

· 临床研究论著 ·

# 3D 打印技术在复杂胫骨平台骨折手术中的应用研究

周明 丁文斌 刘全 金绍林 江建平 白鹏程

**【摘要】** 目的 探讨应用 3D 打印技术辅助手术治疗复杂胫骨平台骨折的临床效果。方法 选取 2014 年 1 月至 2017 年 3 月我院收治的复杂胫骨平台骨折病人 29 例,随机分为观察组(15 例)及对照组(14 例)进行队列分析比较。观察组胫骨平台经 Mimics 软件处理,3D 打印成 1:1 骨折模型,将骨折及健侧模型进行镜像对比,设定手术方案;对照组常规参照术前 X 线片及 CT 制定修复方案。术后观察并对两组的手术时间、出血量、术后关节塌陷纠正情况、术后 12 个月膝关节 Rasmussen 功能评分进行比较。结果 本研究 29 例病人的随访时间为(12.55±2.46)个月。观察组的手术时间、出血量明显小于对照组,术后关节塌陷纠正情况优于对照组,差异均有统计学意义( $t=2.297, P=0.029$ ;  $t=2.674, P=0.013$ ;  $t=2.658, P=0.020$ );术后 12 个月两组膝关节 Rasmussen 评分差异无统计学意义( $P>0.05$ );观察组膝关节功能恢复优良率(93.33%)高于对照组(78.57%)。结论 针对复杂胫骨平台骨折,应用 3D 打印技术制作骨折模型,通过模拟手术操作可以有效缩短手术时间,减少术中出血,纠正关节面塌陷程度。

**【关键词】** 胫骨平台骨折;3D 打印;内固定

**Clinical application of 3D printing technique in complex tibial plateau fractures.** ZHOU Ming, DING Wen-bin, LIU Quan, JIN Shao-lin, JIANG Jian-ping, BAI Peng-cheng. Department of Orthopaedics, Tongling Municipal Hospital, Tongling 244000, China

Corresponding author: BAI Peng-cheng, E-mail: 784686456@qq.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the clinical effect of 3D printing technique in the surgical treatment of complex tibial plateau fractures. **Methods** Twenty - nine patients with tibial plateau fracture in our hospital from January 2014 to March 2017 were selected, and randomly divided into observation group (15 cases) and control group (14 cases) for cohort study and comparison. The tibial plateau of the observation group was processed by Mimics software, and the fracture model was printed in 3D to 1:1. The fracture model and the healthy side model were compared, and the surgical plan was set up. The control group routinely drew up the repair plan with preoperative X - ray and CT. The operation time, bleeding volume, correction of joint collapse and Rasmussen functional score of knee joint at 12th month after operation were observed and compared between the two groups. **Results** The follow - up time was (12.55±2.46) months. The operation time was shorter and bleeding volume was less, and the correction of joint collapse after operation was better in the observation group than in the control group ( $t=2.297, P=0.029$ ;  $t=2.674, P=0.013$ ;  $t=2.658, P=0.020$ ). There was no significant difference in Rasmussen score between the two groups at 12th month after operation ( $P>0.05$ ). The excellent and good rate of knee joint function recovery in the observation group (93.33%) was higher than that in the control group (78.57%). **Conclusion** For complex tibial plateau fractures, using 3D printing technology to establish fracture models and simulate operation can effectively shorten the operation time, reduce intraoperative bleeding, and correct the degree of articular surface collapse.

**【Key words】** Tibial plateau fractures; 3D printing; Internal fixation

胫骨平台骨折多为高能量损伤,常合并关节面塌陷,以及交叉韧带、半月板、内外侧副韧带的损伤,

常见的并发症为创伤性关节炎和关节僵硬<sup>[1]</sup>,因此精准的手术方案和充分的术前准备显得尤为重要。胫骨平台骨折的手术目的是准确恢复胫骨的力线,尽可能纠正关节面的塌陷。传统的手术方法为了解决关节面的塌陷及粉碎性游离骨块的问题,往往进行充分的软组织暴露,对骨折块进行多角度的复位

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2019.01.006

基金项目:铜陵市科技局项目(2017NS15)

作者单位:铜陵市立医院骨科,安徽铜陵 244000

通信作者:白鹏程, E-mail: 784686456@qq.com

及固定,然而很多情况下,术中的复位及透视不能达到良好的复位效果;手术切口的选择不能充分暴露骨折端;术前的影像学参考不能为术中的接骨板和螺钉的长度提供准确的数据参考<sup>[2]</sup>。因此,针对胫骨平台骨折的治疗,目前研究主要集中于骨折分型的进一步细化、手术入路的处理、内固定的选择及安放等<sup>[3]</sup>。3D打印技术作为目前骨科领域热点之一,其独特的优点在于可以立体化、个性化进行三维影像学的分析和应用。针对复杂的胫骨平台骨折,我们利用3D打印技术,术前将CT数据进行软件处理,快速建模成型<sup>[4]</sup>,术前进行充分的讨论和准备,并与传统手术方式相比较,探讨术前结合3D打印技术辅助手术治疗后骨折复位的效果和膝关节的功能恢复情况。

## 资料与方法

### 一、纳入与排除标准

纳入标准:①单侧闭合性新鲜胫骨平台骨折;②Schatzker分型为IV~VI型的病人;③年龄为19~55岁;④需手术治疗的病人。排除标准:①双膝胫骨平台骨折;②开放性骨折;③合并神经血管损伤;④随访丢失的病人;⑤术前检查无法耐受手术及不愿意参加临床试验者;⑥病理性骨折、骨肿瘤;⑦发生骨筋膜室综合症的病人。本研究经医院伦理委员会评审通过,所有病人同意并签署知情同意书。

### 二、一般资料

选取2014年1月至2017年3月我院收治的符合纳入与排除标准的29例病人进行前瞻性研究,其中13例为车祸伤,9例为高处跌倒摔伤,7例为跌倒扭伤,均为单侧闭合性胫骨平台骨折且需要手术治疗,随机分为两组:观察组和对照组。观察组15例,年龄为(33.55±8.22)岁(22~47岁);其中男10例,女5例;均为单侧骨折,Schatzker分型:IV型7例、V型5例、VI型3例;半月板损伤5例,合并交叉韧带损伤4例,内外侧副韧带损伤10例。对照组14例,年龄为(30.67±7.46)岁(19~45岁);其中男9例,女5例;均为单侧骨折,Schatzker分型:IV型7例、V型4例、VI型3例;其中半月板损伤4例,合并交叉韧带损伤3例,内外侧副韧带损伤9例(表1)。

术前根据骨折类型选用合适的接骨板,本研究采用的接骨板材料来自江苏艾迪尔医疗器械公司。对两组病人的性别、年龄、骨折分型、合并症等术前资料进行统计学分析,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性。

表1 两组病人术前一般资料比较

指标	观察组 (15例)	对照组 (14例)	$t(\chi^2)$ 值	$P$ 值
性别				
男	10	9	0.018	0.892
女	5	5		
年龄(岁)	33.55±8.22	30.67±7.46	0.173	0.903
Schatzker分型				
IV	7	7	0.076	0.962
V	5	4		
VI	3	3		
合并症				
半月板损伤	5	4	0.564	0.754
交叉韧带损伤	4	3		
内外侧副韧带损伤	10	9		
随访时间(月)	12.45±2.01	12.16±4.52	0.174	0.912

### 三、手术方法

#### (一)术前准备

两组病人术前均抬高患肢、消肿、镇痛处理。消肿药物使用七叶皂苷钠20 mg+生理盐水500 ml,每天1次,使用7 d,根据病人肾功能情况,甘露醇250 mg静脉滴注,每天1次,使用5~7 d;镇痛药物使用帕瑞昔布40 mg肌肉注射,每天1次,7 d左右。两组病人均待肿胀消退、皮纹出现,软组织稳定后进行手术。术前讨论确定骨折入路、接骨板螺钉位置、是否需要植骨等。

观察组15例行三维CT扫描,扫描间隔1 mm,并将数据以DICOM格式保存,运用Mimics 10.01软件(Materialise公司,比利时)进行数据处理,计算机模拟建模,设置参数,获得3D模型,采用3D快速成形机进行支架打印,原材料为聚乳酸,患侧及健侧1:1建立模型,体外预手术模拟(图1)。

#### (二)手术方案设定

结合目前胫骨平台骨折三柱理论<sup>[5]</sup>,三维立体对胫骨平台骨折进行骨折诊断及分型,以Schatzker分型进行数据录入。根据骨折的类型、骨折线走行、关节面的塌陷程度来决定接骨板及螺钉的位置<sup>[6]</sup>。

#### (三)手术步骤

采用全身麻醉或腰硬联合麻醉,平卧位,累及后柱或需要后路切开的病人按漂浮体位准备。

观察组按术前设计选用相对应入路。对照组根据经验选择入路,包括前外、后外或联合后内侧入路。逐层分离软组织,显露骨折部及关节面。观察组按照术前规划演示的方法进行复位,选用术前准

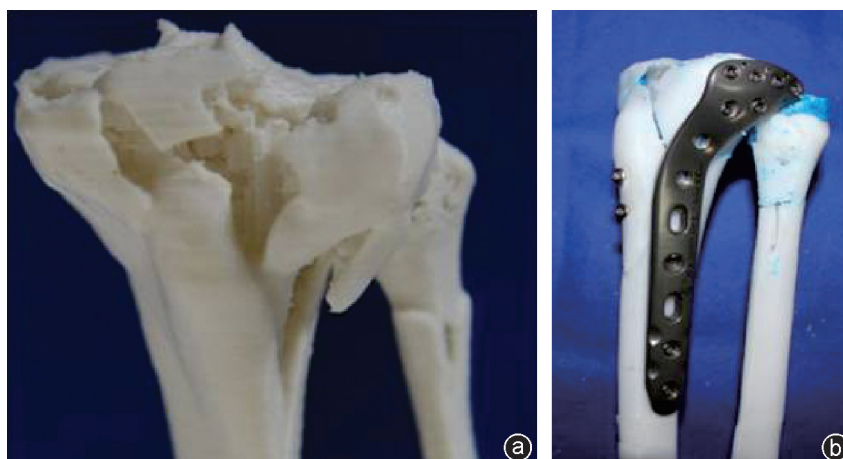


图1 a: Schatzker V型骨折,术前通过3D打印建立骨折模型;b: 体外模拟术中接骨板及螺钉位置、长度

备好的接骨板及螺钉型号。对照组根据术前骨折情况,如累及胫骨平台内外侧骨折,先复位简单一侧骨折,恢复关节面的塌陷及胫骨力线,再复位固定严重一侧,根据术中透视选择内固定型号。两组关节面如塌陷明显,均予以植骨,术中接骨板选用锁定钢板联合支撑钢板及拉力螺钉。

骨折复位固定后,再次进行术中透视,确认复位满意后逐层缝合伤口,检查膝关节活动无异常,内外侧各留置负压引流管1根,所有手术均由同一组医生完成。

#### (四)术后处理

术后常规进行消肿、镇痛处理。复查X线片及CT,术后第2天病人疼痛缓解后指导病人进行膝关节主动屈伸及下肢伸直抬高锻炼,术后1周左右开始膝关节持续被动运动仪(continuous passive motion, CPM)辅助功能锻炼,争取术后2周使膝关节屈曲达到90°左右,术后6~8周左右逐渐开始负重锻炼<sup>[7]</sup>。术后3、6、9、12个月门诊随访,术后12个月采用Rasmussen评分<sup>[8]</sup>评价康复情况。

#### 四、观察指标

统计两组病例的手术时间、术中出血量、术后X线片和CT观察关节面塌陷情况以及术后12个月Rasmussen评分。Rasmussen评分<sup>[8]</sup>包括主观功能评分和放射学评分,主观功能评分包括疼痛、行走能力、关节稳定性、伸膝关节、关节活动范围5个亚项,满分为30分,27分及以上为优,20~26分为良,10~19为中,小于10分为差。放射学评分包括髁部是否变宽、关节面是否塌陷、是否成角畸形3个亚项,满分为18分,18分为优,12~17分为良,6~11为中,小于6分为差。比较两组Rasmussen评分差异及其优良率。

#### 五、统计学分析

运用SPSS 15.0软件(IBM公司,美国)进行数据分析,数据以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )的形式表示,两组之间手术时间、术中出血量、术后关节面塌陷情况、Rasmussen评分的比较采用独立样本 $t$ 检验;年龄、骨折分型、合并症等计数资料的比较采用卡方检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

#### 结 果

观察组的手术时间、出血量均低于对照组,差异均有统计学意义( $t=2.297, P=0.029; t=2.674, P=0.013$ )。术后病人均骨性愈合(图2、3),两组病人术后关节面塌陷情况比较,观察组优于对照组,差异有统计学意义( $t=2.658, P=0.020$ ),详见表2。

随访12个月进行Rasmussen评分统计(表3),结果显示观察组优10例、良4例、中1例、差0例,优良

表2 两组的一般资料( $\bar{x}\pm s$ )

分组	例数	手术时间 (min)	术中出血量 (ml)	术后关节面塌陷 情况(mm)
观察组	15	79.58±5.01	95.86±11.64	0.84±0.07
对照组	14	98.29±6.50	152.35±17.98	2.02±0.23
$t$ 值	-	2.297	2.674	2.658
$P$ 值	-	0.029	0.013	0.020

表3 两组术后12个月的膝关节Rasmussen评分( $\bar{x}\pm s$ ,分)

分组	例数	主观功能评分	放射学评分
观察组	15	25.40±1.02	16.70±2.60
对照组	14	21.88±1.98	14.15±3.54
$t$ 值	-	1.550	1.178
$P$ 值	-	0.132	0.266



率为93.33%;对照组优8例、良2例、中3例、差1例,优良率为78.57%。观察组的优良率高于对照组。两组主观功能评分和放射学评价的比较,观察组均高于对照组,差异均无统计学意义( $t=1.550, P=0.132; t=1.178, P=0.266$ )。

术后并发症:29例病人中,对照组切口延迟愈

合2例,未见合并腓总神经及腘窝后方重要神经血管的损伤。对照组1例(Schatzker V型)病人术后2周切口延迟愈合、渗液、切口裂开,予以清创VSD负压吸引,对症处理,术后2个月切口愈合良好出院;1例病人(Schatzker VI型)术后3个月门诊复查膝关节活动障碍,关节僵硬,膝关节活动范围为30°~



图2 观察组病人,女,36岁,车祸伤 a、b:术前左膝关节正侧位X线片可见右侧胫骨平台骨折,Schatzker VI型,移位明显;c、d:CT提示内、外、后三柱骨折,前外侧及前内侧骨块移位明显,后内侧骨折块向后内方移位,关节面向内侧及后侧塌陷超过5 mm,骨折向后成角畸形;e、f:术后1周复查X线片,采用前外、后内联合入路,分别固定双柱骨折,力线纠正良好,关节面塌陷纠正满意;g、h:术后1年复查X线片,内固定位置正常,骨折愈合良好;i、j:术后1年取出内固定,关节面未见塌陷,力线良好;k、l:术后1年膝关节活动范围为0°~140°,关节功能恢复良好



图3 对照组病人,男,38岁,高处坠落伤 a,b:Schatzker VI型,三柱骨折,累及内外侧柱及后柱,外侧及后侧平台塌陷、移位明显,胫骨近端骨折伴有短缩移位,后外侧关节面塌陷超过2 cm;c,d:采用内外侧及后侧柱固定;e,f:术后1年内固定取出,膝关节正侧位X线片提示膝关节面塌陷基本纠正,内外侧间隙及胫骨平台宽度恢复良好,胫骨近端少量异位骨化形成;g,h:术后1年左右膝关节伸直 $0^{\circ}$ ,屈曲 $120^{\circ}$ 左右

$60^{\circ}$ ,予以康复科被动功能锻炼及合理康复理疗,术后5个月膝关节功能恢复至 $10^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。两组术中及术后均无骨筋膜室综合征及神经血管损伤情况。

## 讨 论

胫骨平台骨折手术治疗的目的是纠正胫骨平台的力线及恢复关节面的平整<sup>[9]</sup>,为术后病人的功能锻炼提供可靠的力学基础条件。传统手术方案是根据术前X线片、CT及MRI在二维图像上依据经验制定手术计划<sup>[10]</sup>,术中可能出现手术时间延长、内固定物匹配不理想、难复位骨折块、植骨不满意等情况。

通过3D打印制作1:1实体模型,术者在模型上进行预手术,观察接骨板及螺钉的长度、匹配情况、是否需要植骨等,评定术中可能会出现困难,进行手术方案的设定。根据骨折分型选取手术入路及术中体位。设计需要考虑以下几点<sup>[11]</sup>:①IV~VI型骨折常累及内外侧及后侧胫骨平台,手术入路尤为重要。针对观察组的骨折分型,我们进行了如下分类

总结,胫骨外侧平台骨折采用前外侧入路,如合并半月板损伤,常规显露关节进行一期修复;后内侧入路注意保护隐神经,并对内侧副韧带进行探查修复;如累及胫骨后外侧,采用后外侧入路,切口沿腓骨头稍向内下延伸,同时注意保护腓总神经;对于胫骨后方的塌陷骨折块,前方入路存在无法进行有效固定的缺点,可采用后外侧入路,此入路于比目鱼肌起点开始分离,沿内向外方向进行分离,全层牵拉保护皮下软组织;针对后内外侧骨折,利用后外侧切口可同时显露前外和后外侧骨折块,如后外侧骨折难以显露,可以进行腓骨头截骨,此外改良后外侧入路<sup>[12]</sup>,可以通过切开关节囊直接显露前外及后外的骨折并进行复位;对于复杂的后柱骨折,可以采用后内后外侧联合入路,但此入路对神经血管的损伤风险可能增加,对膝关节解剖熟练程度有一定要求。②术前3D打印的骨折模型如难以复位,可提前判断接骨板是否需要术前矫形。③根据手术方案确定病人术中最佳体位(如仰卧位、平卧位、侧卧位或者漂浮体位),及



接骨板的最佳摆放位置。④手术入路与相邻神经及重要血管的分析,评估手术风险。⑤如合并游离难复位骨折块,需要考虑采用接骨板还是单纯螺钉固定以及接骨板及螺钉的长度,术前模拟,提前预备,以节省手术时间。⑥如关节面塌陷明显,是否需要开窗植骨,评估植入骨量<sup>[13]</sup>。⑦结合术前 MRI 检查决定术中是否需要修复半月板、内外侧副韧带、交叉韧带,是否需要术前准备锚定等器械。⑧人性化术前谈话,借助 3D 模型让病人及其家属对骨折及手术方案有深入的了解,包括手术的必要性、手术接骨板的选择、治疗总体费用等。

下肢力线、关节面塌陷的纠正及软组织损伤的修复情况很大程度决定了手术效果<sup>[14]</sup>,为术后早期功能锻炼提供保证<sup>[15]</sup>。本研究 29 例病人中,观察组的手术时间及出血量均低于对照组;术后膝关节塌陷纠正情况,观察组优于对照组,差异均有统计学意义。这与术前对骨折的充分评估和良好的手术方案设定有直接关系。术前设定合适的手术入路,选择好接骨板,备好术中难以复位的骨折块的策略等为膝关节塌陷的纠正起到了积极的作用。两组病人术后 12 个月膝关节 Rasmussen 评分的差异无统计学意义,但观察组的优良例数多于对照组。关节功能的恢复情况与以下 3 个方面有关:①膝关节的骨折类型及有无合并韧带半月板损伤等;②关节面及下肢力线的纠正情况;③术后的功能康复锻炼<sup>[16]</sup>。本研究也间接说明膝关节面塌陷的纠正情况和术后关节功能恢复有一定关系,但不是主要决定因素。

目前,骨科手术越来越重视微创理念,提倡对软组织的保护、精细操作,强调术中准确复位和术后早期功能锻炼的重要性。3D 打印技术在良好的骨折复位基础上,减少手术时间及降低术中出血,避免过度剥离骨折块损伤骨膜,减少软组织损伤,对骨折的愈合及膝关节的功能恢复起到积极的作用<sup>[17,18]</sup>。3D 打印技术在转化医学及骨组织工程领域开展了广泛的研究<sup>[19]</sup>,如骨折手术复位固定、骨组织支架材料的研究等方面。相信 3D 打印技术作为骨科研究领域的一个重要技术手段,会有更好的应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] Kandemir U, Maclean J. Surgical approaches for tibial plateau fractures[J]. J Knee Surg, 2014, 27(1): 21-29.
- [2] 张英泽. 胫骨平台骨折微创治疗策略与进展[J]. 中华创伤骨科杂志, 2017, 19(10): 829-832.
- [3] Dodd A, Oddone Paolucci E, Korley R. The effect of three-dimensional computed tomography reconstructions on preoperative planning of tibial plateau fractures: a case-control series[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2015, 16: 144.
- [4] Panzica M, Suero EM, Omar M, et al. Navigated reconstruction of tibial head depression fractures by inflation osteoplasty[J]. Technol Health Care, 2014, 22 (1): 115-121.
- [5] 邱卫华, 孔祥雪, 李鉴轶, 等. 3D 打印技术指导胫骨平台 Schatzker II、III 型骨折复位的初步应用[J]. 中国临床解剖学杂志, 2016, 34(6): 697-699.
- [6] 王亚斌, 孙惠清, 姜雪峰, 等. 胫骨平台后内侧骨折的内固定治疗[J]. 骨科, 2015, 6(1): 9-12, 24.
- [7] Henkelmann R, Schneider S, Müller D, et al. Outcome of patients after lower limb fracture with partial weight bearing postoperatively treated with or without anti-gravity treadmill (alter G<sup>®</sup>) during six weeks of rehabilitation-a protocol of a prospective randomized trial[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 104.
- [8] 刘颖, 刘显东, 曹万军, 等. 持续被动运动对胫骨平台骨折术后膝关节功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(7): 531-533.
- [9] Jordan R, Hao J, Fader R, et al. Study protocol: trial of inflation osteoplasty in the management of tibial plateau fractures[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2014, 24 (5): 647-653.
- [10] 何志勇, 张擎柱, 林影影, 等. 传统手术与应用 3D 打印技术术后手术治疗复杂胫骨平台骨折的疗效比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(8): 682-686.
- [11] Alpert JM, McCarty LP, Bach Br Jr. The direct posterior approach to the knee: surgical and anatomic approach[J]. J Knee Surg, 2008, 21(1): 44-49.
- [12] Bizzotto N, Tami I, Santucci A, et al. 3D Printed replica of articular fractures for surgical planning and patient consent: a two years multi-centric experience[J]. 3D Print Med, 2015, 2(1): 2-8.
- [13] Pätzold R, Friederichs J, von Rüden C, et al. The pivotal role of the coronal fracture line for a new three-dimensional CT-based fracture classification of bicondylar proximal tibial fractures[J]. Injury, 2017, 48(10): 2214-2220.
- [14] Lalić I, Daraboš N, Stanković M, et al. Treatment of complex tibial plateau fractures using Ilizarov technique[J]. Acta Clin Croat, 2014, 53(4): 437-448.
- [15] 梁凡. 有限内固定联合外固定支架治疗复杂胫骨平台骨折[J]. 骨科, 2016, 7(5): 372-374.
- [16] 张铁山, 陈杰, 梁卫东, 等. 漂浮体位下三柱内固定治疗复杂胫骨平台骨折的临床疗效[J]. 临床和实验医学杂志, 2017, 16(23): 2315-2318.
- [17] 刘璠. 胫骨平台骨折治疗相关问题与思考[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(18): 1149-1150.
- [18] Lowe J A, Tejwani N, Yoo BJ, et al. Surgical techniques for complex proximal tibial fractures[J]. J Bone Joint Surg Am, 2011, 93(16): 1548-1559.
- [19] Canvasser NE, De S, Koseoglu E, et al. Three-dimensional printing of surgical clips: an *in-vitro* pilot study and trial of efficacy[J]. J Endourol, 2017, 31(9): 930-936.

(收稿日期: 2018-04-03)

(本文编辑: 龚哲妮)