

胫骨平台后外侧骨折内固定策略及3D打印技术的优化应用

<https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.3773>

王德斌, 毕郑刚

2095-4344.3773

投稿日期: 2020-06-06

送审日期: 2020-06-13

采用日期: 2020-07-09

在线日期: 2020-09-29

中图分类号:

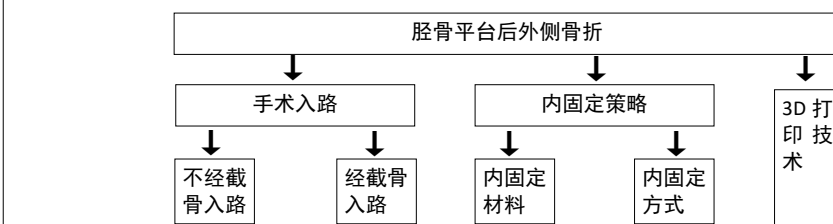
R459.9; R683.42; R641

文章编号:

2095-4344(2021)12-01904-07

文献标识码: A

文章快速阅读:



文章亮点一

- △近些年来, 胫骨平台后外侧骨折手术入路和内固定策略都得到了一定的改进和提升, 推动了胫骨平台后外侧骨折手术治疗进一步开展;
- △3D打印技术对胫骨平台后外侧骨折手术入路的选择和内固定策略的制定有着重要的意义。

主题释义:

胫骨平台后外侧骨折: 为任何基于胫骨平台后外侧象限, 且骨折线延伸至后外侧皮质的关节骨不连续片段。该损伤并不常见, 无论是孤立的还是合并胫骨平台其他象限骨折, 其发生率占胫骨平台骨折的7%-15%。

3D打印技术: 近些年来, 3D打印技术在骨创伤领域的不断发展, 有助于术前规划、术前模拟操作更好地开展, 进一步完善个性化的手术治疗。此种技术制作的模型便于骨科医生分析胫骨平台骨折具体损伤情况, 最大限度地提高了理想解剖复位的可能性, 为固定物的选取和安置提供了便利。

摘要

背景: 胫骨平台后外侧骨折因其所处位置解剖关系复杂, 在手术入路选取、内固定策略制定中常常存在一些争论问题。此外, 随着3D打印技术在临床工作中的开展, 对胫骨平台后外侧骨折手术治疗产生了一些积极的影响。

目的: 对近年来胫骨平台后外侧骨折手术入路、内固定策略、3D打印技术方面的研究进展进行总结和展望。

方法: 第一作者以中英文检索词在Web of Science、PubMed和中国知网(CNKI)数据库中检索2011年5月至2020年5月收录的相关文献, 中英文检索词分别为“胫骨平台, 后外侧, 骨折, 手术入路, 内固定, 3D打印”和“tibial plateau, posterolateral, fracture, approach, internal fixation, 3D printing”。将检索出的文献进行筛选整理, 并对入选文献展开详细综述。

结果与结论: ①胫骨平台后外侧骨折手术入路主要为不经截骨入路和经截骨入路, 其中不经截骨入路种类较多; ②后外侧入路为胫骨平台后外侧骨折的直接入路, 而其周围解剖结构相对复杂; 外侧、前外侧可处理合并前外侧平台骨折且前外侧入路不涉及重要血管神经, 后正中入路可显露整个后方平台; 后内侧入路可为胫骨平台后外侧骨折的辅助入路, 若联合前外侧入路可显露近乎整个胫骨平台; ③经截骨入路虽可增大术野, 但也面临截骨并发症问题; ④内固定材料种类较多且各有特色, 内固定方式也得到了一定改进; ⑤3D打印技术便于胫骨平台后外侧骨折手术入路和内固定策略的制定, 以及内固定材料和方式的生物力学研究测试; ⑥今后, 针对胫骨平台后外侧骨折问题仍需达成一致最优化手术入路标准, 新式的内固定材料不但需要生物力学方面的测试, 而且尚需大量临床应用效果分析。

关键词: 骨; 胫骨; 胫骨平台; 骨折; 截骨; 内固定; 3D打印

缩略语: 胫骨平台后外侧骨折: posterolateral tibial plateau fracture, PTPF

Optimization application for internal fixation strategy and three-dimensional printing technique of posterolateral tibial plateau fracture

Wang Debin, Bi Zhenggang

Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, Heilongjiang Province, China

Wang Debin, Master candidate, Physician, Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, Heilongjiang Province, China

Corresponding author: Bi Zhenggang, Professor, Doctoral supervisor, Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, Heilongjiang Province, China

哈尔滨医科大学附属第一医院骨科, 黑龙江省哈尔滨市 150001

第一作者: 王德斌, 男, 1992年生, 吉林省长春市人, 汉族, 哈尔滨医科大学在读硕士, 医师, 主要从事骨创伤领域的研究。

通讯作者: 毕郑刚, 教授, 博士生导师, 哈尔滨医科大学附属第一医院骨科, 黑龙江省哈尔滨市 150001

<https://orcid.org/0000-0002-8055-2483> (王德斌)

引用本文: 王德斌, 毕郑刚. 胫骨平台后外侧骨折内固定策略及3D打印技术的优化应用 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(12):1904-1910.



Abstract

BACKGROUND: For posterolateral tibial plateau fracture due to the complex anatomical relationship of its location, there are often some controversial issues in choice of surgical approach and internal fixation strategy. In addition, with the development of three-dimensional (3D) printing technique in clinical work, it has had a positive impact on surgical treatment of posterolateral tibial plateau fracture.

OBJECTIVE: To summarize and prospect the research progress of surgical treatment of posterolateral tibial plateau fracture in surgical approach, internal fixation strategy and 3D printing technique in recent years.

METHODS: The first author used Chinese and English search terms to search the relevant literature collected in the Web of Science, PubMed and CNKI databases from May 2011 to May 2020. The keywords were "tibial plateau, posterolateral, fracture, approach, internal fixation, 3D printing" in English and Chinese. The relevant literature was screened and sorted out, and conducted a detailed review.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Surgical approaches of posterolateral tibial plateau fracture are mainly non-osteotomy and trans-osteotomy, of which there are many types of non-osteotomy. (2) The posterolateral approach is a direct approach, and the surrounding anatomical structure is relatively complex. Lateral and anterolateral sites can be treated with anterolateral tibial plateau fracture and the anterolateral approach does not involve important blood vessel and nerves. The posterior median approach can reveal the entire posterior tibial plateau. The posteromedial approach can be an auxiliary approach. If combined with the anterior-lateral approach, it can reveal almost the entire tibial plateau. (3) Although the osteotomy approach can increase the surgical field, it carries the complications. (4) There are many types of internal fixation materials with their own characteristics, and internal fixation method has also been improved. (5) 3D printing technique facilitates the formulation of surgical approaches and internal fixation strategies as well as research and testing of biomechanics aspects of internal fixation materials and methods. (6) In the future, it is still necessary to reach the optimal surgical access standard for posterolateral tibial plateau fracture. The new internal fixation materials not only require biomechanical testing, but also require a large number of clinical application effect analysis.

Key words: bone; tibia; tibial plateau; fracture; osteotomy; internal fixation; 3D printing

How to cite this article: WANG DB, BI ZG. Optimization application for internal fixation strategy and three-dimensional printing technique of posterolateral tibial plateau fracture. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2021;25(12):1904-1910.

0 引言 Introduction

胫骨平台后外侧骨折 (posterolateral tibial plateau fracture, PTPF) 为任何基于胫骨平台后外侧象限、且骨折线延伸至后外侧皮质的关节骨不连续片段, 其发生率占胫骨平台骨折的 7%–15%^[1]。胫骨平台外侧部分骨质密度较内侧低, 受力也较内侧小^[2], 当较大的屈曲外翻作用于后外侧平台时, 后外侧平台便可出现塌陷骨折, 甚至关节塌陷骨折继续向后延伸, 导致后外侧壁断裂, 且这种同时发生后外侧皮质边缘严重粉碎的概率为 58.9%^[3]。其中, KFURI 等^[2]则强调了后外侧壁的劈裂需要予以精准复位和坚强固定的问题。然而, 后外侧平台在局部解剖上是特殊的, 其中 61.7% 被腓骨头部遮挡, 并腓动脉分支、腓总神经和后外侧复合体相邻, 因此 PTPF 的暴露和固定是手术治疗具有挑战性的问题^[4]。同时, 传统切开复位内固定中, 虽然 PTPF 的手术入路没有达成共识或标准指南^[5], 内固定技术本身还存在争议^[6], 但是近些年都有了一定的改进和提高。随着医学领域不断发展完善, 3D 打印技术也应用于临床 PTPF 手术治疗方面, 并得到了一定程度的发展。为此, 现着重从手术入路、内固定策略、3D 打印技术等方面入手, 收集相关文献资料, 并进行筛选整理分析, 以期 PTPF 手术治疗提供一些参考, 同时便于该研究方向的后续开展。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 第一作者检索 Web of Science、PubMed 和中国知网 (CNKI) 数据库 2011 年 5 月至 2020 年 5 月收录的相关文献。中英文检索词分别为“胫骨平台, 后外侧, 骨折, 手术入路, 内固定, 3D 打印”和“tibial plateau, posterolateral, fracture, approach, internal fixation, 3D printing”。依照以下纳入和排除标准, 筛选符合标准的相关文献。

1.2 选取标准

纳入标准: ①选取 PTPF 手术治疗中与手术入路、内固定策略、3D 打印技术相关的文献资料; ②文献资料必须具

有高关联性、高质量、新颖性、近期性等特点; ③内容、数据和统计学分析必须真实可靠。

排除标准: ①陈旧性、低关联性、低质量、重复性文献; ②内容和数据可信度低的文献; ③统计学处理不当的文献。

1.3 质量评估与数据提取 共检索到 754 篇文献, 其中中文文献 513 篇, 英文文献 241 篇, 根据排除标准筛除 697 篇文献, 共纳入 57 篇满足纳入标准的中英文文献, 见图 1。

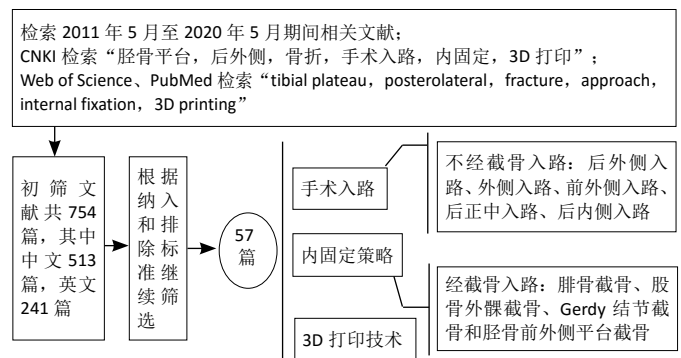


图 1 | 文献筛选流程图

2 结果 Results

2.1 手术入路 虽然 PTPF 手术入路选择的种类较多, 但主要根据是否截骨分为不经截骨入路和经截骨入路。而且, 近年来许多学者对这些手术入路作了进一步改良和提升, 从而更好地获得骨折复位固定操作的视野, 尽可能降低周围组织结构的损伤以及术后切口感染、愈合不良等并发症的风险。

2.1.1 不经截骨入路 在 PTPF 临床治疗中, 不经截骨的手术入路主要包括后外侧入路、外侧入路、前外侧入路、后正中入路以及后内侧入路, 常常为骨科医生首先考虑的问题, 也是不断推陈出新的焦点。

后外侧入路: 对直接后外侧平台这一区域的处理可体现其直接性的一面, 即便是面临后外侧复杂解剖结构影响的问题, 在 PTPF 手术治疗过程中也为许多骨科医生所采用, 并被进一步细化完善。HUO 等^[7]在手术入路和骨折形态特征

对 PTPF 患者随访结果影响的分析中,进行了后外侧入路与前外侧入路对比,并发现对于骨折碎片直径小于 20 mm 的患者,后外侧入路可显著改善美国特种外科医院评分。SUN 等^[8]认为后外侧倒“L”型入路虽然可以使腓总神经的暴露最小化,但仍需注意钢板安置所带来很高的血管损伤风险。OZDEMIR 等^[9]则倾向于后外侧直切口入路,其优点在于腓肠肌外侧头钝性分离后肌肉组织可对神经血管结构形成天然屏障,保障术区安全操作;同时考虑到腓肠肌因垂直分离而导致肌肉失神经作用问题,进而以膝后解剖学中线 and 腓骨头之间的中点为起始作一长约 8 cm 的纵向切口,有限分离腓肠肌,并指出在他们先前治疗 PTPF 的报道中未出现任何并发症。但是,他们强调即便存在肌肉组织屏障作用,由于该入路非常接近神经血管,术中解剖操作应仔细,防止误伤这些重要结构。此外,郝光亮等^[10]采取后外侧“S”型切口的 Carlson 入路治疗 36 例 PTPF 患者,术中未对神经血管构成影响,术后 2 例切口感染,通过抗生素治疗和换药处理治愈;1 例伤口渗血,通过采取撤掉低分子肝素、加压包扎等措施后好转;1 例皮肤软组织发生坏死,经清创植皮后恢复;末次随访时美国特种外科医院膝关节评分优良率 94.44%。然而,一些学者认为此入路虽然可以解决 PTPF 问题,但对于那些粉碎程度极高且严重塌陷的碎片并不是最佳入路,并且可能会损伤腓总神经和胫前动脉^[11]。除了上述后外侧倒“L”型、直切口、“S”型切口探讨分析外,朱海涛等^[12]则提出后外侧弧形切口双肌间隙入路,切口从股二头肌前缘下行弧形绕过腓骨头前缘切至腓骨前外缘,通过膝外侧前、后肌间隙便可显露前外侧和后外侧平台;其优势主要为单一切口便可处理外侧平台,术中损伤小,术后皮瓣坏死和内固定外露的风险低。但是,宗双乐等^[13]认为后外弧形切口双肌间隙入路切口偏向前侧,着重显露前外侧平台,而较难直视复位固定 PTPF,并提出改进的反弧形切口双肌间隙入路,通过腓肌间隙和胫前肌间隙分别显露后外侧和前外侧平台。该团队采用反弧形切口双肌间隙入路治疗的 32 例 PTPF 患者,术后切口都达到了 I 期愈合,未影响重要血管神经,且术后 1 年半美国特种外科医院膝关节评分平均可达 90.05 分。韩国华等^[14]则进一步通过 70 例 PTPF 手术治疗对比分析后外侧倒“L”形与反弧形双肌间隙入路,结果表明 2 种入路治疗效果无明显差异,但反弧形双肌间隙入路可使术后切口感染有所下降。

外侧入路: 不仅涉及 PTPF 问题,同时也兼顾了前外侧平台。江龙海等^[15]在 PTPF 手术中采取外侧 Frosch 入路,指出其优点是经单一外侧切口前后两肌间隙便可处理 PTPF,同时可显露前外侧平台,并可直视和保护腓总神经、腓动脉和胫前动脉。8 例 PTPF 术后均无感染和神经损伤,Rasmussen 功能评分为优和良的比例达 87.5%。而 YI 等^[16]对单一外侧纵向切口的 Frosch 入路进行了改良,11 例 PTPF 患者接受了该入路的治疗;术后 1 例患者局部皮肤麻木,但在 1 个月内好转;1 例患者切口表层裂开,但最终痊愈;其余患者均无

切口并发症。这种改良 Frosch 入路切口为起始于后外侧腓窝横纹上方 5 cm 处,从股二头肌腱后缘并沿 Langer 线向前越过 Gerdy 结节长约 15 cm 的“S”切口。刘世杰等^[17]采用改良扩大外侧切口入路治疗 22 例 PTPF,术后膝关节评分可达 (91.3±0.5) 分,该入路在膝水平面下一横指水平切开并绕过腓骨小头达关节线下,皮下需牵开腓肠肌两侧皮神经,进而通过腓肌和比目鱼肌间隙显露后外侧平台。因此,PTPF 同时涉及前外侧平台骨折时,该入路也是一种较好的选择,但在手术实际操作中应注意腓总神经和腓肠肌皮神经保护等问题。

前外侧入路: 传统的前外侧入路主要的优势在于胫骨平台前外侧象限和前外侧缘,但也可用于后外侧平台骨折的处理^[18]。REN 等^[19]对 8 例 PTPF 患者采取传统前外侧入路治疗,感染、神经受损等术后并发症问题均未发生。但由于传统前外侧入路不便于后外侧平台关节面的直视,且复位效果往往并不理想,前外侧扩展入路是其进一步的改良,具有技术简单、手术损伤小、术中体位容易、后期内固定取出方便等优点,是许多学者所接受的入路^[1, 18, 20]。金益等^[20]则对 82 例伴有 PTPF 的患者采取了前外侧扩展入路治疗,以 Gerdy 结节为中位点取膝前内侧弧形切口,术中屈膝松弛外侧副韧带,进而内翻内旋显露 PTPF 部位;术后随访期间,仅 2 例切口渗出感染,遂拆除外侧钢板并行负压引流,最终恢复良好,而神经血管均未受影响。但 JIANG 等^[1]指出前外侧扩展入路也存在不足之处,无法将支撑板向后放置,前外侧锁钉钢板对后外侧平台粉碎性骨折无法提供足够的机械稳定性。鉴于以上问题,腓骨小头上方入路开启了研究学者的另一种视野,在 PTPF 手术中也为术者所采用。朱荣耀等^[21]则采取腓骨小头上方入路治疗 11 例 PTPF 患者,取腓骨小头上“S”型切口,剥离阔筋膜、前侧间室肌肉和外侧副韧带,并在外侧半月板下切开关节囊,牵起半月板后显露整个外侧平台;术后 11 例患者均无切口感染、渗出、坏死以及下肢神经症状和肌力减退问题。但是,REN 等^[19]也指出其不足之处,这种入路着重治疗外侧骨块足够大且完整的 PTPF 患者。总体来说,前外侧入路的主要优势在于其不涉及重要神经血管,切口周围组织剥离简洁明了,但是此入路相比于后外侧入路的直接性操作,通常是对后外侧骨折块进行间接复位固定。

后正中入路: 主要分为直切口、“S”型切口入路,不仅可处理 PTPF,同时伴有后内侧平台骨折也可经该入路治疗,但在临床上采取该入路治疗 PTPF 并不多见。YIN 等^[11]详细介绍了后正中直切口入路,膝后中线切口可以向远侧和近侧延伸,当切口跨过关节线延伸时,局部采用弯曲切口以防止因瘢痕挛缩而影响膝关节活动,深层剥离腓肠肌内外侧头后向外侧牵拉腓神经血管束、提起腓肌,进而显露胫骨后平台。他们采取此入路治疗的 15 例患者均涉及 PTPF 问题,术后 1 例浅表伤口感染、脂肪液化,通过口服抗生素和频繁换药得以解决;1 例内侧板刺激,予以取出内侧板,1 例术后持续疼痛,通过非类固醇抗炎治疗缓解;全部患者术后美

国特种外科医院膝关节评分为(94.7±4.1)分。而姚俊娜等^[22]则采取后正中“S”型切口入路治疗13例整个后侧平台骨折,膝半屈曲位下切口从腓肠肌内侧经腓横纹水平至股二头肌腱内侧,以腓肠肌内侧头为分界形成内侧窗和腓窝窗,进而分别处理后内和后外侧平台;术后1例发生切口裂开、脂肪液化,采取扩创治疗后治愈;其余12例切口未出现不良反应。但是该入路面临着因合并前侧骨折术中改变体位、在俯卧位下不利于透视以及内固定物取出困难的问题。总体来说,后正中入路解剖的难度不亚于后外侧入路,且对于PTPF中极靠近外侧的骨折显露和固定仍具有一定的挑战性。

后内侧入路:后内侧倒“L”型切口入路主要为后侧平台的处理而设计,而且膝后方存在的腓肠肌、比目鱼肌等厚肌层既可为切口后提供充足的血供,又可充分覆盖内固定物^[23]。ORAPIRIYAKUL等^[24]在20个新鲜冷冻尸体上对PTPF后内侧倒“L”型入路进行了研究,需要将神经血管束与腓肠肌内侧头、腓窝肌和比目鱼肌等进行向外牵拉,其结果表明后内侧倒“L”型入路术野只能达到胫骨外侧平台宽度的44%以内,其余为其“盲区”。然而,TARNG等^[25]在16例涉及PTPF的术野操作不便问题中则采取切断腓肠肌内侧头的办法来解决上述“盲区”问题,主要损伤部位处理结束后修复腓肠肌内侧头断端;术后随访中3例患者出现手术部位浅表感染,通过清创处理联合抗生素的应用恢复正常;膝关节的活动范围平均为115°(0°-140°),膝关节损伤和骨关节炎评分平均83分。此外,后内侧入路与前外侧入路联合可显著扩大术野,不但有利于处理PTPF,也可用于其合并平台其他位置骨折问题^[23]。TOULOUPAKIS等^[26]则报道了1例采用这种联合入路治疗胫骨平台内外侧、后方均骨折,在随访的第3个月,患膝功能活动恢复正常,无并发症发生。不仅国外如此,国内也有不少术者也采取此种联合入路。潘杨等^[27]采取后内侧倒“L”型联合前外侧入路与传统前内外联合入路在40例整个后方平台骨折治疗中进行对比,结果表明前者骨愈合和负重时间以及放射学Rasmussen评分优良率优于后者($P < 0.05$)。张擎柱等^[28]同样采用此种联合入路治疗21例复杂胫骨平台骨折,末次随访时美国特种外科医院评分优良率为95.2%,Rasmussen评分平均优良率为90.5%,再次证明此联合入路对处理复杂平台骨折的优势所在。由此可见,后内侧倒“L”型入路可通过离断腓肠肌内侧头来进一步扩大术野,但损伤影响较大,目前使用相对较少。相反,后内侧倒“L”型入路作为手术治疗PTPF的一种辅助入路,尤其是联合前外侧入路对处理涉及PTPF的复杂胫骨平台骨折具有一定的优势。

2.1.2 经截骨入路 通常是在不经截骨入路可能不便直接显示和有效处理骨折碎片的情况下而采取的一种入路,其中以腓骨截骨在临床应用治疗PTPF方面较为常见,可分为部分截骨和完全截骨。陈刚等^[29]在10具新鲜尸体膝关节上对腓骨小头由内向外三均分后进行生物力学分析,发现腓骨小头外1/3部分被纵向截断后胫骨外旋角在不同外旋转矩下均显著增加,

而内1/3和中1/3部分截骨不但对膝关节稳定性不构成影响,还可有效显露后外侧平台,便于钢板安置,且在生物力学方面拥有较好的稳定性。在临床治疗中,李成等^[30]同样强调对后外侧复合体和股二头肌肌腱附着点完整保留,切除腓骨小头前内侧部分,但需切断腓肠肌外侧头后显露和处理PTPF。该方式治疗的10例PTPF,术后1例出现与腓总神经相关临床症状,经营养神经治疗后好转,美国特种外科医院评分82-95分,平均88.5分。由此可见,单纯腓骨小头部分切除尚不完全显露术野,仍需辅助腓肠肌外侧头止点的离断,而单独截断腓骨颈则不需以上辅助,且可在PTPF处理后复位固定腓骨头。SHEN等^[4]在膝外侧沿腓骨纵轴作切口,将股二头肌腱和外侧副韧带保留在腓骨头端后截断腓骨颈,打开关节囊和韧带并掀开半月板,从而显露后外侧平台。该方法治疗的4例患者末次随访中膝关节屈曲角度为(120±7.07)°,腓总神经均未发生损伤,其中1例逐渐出现了3mm的台阶,但在平台宽度和下肢力线方面无异常。ZHAO等^[31]同样采取腓骨截骨术治疗12例PTPF,其中1例术后出现2mm的关节表面凹陷,无其他并发症,膝关节屈曲度为(118.6±18.1)°。因此,腓骨截骨术对于具有后移位的后外侧剪切性骨折支撑固定问题有待商榷,而且腓骨截骨术不排除会引发腓骨神经的医源性损伤和截骨术不愈合的风险^[9, 24]。

然而,近些年来关于股骨外髁截骨、Gerdy结节截骨和胫骨前外侧平台截骨临床治疗的文献报道相对较少。KRAUSE等^[32]在12个尸体膝上模拟手术入路,外侧延长切口入路基础上进行股骨外髁截骨,外侧副韧带附着点仍保留在外髁骨块上,这种方式外侧平台的显露大幅度增加,与标准前外侧入路相比,暴露增加(65.6±7.7)%,差异有显著性意义($P < 0.001$)。YOON等^[33]报道1例采取股骨外髁截骨治疗PTPF,术后第18个月,平台后外侧部分无塌陷的迹象,膝关节活动功能和稳定性恢复。国内霍永峰等^[34]对24例PTPF患者采取胫骨外髁非负重区截骨方式处理后外侧平台,2例术后切口小部分表皮缘坏死,采取切口换药处置后痊愈,末次随访时美国特种外科医院评分(93.0±6.4)分,优良率达95.8%。在Gerdy结节截骨中,谢纪宝等^[35]则采取外侧入路运用此法治疗16例单纯PTPF,术中保留了髁胫束止点,上翻截骨块后伸直牵拉下肢,以及膝内翻、内旋便可充分显露后外侧结构,术后16例骨折均愈合,并且无切口感染和重要神经血管相关问题。WANG等^[36]也提到Gerdy结节截骨可显露80%的外侧平台骨折术野,但截骨部位愈合延迟的问题不容忽视。此外,SUN等^[37]对PTPF问题提出了胫骨前外侧平台截骨方式,并以1例PTPF患者为例进行分析。该截骨方式为前外侧和后内侧联合入路基础上,平台前外侧象限的外侧半被截断,同时保护胫腓骨关节面和韧带,进而PTPF清晰可见。该患者术后X射线片显示骨折复位良好,术后5个月时骨折处均愈合,膝关节功能获得恢复。高山松等^[38]分别采取前外侧纵行截断胫骨外髁入路和传统后入路处理PTPF,前者术后骨愈合和负重时间、并发症发生率、美国特

种外科医院评分均优于后者 ($P < 0.05$)。

总体来说, 经截骨入路虽然术野显露较好, 但截骨处的骨愈合能力、关节结构的稳定程度以及截骨块固定的有效性等问题仍需予以注意, 该入路可作为必要时采取的一种补充手段。

2.2 内固定策略

2.2.1 内固定材料

近些年来, 随着 PTFP 的手术入路多样、固定位置特殊性, 固定材料的选取也有所不同。首先, 在螺钉的选取上就存在颇多值得深入探讨的问题。TAN 等^[39]报道 1 例胫骨平台复杂粉碎性骨折治疗, 采用 2 枚 6.5 mm 空心螺钉对复位植骨后的外侧平台进行固定, 术后即行 X 射线检查关节面抬高, 术后 8 个月无异常症状, 活动功能恢复良好。HOEKSTRA 等^[40]则认为与其使用拉力螺钉, 不如使用 2.7 mm 锁定螺钉或无头螺钉更好地嵌入软骨下骨骨质中来维持外侧平台关节复位和骨折碎片牢靠固定, 再辅以锁定加压钢板, 二次手术取出钢板时该螺钉则封闭于骨内, 留在原位。另外, ZHANG 等^[41]在 40 个胫骨模型上对后外侧平台剪切性骨折固定材料分析, 其研究结果表明后外侧支撑板可以达到最强的生物力学固定。同时, SUN 等^[42]提出一种 Magic 螺钉结合竹筏钢板固定 PTFP 的治疗手段, 并在人工胫骨后外侧劈裂骨折模型上进行 Magic 螺钉结合竹筏钢板生物力学分析, 发现这种偏向后方的外侧固定组合与后外侧支撑板在不同位移下的平均荷载没有显著差异, 并指出对于 PTFP 患者, 选择通过后入路的后外侧支撑板固定的必要性可能会降低。

不仅在螺钉选材方面存在着不同的见解, 而且具体接骨板的种类也是各有特色。但是, 无论何种接骨板, 若对后外侧直接固定, 则应考虑腘动脉分支处胫前动脉对接骨板大小的限制^[2]。江龙海等^[15]在 8 例 PTFP 患者治疗中 2 例纵向骨折超过胫前动脉分叉位置, 致使于前侧及前外侧进行钢板螺钉固定, 其余均为后外侧固定。术后随访发现, 2 例普通钢板螺钉固定中 1 例普通钢板出现退钉现象, 并且该团队指出普通钢板、螺钉和松质骨螺钉均可能存在松动的风险, 侧重强调不宜折弯的锁定钢板和 3 cm 螺钉绕骨远端 T 板、斜 T 板对 PTFP 治疗来说是个较佳选择。宋虎等^[43]对 11 例单纯 PTFP 全部采取外侧锁定钢板治疗, 术后 1 例后外侧平台关节面出现约 2 mm 台阶, 但无明显下蹲疼痛和创伤性关节炎; 1 例未遵医嘱进行功能康复锻炼, 膝活动范围 10° – 100° ; 末次随访时 Rasmussen 功能评分中 10 例均评为优, 其余为良。李勇等^[44]设计了满足后外侧平台解剖形态的新型后外侧锁定钢板, 并将其与前外侧 T 型有限接触动力加压钢板和后外侧直型重建接骨板在 8 具后外侧平台骨折模型上进行生物力学测试。前外侧 T 型有限接触动力加压钢板、后外侧直型重建接骨板和新型后外侧锁定钢板的失效载荷平均分别为 $(1\ 817.7 \pm 52.7)$, $(2\ 399.2 \pm 162.6)$, $(2\ 827.5 \pm 71.3)$ N, 两两比较差异均有显著性意义 ($P < 0.05$), 可见新型后外侧锁定钢板更符合后外侧平台解剖形态和具有更好生物力学固定效果。而 JIAN 等^[45]对新型解剖锁定钢板治疗 PTFP 的安全性和临床疗

效进行相关研究, 其特点为斜“T”形, 可吻合固定后外侧平台结构, 与平台平行的近端三排螺钉可以作为“排钉效应”有力地支撑。这种新型解剖锁定钢板通过后外侧入路治疗的 12 例 PTFP 患者中 1 例术后关节 2 mm 台阶, 这可能是由于负重太早所致, 均未发生腓总神经损伤, 末次随访时 Tegner-Lysholm 功能评分 85–97 分, Rasmussen 功能评分 25–29 分, Rasmussen 解剖评分 13–18 分。而 REN 等^[19]不仅在 40 个后外侧平台剪切性骨折模型上证明其新设计的弯曲支撑板具有良好的生物力学稳定性, 而且将其应用于 8 例 PTFP 的治疗, 术后随访期间无神经血管损伤、深静脉血栓形成、感染、内固定松动等并发症, 美国特种外科医院评分平均为 92.6 分。CHO 等^[46]设计了倾向于处理骨折向后移位的边缘钢板, 沿着平台的后边缘包裹着碎片, 从而维持 PTFP 复位。

2.2.2 内固定方式

为了达到有效固定、减少固定物不良反应目的, 固定方式的恰当选取也显得尤为重要。YE 等^[47]通过符合研究标准 45 例胫骨平台骨折患者回顾性研究螺钉-关节面间距对胫骨平台骨折术后关节面下沉的影响, 结果表明螺钉更靠近关节面 (螺钉-关节面间距 $<$ 骨软骨碎块厚度) 可使骨折处不易塌陷。对于后外侧平台单纯塌陷性骨折, 经干骺端皮质开窗截骨术是一种经典的复位技术, 并在此基础上进行复位植骨, 为许多术者所采用^[16, 48]。与此同时, 针对术后关节面下沉问题, 排钉技术在临床治疗中应用较为广泛。陆圣君等^[49]应用前外侧入路排钉技术治疗 17 例单纯 PTFP, 通过骨窗撬拨复位后植入同种异体骨, 于腓骨头上方便后安置外侧 L 型钢板, 术后 2 例出现关节面小于 2 mm 的塌陷, 其余均解剖复位, 膝关节 Rasmussen 功能评分优良率达 88.2%。张奎等^[50]则提倡在胫骨平台前缘和外侧缘两处钢板近似垂直的交叉排钉技术, 治疗 14 例重度粉碎塌陷、软骨下主松质骨骨块厚度 < 4 mm 的外侧平台骨折患者, 术后 14 例均达骨愈合, 均无关节面移位下沉, 膝关节 Rasmussen 功能与解剖评分优良率均达 100%。然而, 于健等^[51]则认为对于后外侧平台骨折块前后径小于 2 cm 的患者, 通过前外侧进行排筏钢板技术固定远不如后外侧支撑固定所达到的效果。总体来讲, 螺钉-关节面间距、开窗植骨固定在骨折固定的牢靠性方面具有一定的参考价值, 有利于提升手术固定效果, 而具体排钉方式应根据后外侧平台骨折特点进行取舍。

2.3 3D 打印技术

近些年来, 3D 打印技术在骨创伤领域的不断发展, 有助于术前规划、术前模拟操作更好地开展, 进一步完善个性化的手术治疗^[52]。同时, 此种技术制作的模型便于骨科医生分析胫骨平台骨折具体损伤情况, 最大限度地提高了理想解剖复位的可能性, 为固定物的选取和安置提供了便利^[53]。XIE 等^[54]将 3D 打印技术辅助与单纯切开复位内固定术在胫骨平台骨折手术治疗方面进行临床对比研究, 结果表明前者降低了手术时间、术中出血量, 且提升了骨愈合时间。同时, 邵佳中等^[55]将 3D 打印技术辅助与传统手术治疗胫骨平台骨折的疗效进行 Meta 分析, 其结果表明前者手术时间短、术中出血量少; 而在术后膝关节 Rasmussen 评

分优良率和术后膝关节美国特种外科医院评分优良率方面差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。焦竞等^[56]采用3D打印技术制作每例患者相应个性化骨折模型,明确PTPF损伤特点、截骨位点和骨折显露范围以及钢板预固定的安置等问题。他们所治疗的47例PTPF患者术中均按照术前3D打印模拟操作顺利进行,术后均未发生腓总神经及重要血管损伤、术后感染、内固定失效等问题。此外,3D打印技术制作的模型便于内固定材料、内固定方式的进一步研究,可为临床手术治疗提供更好的选择空间。比如,JIAN等^[45]建议的新型解剖锁定钢板和REN等^[57]提倡的弯曲支撑板均在3D打印模型上进行实验操作测试,并取得了较为满意的结果。由此可见,3D打印技术不但有助于PTPF手术治疗的术前精准规划和模拟操作,还有利于固定材料临床应用性能的评估,便于临床工作的顺利开展。

3 总结与讨论 Conclusions and discussion

PTPF所处部位的解剖结构较为复杂,给手术治疗增加了一定的挑战性,其中手术入路的选取和内固定策略的实施是骨科医生面临的两大问题。后外侧入路虽然可直接处理单纯PTPF,但其存在重要结构遮挡问题,需要有经验的骨科医生细致操作。不断完善的外侧入路、前外侧入路对于合并前外侧平台骨折更突显其优势所在,尤其是前外侧入路不涉及重要血管神经等结构,从而降低了手术损伤风险。而且对于后外侧关节面单纯塌陷问题,前外侧入路是一种较好的手术路径,便于进行开窗、复位、植骨、固定等一系列操作,从而达到恢复解剖结构的目的;但前外侧入路在处理外侧壁劈裂中往往大多数用于间接复位固定骨折。后正中入路可显露和处理整个后方平台,但其周围重要解剖难度不亚于后外侧入路,临床采取此种入路治疗PTPF并不常见。后内侧入路可作为PTPF治疗的一种辅助入路,尤其是后内侧联合前外侧入路更具有优势,可以处理绝大部分、复杂的胫骨平台骨折,且后方肌群相对较厚、血供较好,可更好地覆盖内固定物并利于创口愈合。经截骨入路中腓骨截骨在临床中较为常用,而其他截骨入路相关文献报道较少;然而截骨处骨愈合情况、内固定牢靠性也是术者需要考虑的问题,因此,经截骨入路不宜作为常规入路,而是在不经截骨入路术野显露和操作困难情况下采取的一种补救手段,但截骨应考虑负重区结构影响程度的问题。内固定材料和内固定方式也有了一定程度的进展,可提升骨折固定的牢靠性,其中后外侧支撑板可提供最强的生物力学固定。此外,3D打印技术在PTPF领域的开展,使术前规划和模拟手术操作更加完善,在提高手术效率的同时减少了术后并发症的发生,并且可对新式内固定材料和内固定方式的可行性做进一步测试。今后,虽然不断改进的各种手术入路都可应对PTPF,但减少术中损伤和术后并发症的最佳手术入路仍有待达成一致性标准。新式的内固定材料不但需要生物力学方面的测试,而且在其临床应用治疗中尚需对PTPF手术预后效果进行大数据分析。

致谢:感谢哈尔滨医科大学附属第一医院骨科毕郑刚、付春江、孙佳冰专家的支持。

作者贡献:王德斌负责课题设计、收集资料、成文,毕郑刚负责审核,对文章内容作批评性审阅并提出建设性修改意见。

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。

写作指南:该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA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。

文章版权:文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明:这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] JIANG L, ZHENG Q, PAN Z. Comparison of extended anterolateral approach in treatment of simple/complex tibial plateau fracture with posterolateral tibial plateau fracture. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):303.
- [2] KFURI M, SCHATZKER J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures. *Injury.* 2018;49(12):2252-2263.
- [3] XIE X, ZHAN Y, WANG Y, et al. Comparative Analysis of Mechanism-Associated 3-Dimensional Tibial Plateau Fracture Patterns. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(5):410-418.
- [4] SHEN QJ, ZHANG JL, XING GS, et al. Surgical Treatment of Lateral Tibial Plateau Fractures Involving the Posterolateral Column. *Orthop Surg.* 2019;11(6):1029-1038.
- [5] CHEN C, HUANG L, ZHENG H, et al. Combined Direct Posterior Split-Gastrocnemius Approach for the Posterolateral Tibial Plateau Involved Fractures. *Ther Clin Risk Manag.* 2019;15:1461-1467.
- [6] DELCOGLIANO M, MARIN R, DEABATE L, et al. Arthroscopically assisted and three-dimensionally modeled minimally invasive rim plate osteosynthesis via modified anterolateral approach for posterolateral tibial plateau fractures. *Knee.* 2020;27(3):1093-1100.
- [7] HUO Y, XU G, YIN Z, et al. Effects of surgical approaches and morphological characteristics on the follow up outcomes of patients with posterolateral tibial plateau fractures. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(17):e19854.
- [8] SUN H, LUO CF, YANG G, et al. Anatomical evaluation of the modified posterolateral approach for posterolateral tibial plateau fracture. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2012;23(7):809-818.
- [9] OZDEMIR G, YILMAZ B, SIRIN E, et al. The anatomical relationship of the neurovascular structures in direct posterior lateral gastrocnemius split approach for posterolateral tibial plateau fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018;44(3):427-432.
- [10] 郝光亮,王超,张强,等.经Carlson后外侧入路T形锁定钢板治疗单纯胫骨平台后外侧骨折[J].中国矫形外科杂志,2019,27(4):327-330.
- [11] YIN Z, YANG W, GU Y, et al. A Modified Direct Posterior Midline Approach for the Treatment of Posterior Column Tibial Plateau Fractures. *J Knee Surg.* 2020;33(7):646-654.
- [12] 朱海涛,王文跃,王俭,等.后外侧弧形切口双肌间隙入路治疗胫骨后外侧平台塌陷骨折[J].中华骨科杂志,2014,34(7):703-708.
- [13] 宗双乐,苏立新,李力更,等.经后外侧反弧形切口双肌间隙入路治疗胫骨后外侧平台塌陷骨折[J].中国修复重建外科杂志,2016,30(9):1076-1080.

- [14] 韩国华,尹德超,付开封.后外侧倒“L”形与反弧形双肌间隙入路治疗后外侧胫骨平台骨折的疗效[J].中国临床研究,2019,32(10):1384-1388.
- [15] 江龙海,陈思春,覃健.Frosch入路治疗后外侧胫骨平台骨折的效果[J].创伤外科杂志,2020,22(3):185-187.
- [16] 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. *Injury*. 2020; 51(3):723-734.
- [17] 刘世杰,陈燕才,李树波.探讨改良扩大外侧切口入路治疗胫骨平台后外侧塌陷骨折的效果[J].中国医药科学,2020,10(2):257-259.
- [18] KFURI M, SCHATZKER J, CASTIGLIA MT, et al. Extended Anterolateral Approach for Complex Lateral Tibial Plateau Fractures. *J Knee Surg*. 2017;30(3):204-211.
- [19] REN D, LIU Y, CHEN Y, et al. A Novel Method of the Treatment for Posterolateral Tibial Plateau Fractures. *J Knee Surg*. 2019. doi:10.1055/s-0039-1688918. [Epub ahead of print]
- [20] 金益,蒋国华,顾志刚,等.扩展前外侧手术治疗胫骨平台骨折的临床效果[J].浙江创伤外科,2020,25(1):73-74.
- [21] 朱荣耀,胡文跃.经腓骨小头上入路治疗胫骨平台后外侧髁塌陷骨折[J].中国骨伤,2019,32(4):355-359.
- [22] 姚俊娜,王洪刚,权松涛,等.后侧腓窝S形切口双窗口入路治疗胫骨平台后柱骨折[J].中国修复重建外科杂志,2020,34(5):574-578.
- [23] QIU WJ, ZHAN Y, SUN H, et al. A posterior reversed L-shaped approach for the tibial plateau fractures-A prospective study of complications (95 cases). *Injury*. 2015;46(8):1613-1618.
- [24] ORAPIRIYAKUL W, APIVATTHAKAUL T, PHORNPHUTKUL C. Posterolateral tibial plateau fractures, how to buttress? Reversed L posteromedial or the posterolateral approach: a comparative cadaveric study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(4):505-513.
- [25] TARNG YW, LIN KC. A combined prone and supine approaches for complex three column tibial plateau fracture with posterolateral articular injury. *Injury*. 2019;50(10):1756-1763.
- [26] TOULOUPAKIS G, GHIRARDELLI S, BIANCARDI E, et al. A remarkable pattern of a tibial plateau fracture- use of a safe technique with practical advantages in the surgical field. *Acta Biomed*. 2019;90(2):343-347.
- [27] 潘杨,陈泉,谭云,等.后内侧倒L形联合前外侧入路与传统前内外侧入路治疗胫骨平台后柱骨折[J].临床骨科杂志,2019,22(5):601-604.
- [28] 张擎柱,万乾,张义,等.后内侧倒“L”形切口三间隙显露联合前外侧入路治疗复杂胫骨平台骨折[J].中国临床研究,2019,32(3):330-334.
- [29] 陈刚,陈文钧,张权,等.腓骨头纵行逐级截骨治疗胫骨后外平台骨折的膝关节生物力学稳定性[J].复旦学报(医学版),2016,43(5):569-585.
- [30] 李成,周其佳,孙月柏,等.腓骨小头部分切除联合腓肠肌外侧头切断入路治疗胫骨平台后外侧髁骨折[J].中国骨与关节损伤杂志,2015,30(6):650-651.
- [31] ZHAO G, HE Q, DUAN H, et al. Treatment of posterolateral tibial plateau fractures through fibular osteotomy approach. *Acta Biomed*. 2019; 85(1):114-121.
- [32] KRAUSE M, KRUGER S, MULLER G, et al. How can the articular surface of the tibial plateau be best exposed? A comparison of specific surgical approaches. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019;139(10):1369-1377.
- [33] YOON YC, SIM JA, KIM DH, et al. Combined lateral femoral epicondylar osteotomy and a submeniscal approach for the treatment of a tibial plateau fracture involving the posterolateral quadrant. *Injury*. 2015; 46(2):422-426.
- [34] 霍永峰,殷照阳,徐刚,等.胫骨外髁非负重区截骨治疗胫骨平台后外侧髁骨折[J].重庆医学,2018,47(7):919-925.
- [35] 谢纪宝,张韶民,郑永茂,等.保留髁胫束止点Gerdy结节截骨外侧入路治疗单纯后外侧胫骨平台骨折[J].临床骨科杂志,2019,22(1):93-95.
- [36] WANG JY, CHENG CY, CHEN AC, et al. Arthroscopy-assisted corrective osteotomy, reduction, internal fixation and strut allograft augmentation for tibial plateau malunion or nonunion. *J Clin Med*. 2020;9(4):973.
- [37] SUN DH, ZHAO Y, ZHANG JT, et al. Anterolateral tibial plateau osteotomy as a new approach for the treatment of posterolateral tibial plateau fracture: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(3):e9669.
- [38] 高山松,高智.前外侧纵行截骨治疗胫骨后外侧平台塌陷骨折效果分析[J].山西医药杂志,2017,46(20):2429-2431.
- [39] TAN L, LI YH, LI Y, et al. Tibial plateau fractures (AO type B3) combined with tibial tubercle fracture: Case report and review of the literature. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(36):e12015.
- [40] HOEKSTRA H, VANHEES J, VAN DEN BERG J, et al. Extended lateral column tibial plateau fractures. How do we do it? *Injury*. 2018;49(10):1878-1885.
- [41] ZHANG W, LUO CF, PUTNIS S, et al. Biomechanical analysis of four different fixations for the posterolateral shearing tibial plateau fracture. *Knee*. 2012;19(2):94-98.
- [42] SUN H, HE QF, ZHANG BB, et al. A biomechanical evaluation of different fixation strategies for posterolateral fragments in tibial plateau fractures and introduction of the ‘magic screw’. *Knee*. 2018;25(3):417-426.
- [43] 宋虎,左照光,孙再杰,等.腓骨头上入路外侧胫骨平台截骨结合外侧锁定钢板治疗单纯胫骨平台后外侧骨折[J].中华创伤骨科杂志,2019,21(2):166-169.
- [44] 李勇,蔡林,龚泰芳,等.三种不同内固定治疗胫骨平台后外侧骨折的生物力学研究[J].中华创伤骨科杂志,2013,15(7):603-606.
- [45] JIAN Z, AO R, ZHOU J, et al. A new anatomic locking plate for the treatment of posterolateral tibial plateau fractures. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2018;19(1):319.
- [46] CHO JW, KIM J, CHO WT, et al. Approaches and fixation of the posterolateral fracture fragment in tibial plateau fractures: a review with an emphasis on rim plating via modified anterolateral approach. *Int Orthop*. 2017;41(9):1887-1897.
- [47] YE X, HUANG D, PERRIMAN DM, et al. Influence of screw to joint distance on articular subsidence in tibial-plateau fractures. *ANZ J Surg*. 2019;89(4):320-324.
- [48] POLAT B, GURPINAR T, POLAT AE, et al. Factors influencing the functional outcomes of tibia plateau fractures after surgical fixation. *Niger J Clin Pract*. 2019;22(12):1715.
- [49] 陆圣君,廖全明,王克军.前外侧入路排钉技术治疗单纯后外侧胫骨平台骨折疗效观察[J].中国修复重建外科杂志,2017,31(3):382-384.
- [50] 张玺,孙杰,李方国,等.交叉排钉技术对防止胫骨外侧平台骨折术后关节面塌陷的价值[J].中华骨科杂志,2018,38(15):897-904.
- [51] 于健,徐刚,孙宏,等.后外侧支撑固定治疗胫骨平台后外侧髁骨折预后的多元Logistics回归分析[J].中国组织工程研究,2019,23(32):5238-5145.
- [52] SAMAILA EM, NEGRI S, ZARDINI A, et al. Value of three-dimensional printing of fractures in orthopaedic trauma surgery. *J Int Med Res*. 2020;48(1):300060519887299.
- [53] OZTURK AM, SUER O, DERIN O, et al. Surgical advantages of using 3D patient-specific models in high-energy tibial plateau fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2020 May 6. doi: 10.1007/s00068-020-01378-1.
- [54] XIE L, CHEN C, ZHANG Y, et al. Three-dimensional printing assisted ORIF versus conventional ORIF for tibial plateau fractures: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg*. 2018;57(1):35-44.
- [55] 邵佳申,常恒瑞,郑占乐,等.3D打印辅助手术治疗胫骨平台骨折疗效的Meta分析[J].中国组织工程研究,2017,21(23):3767-3772.
- [56] 焦亮,肖飞,黄玉成,等.3D打印结合胫骨外髁截骨治疗胫骨平台后外侧髁骨折[J].中华骨科杂志,2018,38(15):913-918.
- [57] REN D, LIU Y, LU J, et al. A Novel Design of a Plate for Posterolateral Tibial Plateau Fractures Through Traditional Anterolateral Approach. *Sci Rep*. 2018;8(1):16418.