

· 临床论著 ·

3D 打印 Frosch 入路胫骨后外侧平台骨折复位固定[△]

李世梁, 邱祖财*, 杜兰翔, 李世佳, 张统海

(江西省赣州市中医院骨科, 江西赣州 341000)

摘要: [目的] 探讨 3D 打印辅助涉及胫骨后外侧平台骨折的 Frosch 入路显露方法及开放复位策略与结果。[方法] 回顾性分析 2021 年 1 月—2022 年 2 月本院手术治疗的 43 例胫骨后外侧平台骨折患者。依据术前医患沟通结果, 21 例采用 3D 打印辅助经 Frosch 入路切开复位内固定 (Frosch 组), 22 例采用经前外侧联合后外侧 Carlson 双入路切开复位内固定 (前后组)。比较两组围手术期、随访及影像指标。[结果] 两组患者均顺利完成手术, 两组手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数、住院时间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 但 Frosch 组下地行走时间显著早于前后组 [(8.4±0.3) d vs (14.5±0.3) d, $P<0.001$]。与术后 3 个月相比, 末次随访时, 两组患者膝痛 VAS 评分、HSS 评分、膝伸屈 ROM 均显著改善 ($P<0.05$), 相应时间点, Frosch 组膝痛 VAS 评分 [术后 3 个月, (2.2±1.1) vs (3.9±1.7), $P=0.039$; 末次随访, (0.9±0.7) vs (1.8±1.4), $P<0.001$]、HSS 评分 [术后 3 个月, (62.5±6.2) vs (58.1±6.3), $P=0.026$; 末次随访, (88.8±7.5) vs (81.6±9.2), $P=0.007$]、膝伸屈 ROM [术后 3 个月, (91.7±3.2)° vs (87.6±3.8)°, $P<0.001$; 末次随访, (120.6±4.3)° vs (116.9±3.5)°, $P=0.003$] 均显著优于前后组。[结论] 3D 打印辅助联合 Frosch 入路可以直视复位胫骨后外侧平台骨折, 有效恢复关节面, 便于内固定置入, 术口并发症少, 早起下地活动, 功能恢复更好。

关键词: 胫骨平台骨折, 3D 打印辅助, Frosch 入路, 开放复位内固定

中图分类号: R683.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 08-0673-06

3D printing assistance and Frosch approach for open reduction and internal fixation of posterolateral tibial plateau fractures // LI Shi-liang, QIU Zu-cai, DU Lan-xiang, LI Shi-jia, ZHANG Tong-hai. Department of Orthopaedics, Ganzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Ganzhou 341000, China

Abstract: [Objective] To explore the strategy and outcome of 3D printing assistance and Frosch approach for open reduction and internal fixation (ORIF) of posterolateral tibial plateau fractures. [Methods] A retrospective study was performed on 43 patients who received ORIF for posterolateral tibial plateau fractures in our hospital from January 2021 to February 2022. According to the preoperative doctor-patient communication, 21 patients were treated with ORIF of 3D printing assistance and Frosch approach (Frosch group), while the remained 22 patients received ORIF via the anterolateral combined posterolateral Carlson approach (AP groups). The documents regarding to perioperative period, follow-up and images were compared between the two groups. [Results] All patients in both groups had corresponding surgical procedures performed successfully, without significant differences in terms of operation time, total incision length, intraoperative blood loss, intraoperative fluoroscopy times, hospital stay between the two groups ($P>0.05$). However, the Frosch group resumed walking significantly earlier than the AP group [(8.4±0.3) days vs (14.5±0.3) days, $P<0.001$]. Compared with those 3 months after surgery, the VAS score for knee pain, HSS score and knee extension-flexion ROM were significantly improved in both groups at the last follow-up ($P<0.05$). The Frosch group proved significantly superior to the AP group in terms of VAS [(2.2±1.1) vs (3.9±1.7), $P=0.039$] 3 months after surgery, [(0.9±0.7) vs (1.8±1.4), $P<0.001$] at the last follow-up; HSS score [(62.5±6.2) vs (58.1±6.3), $P=0.026$] 3 months postoperatively, [(88.8±7.5) vs (81.6±9.2), $P=0.007$] at the latest follow-up; the knee ROM [(91.7±3.2)° vs (87.6±3.8)°, $P<0.001$] 3 months postoperatively, [(120.6±4.3)° vs (116.9±3.5)°, $P=0.003$] at the final interview. [Conclusion] The 3D printing assistance combined with Frosch approach can explore the posterolateral tibial plateau fracture directly to facilitate effective reduction of the articular surface and placement of internal fixation implants, reduce operative complications, regain ambulation early, and achieve better functional recovery.

Key words: tibial plateau fracture, 3D printing assistance, Frosch approach, open reduction and internal fixation

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2024.08.01

△基金项目:江西省中医药管理局科技计划项目(编号:2022B047)

作者简介:李世梁,副主任中医师,研究方向:中西医结合治疗骨伤科疾病,(电话)18370488287,(电子信箱)18370488287@139.com

*通信作者:邱祖财,(电话)15979809723,(电子信箱)421739041@qq.com

涉及胫骨后外侧平台骨折多由高能量损伤引起，对膝关节功能有显著影响^[1]。膝关节后外侧解剖结构复杂：腓骨头、腓总神经、腘窝动静脉等的阻挡，手术视野、操作空间相对有限，骨折端显露及开放复位较为棘手^[2]。关节内骨折要求解剖复位，以避免后期创伤性关节炎的发生，故如何更好地显露胫骨后外侧平台，直视下复位、置入内固定物，是创伤骨科医师一直探寻的课题。临床报道的常用入路有倒“L”入路、腓骨头下截骨入路、前外侧联合 Carlson 入路等^[3-6]。各种入路有各自优缺点，但均可能存在医源性软组织损伤较大、剥离过度、截骨顾虑、显露困难等问题。随着 3D 打印技术应用到复杂胫骨平台骨折的治疗，对于术前骨折形态有较为充分评估，对于术中关节面复位、内固定置入等有重要指导意义^[7, 8]。Frosch 入路采用一个手术切口下的两个手术窗相互配合，直视下完成后外侧平台的显露、复位和固定，相对微创^[9]。本研究对涉及胫骨后外侧平台骨折患者分别采用 3D 打印辅助经 Frosch 入路内固定与经前外侧联合后外侧 (Carlson) 双入路内固定治疗，比较其临床应用效果，旨在为临床治疗方案的选择提供参考。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：(1) 影像学确诊为单侧涉及胫骨后外侧平台骨折；(2) 关节内骨折，关节面塌陷>2 mm 或劈裂侧向移位>5 mm 或合并膝关节韧带损伤及膝外翻>5°；(3) 既往无膝关节手术及创伤史。

排除标准：(1) 开放性或双侧胫骨平台骨折；(2) 合并病理性病变患者，如结核、感染或肿瘤者；(3) 精神异常或不能正常交流难以配合治疗者。

1.2 一般资料

本研究采用回顾性队列研究，收集分析 2021 年 1 月—2022 年 2 月符合纳入标准 43 例患者的临床资料。依据术前医患沟通结果，将患者分为两组。21 例采用 3D 打印辅助经 Frosch 入路切开复位内固定 (Frosch 组)，22 例采用经前外侧联合后外侧 Carlson 双入路切开复位内固定 (前后组)。两组术前一般资料见表 1，两组年龄、性别、BMI、损伤至手术时间、损伤侧别、Schatzker 分型的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。本研究经医院伦理委员会审批 (批号 GZSZYYKYL20220007)，所有患者均签署知情同意书。

表 1. 两组患者术前一般资料比较

Table 1. Comparison of preoperative general data between the two groups

指标	Frosch 组 (n=21)	前后组 (n=22)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	53.4±13.8	52.1±12.8	0.741
性别 (例, 男/女)	12/9	11/11	0.639
BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	24.5±2.4	24.0±2.6	0.434
损伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	6.5±10.6	5.2±11.3	0.698
损伤侧别 (例, 左/右)	11/10	12/10	0.650
Schatzker 分型 (例, I/II/III/V/VI)	0/8/5/8/0	0/9/5/8/0	0.674

1.3 手术方法

Frosch 组：术前行 X 线、CT 薄层平扫，将数据导入 Mimics 17.0 软件，建立胫骨平台模型，利用 3D 打印技术打印模型。依据骨折特征，设计操作方案，确定复位方式，选择合适钢板进行预塑形，并进行模拟手术，记录所用钢板螺钉的型号尺寸及角度位置。取侧卧位，患肢在上，于患肢大腿根部扎气囊止血带。采用外侧 Frosch 入路，于腘窝褶皱上 5 cm，沿股二头肌腱后缘弧形向下绕过腓骨头上缘，经腓骨头前外侧缘向远端延伸做 15 cm 直形切口，切开筋膜后在股二头肌的后侧缘找到腓总神经。外侧手术窗显露外侧，辨认髂胫束和股二头肌，纵行切开髂胫束后缘和股二头肌前缘的筋膜，剥离 Gerdy 结节背侧纤维，打开外侧关节囊，而后平行关节面切开关节囊和板胫韧带 2 mm 左右，用 2~3 根缝线悬吊半月板。后外侧手术窗显露后侧，向前牵拉腓总神经，首先分离腓肠肌外侧头和比目鱼肌间的间隙，分离开始在比目鱼肌肌腹上进行，到达腘窝深度时可见腘动静脉，辨认腘肌并向近端牵拉，再在腓骨背面锐性切开比目鱼肌，比目鱼肌切开后，将其从骨膜上向远端剥离至腓骨颈水平。外侧窗和后外侧窗都已得到显露，根据术前的 3D 打印模型的模拟情况复位关节面，将预成形的钢板贴附于外侧，按模拟手术的操作顺序，依次拧入选择好的螺钉；从外侧悬吊的半月板下方可以确认关节面无台阶。大多数后外侧骨折存在 1~2 块主要骨块，复位后用克氏针临时固定，透视后采用重建钢板按照后外侧胫骨平台解剖来塑形，其外缘接触腓骨头；必要时外侧平台下植骨，然后采用 L 形锁定钢板“排钉”固定外侧平台，将比目鱼肌重新缝回背侧关节囊，缝合板胫韧带和半月板，大量冲洗后关闭关节囊。

前后组：取侧卧位，患肢在上，于患肢大腿根部

扎气囊止血带。采用前外侧联合后外侧 Carlson 双入路，常规前外侧入路显露前外侧胫骨平台；再自股二头肌后缘作“S”形切口，探查腓总神经，游离、保护；自股二头肌与腓肠肌外侧头间隙进入，股二头肌与腓总神经向外侧牵拉，腓肠肌外侧头向内侧牵拉，结扎膝下外侧动脉，向上牵拉腓肌腱，显露后外侧骨折部分，显露关节面。直视下复位，骨折塌陷明显的给予撬拨复位后下方填塞同种异体骨支撑，钢板固定。

1.4 评价指标

记录围手术期资料，包括手术时间、术中出血量、切口总长度、术中并发症、切口愈合情况、下地行走时间及早期并发症等；采用完全负重活动时间、疼痛视觉模拟评分（visual analogue scale, VAS），美国特种外科医院（Hospital for Special Surgery, HSS）膝关节评分、膝关节活动度（range of motion, ROM）评价临床效果。行影像学检查，采用 Rasmussen 放射学评分评估骨折复位质量。测量胫骨后倾角（posterior tibial slope, PTS）、内侧胫骨近端角（medial proximal tibial angle, MPTA），观察影像骨折愈合时间。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析，计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，资料符合正态分布的情况下，两组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。等级资料两组比较采用 Mann-Whitney U 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 围手术期情况

两组均顺利完成手术，术中未出现血管、神经损伤等严重并发症。两组患者围手术期资料见表 2，两组在手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数和住院时间比较的差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ），Frosch 组下地行走时间显著早于前后组（ $P < 0.05$ ）。前后组出现 2 例术口皮瓣局部缺血坏死，经换药后均甲级愈合，两组切口愈合情况的差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ），两组术后均未发生感染、血栓等早期并发症。

2.2 随访结果

两组患者均获随访 12 个月以上，平均随访时间（ 13.5 ± 1.5 ）个月，两组随访结果见表 3。Frosch 组完全负重活动时间显著早于前后组（ $P < 0.05$ ），与术后 3 个月相比，末次随访时，两组患者膝痛 VAS 评分

显著减少（ $P < 0.05$ ），HSS 评分、膝伸屈 ROM 均显著增加（ $P < 0.05$ ）；相应时间点，Frosch 组膝痛 VAS 评分、HSS 膝关节功能评分、膝伸屈 ROM 均显著优于前后组（ $P < 0.05$ ）。随访期间，两组患者均未发生内固定松动、断裂、骨折复位丢失等情况。

表 2. 两组患者围手术期资料比较

Table 2. Comparison of peroperative data between the two groups

指标	Frosch 组 (n=21)	前后组 (n=22)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	74.3±25.3	70.9±21.9	0.639
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	14.8±3.2	15.8±2.3	0.262
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	123.5±11.6	125.5±10.6	0.572
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	8.1±1.9	7.7±0.8	0.335
下地行走时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	8.4±0.3	14.5±0.3	<0.001
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	21/0/0	20/2/0	0.488
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	12.3±1.2	13.0±1.2	0.063

表 3. 两组患者随访资料 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

Table 3. Comparison of follow-up document between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	Frosch 组 (n=21)	前后组 (n=22)	P 值
完全负重活动时间 (d)	53.2±8.3	66.7±9.2	0.015
膝痛 VAS 评分 (分)			
术后 3 个月	2.2±1.1	3.9±1.7	0.035
末次随访	0.9±0.7	1.8±1.4	<0.001
P 值	<0.001	<0.001	
HSS 评分 (分)			
术后 3 个月	62.5±6.2	58.1±6.3	0.026
末次随访	88.8±7.5	81.6±9.2	0.007
P 值	<0.001	<0.001	
膝伸屈 ROM (°)			
术后 3 个月	91.7±3.2	87.6±3.8	<0.001
末次随访	120.6±4.3	116.9±3.5	0.003
P 值	<0.001	<0.001	

2.3 影像评估

两组患者影像评估资料见表 4。依据 Rasmussen 放射学标准，Frosch 组骨折复位质量显著优于前后组（ $P < 0.05$ ）。与术后即刻相比，末次随访时，两组患者 PTS、MPTA 无显著变化（ $P > 0.05$ ）。相应时间点，两组间 PTS、MPTA 的差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。两组患者均在术后 3~6 个月内获得骨性愈合，两组愈合时间的差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。典型病例影像见图 1。

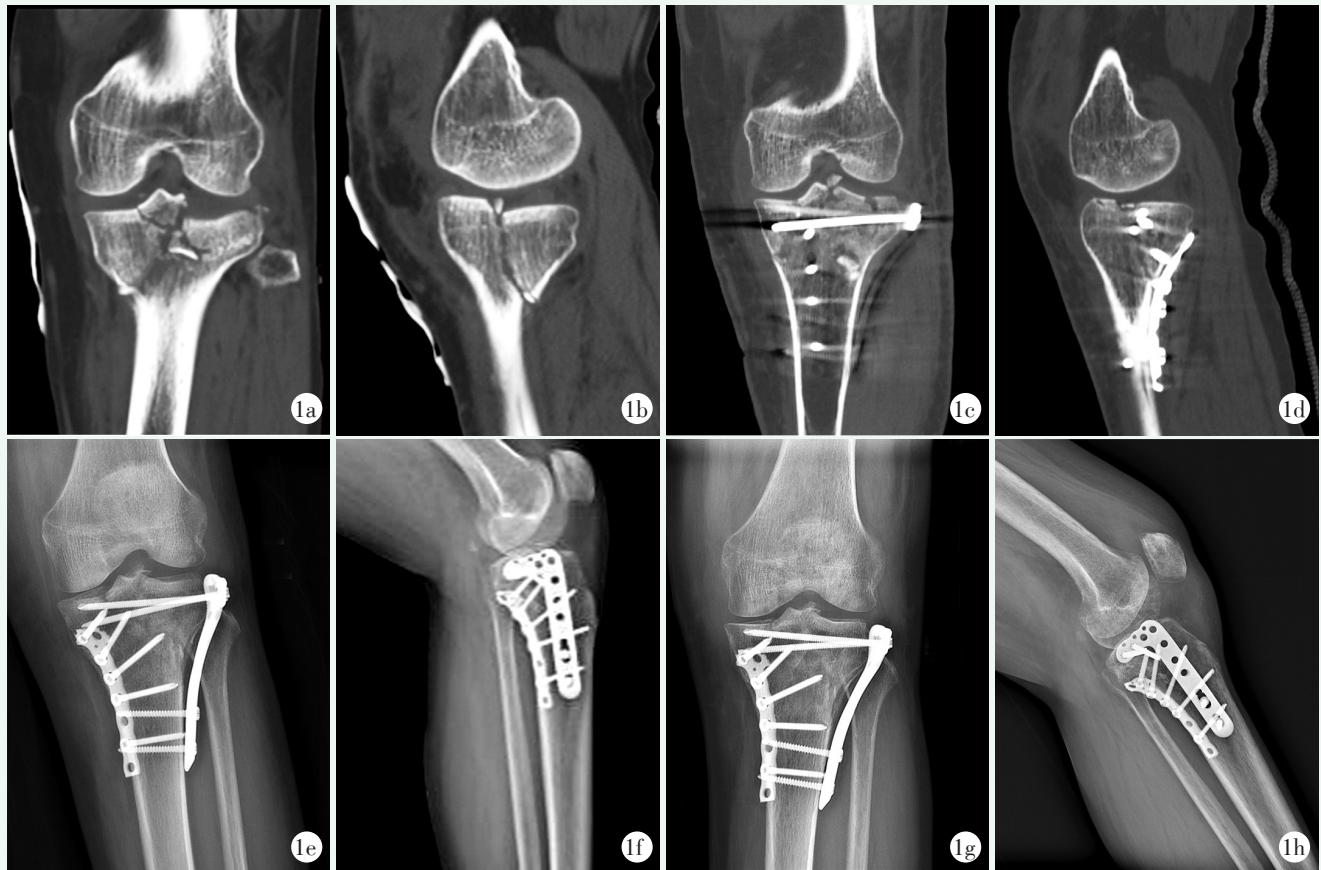


图 1. 患者女性, 56 岁, 胫骨平台 Schatzker V 型骨折, 行 3D 打印 Frosch 入路切开复位内固定。1a, 1b: 术前 CT 重建示后外侧平台骨折塌陷合并干骺端骨折; 1c, 1d: 术后 CT 重建示后外侧平台关节面平整, 骨折复位优; 1e, 1f: 术后 3 个月复查 X 线片示关节面平整, 骨折线模糊; 1g, 1h: 末次随访复查 X 线片示关节面平整, 骨折骨性愈合, 骨折复位优, 内固定物无松动。
Figure 1. A-56 years-old female received open reduction and internal fixation under 3D printing assistance through Frosch approach for Schatzker type V fracture of the tibial plateau. 1a, 1b: Preoperative CT reconstruction showed the posterior lateral platform collapsed fracture with metaphyseal fracture; 1c, 1d: Postoperative CT reconstruction showed that the posterior lateral platform was reduced excellent with smooth articular surface; 1e, 1f: X-ray films 3 months postoperatively showed that the fracture line was blurred with articular congruency remained; 1g, 1h: X-rays at the last follow-up showed a smooth joint surface, bony union of the fracture with no loosening of the internal fixation.

3 讨论

涉及胫骨后外侧平台骨折时, 由于腓骨头、腓总神经、腓窝动静脉等的阻挡, 使得手术视野、操作空间相对有限, 很难通过单一入路显露骨折区^[10]。能否获得满意显露与复位将明显影响膝关节结构与功能的恢复^[11], 恰当的入路显露及正确的复位策略能提高胫骨平台骨折的治疗质量, 是保证治疗成功的关键因素^[12]。

目前胫骨后外侧平台显露入路主要有: (1) 后内侧倒“L”入路: 需要漂浮体位以便手术中改变体位, 易发生术区感染, 术中透视亦不便; 术中牵拉腓肠肌的内侧头有迟发性马蹄足畸形风险, 容易损伤腓

肠神经和小隐静脉^[13]; (2) 腓骨头下截骨入路: 腓骨颈截骨完全剥离上胫腓联合, 易造成不稳定; 腓骨头内固定容易造成腓总神经压迫或激惹, 手术创伤较大^[14]; (3) 前外侧联合 Carlson 入路: 入路的远侧受胫前动脉分叉所限, 内侧受腓窝处的血管神经束影响, 暴露范围和延伸空间都有限; 后方 Buttress 钢板的长度受限; 若骨折累及外侧关节面范围较广, 常需要结合前外侧入路方可复位^[15]; (4) Frosch 入路: 一个切口、两个操作窗, 相对微创; 术中直视下操作复位, 能确定关节面复位良好, 内固定置入容易、牢固可靠, 可早期行功能锻炼^[16]。本研究 Frosch 组骨折复位质量、HSS 评分、屈伸 ROM 均显著优于前后组, 充分证明了该入路的优势, 但受限于关节面下方穿过骨间膜的神经血管束, 此入路无法向

远端延伸^[17]。

表 4. 两组患者影像结果与比较

指标	Frosch 组 (n=21)	前后组 (n=22)	P 值
骨折复位 (例, 优/良/可/差)	14/6/1/0	10/8/4/0	0.034
PTS (°, $\bar{x} \pm s$)			
术后即刻	7.2±1.5	7.5±1.0	0.466
末次随访	7.1±1.1	7.4±1.0	0.294
P 值	0.677	0.662	
MPTA (°, $\bar{x} \pm s$)			
术前	85.8±5.5	86.4±6.1	0.735
末次随访	86.3±4.9	86.2±6.0	0.946
P 值	0.721	0.938	
愈合 (例, <3 个月/3~6 个月/≥6 个月)	0/21/0	0/22/0	ns

3D 打印技术应用到复杂胫骨平台骨折的治疗, 通过 3D 实物模型, 术前可以体外模拟复位流程、内固定选择及螺钉置入大致方向, 也便于医患之间对于病情及手术方案沟通, 取得理解, 提高满意度; 术中可根据术前模拟准确复位、精准置入内固定, 避免反复复位延长手术时间、增加出血及关节面碎裂^[18, 19]。

涉及后外侧平台的胫骨平台骨折, 由于腓骨的支撑, 外观往往是一层坚硬的皮质骨片, 内部才是塌陷的关节面, 要想保证 100% 解剖复位, 最有效的方法是首先掀起皮质骨片, 即打开后外侧这一层皮质, 撬起塌陷的关节面, 然后植骨^[20]。本研究 Frosch 组结果显示 Frosch 入路后外侧窗可处理后外侧壁并放置支撑钢板; 外侧窗相当于延展的前外侧入路, 可以复位关节面骨块并提供排钉固定, 如果同时存在前外侧骨折, 也可以在该窗下处理, 两个手术窗可以进行“跨窗”操作, 完成后外侧骨块的复位。对于后侧壁是否放置支撑钢板? 笔者认为: 肯定是要的, 因为单纯靠胫骨平台“L”形钢板的竹筏螺钉无法有效固定后侧壁骨折块^[21-23]; 其次早期功能锻炼时, 当膝关节屈曲功能训练 110° 时, 股骨外侧髁会直接接触外侧平台的后缘 (后侧壁骨折块), 对骨折形成剪切力, 造成骨折再移位^[24, 25]。本研究 Frosch 组下地行走时间、恢复关节面平整性均优于前后组, 证实了 3D 打印辅助经 Frosch 入路切开复位内固定术, 是一个手术切口下的两个手术窗相互配合, 完成后外侧平台的复位和固定, 具有明显优势。

综上所述, 3D 打印 Frosch 入路可充分模拟手术

方案, 显露后外侧平台, 合理利用两个窗, 恢复后侧、外侧平台关节面平整性、再植骨, 后侧支撑钢板固定是基本开放复位策略, 为临床治疗此类骨折提供有效参考。

参考文献

- [1] Van den Berg JD, Quintens L, Zhan Y, et al. Why address posterior tibial plateau fractures [J]. *Injury*, 2020, 51 (12): 2779-2785. DOI: 10.1016/j.injury.2020.09.011.
- [2] Schatzker J, Kfuri M. Revisiting the management of tibial plateau fractures [J]. *Injury*, 2022, 53 (6): 2207-2218. DOI: 10.1016/j.injury.2022.04.006.
- [3] 柯阳春, 肖杰, 张小玉, 等. 后侧入路治疗胫骨平台后髁骨折 36 例报告 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (6): 573-574. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.06.23.
Ke YC, Xiao FJ, Zhang XY, et al. Posterior approach for the treatment of tibial plateau posterior condylar fractures: a report of 36 cases [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (6): 573-574. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.06.23.
- [4] 魏学忠, 卢士学, 王松, 等. 改良后侧入路手术治疗胫骨平台后外侧骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (4): 346-349. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.04.14.
Wei XZ, Lu SX, Wang S, et al. A modified posterior approach for open reduction and internal fixation of posterolateral tibial plateau fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (4): 346-349. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.04.14.
- [5] 吴彬, 褚凤龙, 张钦明, 等. 腓骨头纵形截骨入路治疗外侧胫骨平台骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (18): 1701-1704. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.18.17.
Wu B, Chu FL, Zhang QM, et al. Longitudinal fibular head osteotomy approach for open reduction and internal fixation of posterolateral tibial plateau fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (18): 1701-1704. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.18.17.
- [6] 朱富康, 吴骥鸿, 黄玉成, 等. 胫骨后外侧平台骨折的常用手术入路 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (16): 1478-1482. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.16.08.
Zhu FK, Wu QH, Huang YC, et al. Common surgical approaches for posterolateral tibial plateau fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2022, 30 (16): 1478-1482. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.16.08.
- [7] Xu Z, Jiao J, Xiao F, et al. 3D printing combined with osteotomy of the lateral tibial condyle for the treatment of tibial plateau fractures involving the lateral posterior condyle [J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 4245274. DOI: 10.1155/2022/9758386.
- [8] He Y, Zhou P, He C. Clinical efficacy and safety of surgery combined with 3D printing for tibial plateau fractures: systematic review and meta-analysis [J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10 (7): 403. DOI: 10.21037/atm-21-7008.
- [9] Frosch KH, Balcarek P, Walde T, et al. A new posterolateral ap-

- proach without fibula osteotomy for the treatment of tibial plateau fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2010, 24 (8) : 515–520. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181e5e17d.
- [10] Schatzker J, Kfuri M. Revisiting the management of tibial plateau fractures [J]. *Injury*, 2022, 53 (6) : 2207–2218. DOI: 10.1016/j.injury.2022.04.006.
- [11] Aguilar JR, Rios X, Ederly EG, et al. Epidemiological characterization of tibial plateau fractures [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17 (1) : 106. DOI: 10.1186/s13018-022-02988-8.
- [12] Kfuri M, Schatzker J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures [J]. *Injury*, 2018, 49 (12) : 2252–2263. DOI: 10.1016/j.injury.2018.11.010.
- [13] Orapiriyakul W, Apivatthakakul T, Phornphutkul C. Posterolateral tibial plateau fractures, how to buttress? Reversed L posteromedial or the posterolateral approach: a comparative cadaveric study [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2018, 138 (4) : 505–513. DOI: 10.1007/s00402-018-2875-3.
- [14] Pires RES, Giordano V, Wajnsztejn A, et al. Complications and outcomes of the transfibular approach for posterolateral fractures of the tibial plateau [J]. *Injury*, 2016, 47 (10) : 2320–2325. DOI: 10.1016/j.injury.2016.07.010.
- [15] Alencar Neto JB, Rego IEQ, Lopes MBG, et al. Outcomes of the Carlson approach in the treatment of posterior tibial plateau fractures [J]. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*, 2022, 58 (2) : 313–319. DOI: 10.1055/s-0042-1749201.
- [16] Mancini N, Salvato D, Delmastro E, et al. A modified Frosch approach for posterior tibial plateau fractures: Technical note and case series [J]. *Injury*, 2023, 54 (Suppl 1) : S9–S14. DOI: 10.1016/j.injury.2021.03.030.
- [17] Yi Z, Hui S, Binbin Z, et al. A new strategy to fix posterolateral depression in tibial plateau fractures: Introduction of a new modified Frosch approach and a "Barrel hoop plate" technique [J]. *Injury*, 2020, 51 (3) : 723–734. DOI: 10.1016/j.injury.2020.01.023.
- [18] Assink N, Reininga IHF, Ten Duis K, et al. Does 3D-assisted surgery of tibial plateau fractures improve surgical and patient outcome? A systematic review of 1074 patients [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022, 48 (3) : 1737–1749. DOI: 10.1007/s00068-021-01773-2.
- [19] Huitema JM, van der Gaast N, Brouwers L, et al. Are 3D-printed models of tibial plateau fractures a useful addition to understanding fractures for junior surgeons [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2022, 480 (6) : 1170–1177. DOI: 10.1097/CORR.0000000000002137.
- [20] Yan L, Zhan Y, Xie X, et al. Ability of modern proximal tibial lateral plates to capture posterolateral tibial plateau fracture fragments [J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10 (13) : 727. DOI: 10.21037/atm-22-750.
- [21] Sun H, Zhu Y, He QF, et al. Reinforcement strategy for lateral rafting plate fixation in posterolateral column fractures of the tibial plateau: The magic screw technique [J]. *Injury*, 2017, 48 (12) : 2814–2826. DOI: 10.1016/j.injury.2017.10.033.
- [22] Kim Y, Yoon YC, Cho JW, et al. Rim plate augmentation of the posterolateral bare area of the tibial plateau using a 3.5-mm precontoured locking compression plate: a cadaveric study [J]. *J Orthop Trauma*, 2018, 32 (5) : e157–e160. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001129.
- [23] Sinha S, Singh M, Saraf SK, et al. Fixation of posterior tibial plateau fracture with additional posterior plating improves early rehabilitation and patient satisfaction [J]. *Indian J Orthop*, 2019, 53 (3) : 472–478. DOI: 10.4103/ortho.IJOrtho_295_18.
- [24] Ramoutar DN, Lefaivre K, Broekhuysen H, et al. Mapping recovery in simple and complex tibial plateau fracture fixation [J]. *Bone Joint J*, 2019, 101-B (8) : 1009–1014. DOI: 10.1302/0301-620X.101B8.BJJ-2018-1288.R1.
- [25] Christiano AV, Pean CA, Kugelman DN, et al. Function and knee range of motion plateau six months following lateral tibial plateau fractures [J]. *J Knee Surg*, 2020, 33 (5) : 481–485. DOI: 10.1055/s-0039-1678676.

(收稿:2023-06-13 修回:2023-11-14)

(同行评议专家: 吴玉宝, 张志文, 徐洲发)

(本文编辑: 郭秀婷)