incidence,Risk Factors, and Location of Articular Malreductions of the Tibial Plateau. J Orthop Trauma. 2017;31(3):146-150.
[15] HOEKSTRA H, KEMPENAERS K, NIJS S. A revised 3-column classification approach for the surgical planning of extended lateral tibial plateau fractures. Eur J Trauma Emerg Surg. 2017;43(5):637-643.
[16] KRAUSE M, PREISS A, MEENEN NM, et al. Fracturoscopy is superior to fluoroscopy in the articular reconstruction of complex tibial plateau fractures- an arthroscopy assisted fracture reduction technique. J Orthop Trauma. 2016;30(8):437-444.
[17] YANG G, ZHU Y, LUO C, et al. Morphological characteristics of Schatzker type IV tibial plateau fractures: a computer tomography based study. Int Orthop. 2012;36(11):2355-2360.
[18] ZHAI Q, HU C, XU Y, et al. Morphologic Study of Posterior Articular Depression in Schatzker IV Fractures. Orthopedics. 2015;38(2): 124-128.
[19] COLE PA, MEHRLE RK, BHANDARI M, et al. The pilon map: fracture lines and comminution zones in OTA/AO type 43C3 pilon fractures. J Ortho Trauma. 2013;27(7):e152-156.
[20] 赵腾飞，汤欣．三维重建绘制胫骨平台骨折线地图及分析 [D]. 大连：大连医科大学 ,2017.
[21] MCGONAGLE L, CORDIER T, LINK BC, et al. Tibia plateau fracture mapping and its influence on fracture fixation. J Orthop Trauma. 2019; 20(12):1-6.
[22] TSCHERNE H, LOBENHOFFER P. Tibial plateau fractures:Management and expected results. Clin Orthop. 1993;292:87-100.
[23] CHANG SM, ZHANG YQ, YAO MW, et al. Schatzker Type IV Medial Tibial Plateau Fractures: A Computed Tomography-based Morphological Subclassification. Orthopedics (Online). 2014;37(8):699-706.
[24] 马卓，张世民，胡孙君，等 .Schatzker Ⅳ型胫骨平台双髁骨折的 CT 亚型分类及临床意义 [J]. 中华创伤骨科杂志 ,2016,18(10):832-839.
[25] KFURI M, SCHATZKER J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures. Injury. 2018;49(12):2252-2263.
[26] WAHLQUIST M, IAGUILLI N, EBRAHEIM N, et al. Medial Tibial Plateau Fractures: a New Classification System. J Trauma. 2007;63(6): 1418-1421.
[27] PURNELL ML, LARSON AI, SCHNETZLER KA, et al. Diagnosis and Surgical Treatment of Schatzker Type IV Variant Biplanar Medial Tibial Plateau Fractures in Alpine Skiers. Tech Knee Surg. 2007;6(1):17-28.
[28] 于吉文，刘建，何维栋，等．根据 CT 扫描及三维重建改良胫骨平台骨折的 Schatzker 分型 [J]. 实用骨科杂志 ,2011,17(1): 28-32.
[29] 杨光，田书建，高延征，等 .CT 评价 Schatzker Ⅳ型胫骨平台骨折的形态学特点 [J]. 中华实用诊断与治疗杂志 ,2016,30(9):891-893.
[30] 罗从风，姜锐，周曼瑜，等．胫骨内侧平台骨折手术治疗失败的原因分析 [J]. 中华创伤骨科杂志 ,2006,8(7):642-646.
[31] KAPLAN PA, GEHL RH, DUSSAULT RG, et al. Bone contusions of the posterior lip of the medial tibial plateau (contrecoup injury) and associated internal derangements of the knee at MR imaging. Radiology. 1999;211(3):747-753.
[32] WYMENGA AB, KATS JJ, KOOLOOS J, et al. Surgical anatomy of the medial collateral ligament and the posteromedial capsule of the knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006;14(3):229-234.
[33] SATTERWHITE Y. The anatomy and biomechanics of the medial structures of the knee. Oper Tech Sports Med. 1996;4(3):134-140.
[34] ROBINSON JR, SANCHEZ-BALLESTER J, BULL AM, et al. The posteromedial corner revisited. J Bone Joint Surg Br. 2004;86(5): 674-681.

(责任编辑：GW，ZN，ZH)