doi:10.11659/jjssx.10E023100

·临床研究·

虚拟手术系统联合个体化导航模板在复杂胫骨平台骨折中的应用

唐 弢,曾 勇,邝 伟 (成都骨科医院一病区,四川 成都 610061)

[摘 要] **目的** 分析虚拟手术系统联合个体化导航模板在复杂胫骨平台骨折(TPF)中的应用效果。**方法** 选取2021年5月至2022年12月我院收治的60例复杂TPF患者,随机分为对照组和观察组,每组30例。2组均行切开复位钢板内固定治疗,对照组患者采用传统手术计划方案治疗,观察组患者采用虚拟手术系统联合个体化导航模板的手术计划方案治疗。比较2组患者骨折复位优良率、手术相关指标、膝关节活动度、膝关节功能、并发症发生率。**结果** 与对照组比较,观察组患者出血量、术中C型臂透视次数减少($P<0.05$),住院时间、骨折愈合时间及手术时间缩短($P<0.05$);观察组患者骨折复位优良率高于对照组($P<0.05$);与对照组比较,观察组患者术后3个月、6个月膝关节屈曲度、伸展度较大($P<0.05$);观察组患者术后3个月、6个月的膝关节协会评分标准(KSS)、纽约特种外科医院(HSS)评分高于对照组($P<0.05$);观察组患者并发症发生率低于对照组($P<0.05$)。**结论** 复杂TPF患者切开复位钢板内固定治疗中采用虚拟手术系统联合个体化导航模板能明显提高手术效率,减少手术创伤及并发症,促进患者术后康复,提高骨折复位质量,改善预后。

[关键词] 复杂胫骨平台骨折;虚拟手术系统;个体化导航模板;关节功能;并发症
[中图分类号] R687.3 [文献标志码] A [收稿日期] 2023-10-23

Application of virtual surgery system combined with personalized navigation template in complex tibial plateau fracture

TANG Tao, ZENG Yong, KUANG Wei (First Ward, Chengdu Orthopedics Hospital, Chengdu Sichuan 610061, China)

Abstract: Objective To analyze the application effect of virtual surgery system combined with personalized navigation template in complex tibial plateau fracture (TPF). **Methods** A total of 60 patients with complex TPF admitted to our hospital from May 2021 to December 2022 were selected and randomly divided into the control group and the observation group, with 30 cases in each group. Both groups were treated with open reduction and steel plate internal fixation. Patients in the control group were treated with traditional surgery plan, and patients in the observation group were treated with virtual surgery system combined with personalized navigation template surgery plan. The good to excellent rate of fracture reduction, surgery-related indexes, knee joint mobility, knee joint function, and the incidence of complications of the two groups were compared. **Results** Compared with the control group, the bleeding volume and intraoperative C-arm fluoroscopy times in the observation group were reduced ($P<0.05$), and the hospitalization time, fracture healing time and surgical time were shortened ($P<0.05$). The good to excellent rate of fracture reduction in the observation group was higher than that in the control group ($P<0.05$). Compared with the control group, the ranges of knee flexion and extension 3 months and 6 months after surgery in the observation group were larger ($P<0.05$). The hospital for special surgery (HSS) and knee society score (KSS) scores 3 months and 6 months after surgery in the observation group were higher than those in the control group ($P<0.05$). The incidence of complications in the observation group was lower than that in the control group ($P<0.05$). **Conclusion** The use of virtual surgery system combined with personalized navigation template in the open reduction and steel plate internal fixation of complex TPF patients can significantly improve surgical efficiency, reduce surgical trauma and complications, promote postoperative recovery, increase reduction quality of fracture, and improve prognosis.

Keywords: complex tibial plateau fracture; virtual surgery system; personalized navigation template; joint function; complication

胫骨平台骨折(tibial plateau fracture,TPF)是骨科常见损伤,其发生率占所有骨折的1%,通常由高能撞击引起[1-2]。复杂TPF多伴有干骺端、骨干骨块分离,治疗难度高,准确恢复患肢力线、重建关节面吻合关系是其治疗的主要目的[3]。切开复位钢板内固定治疗TPF的疗效良好,临床应用广泛[4-5]。但TPF的可变性非常高,因此,术前通过CT扫描、MRI等影像学技术对骨折类型和治疗计划进行个体化分析至关重要[6-7]。近年来,影像重建及3D打印技术逐渐成熟,可显著提高TPF手术疗效及安全性[8]。数字骨科学技术进一步推进了骨科手术的发展,可为骨科医生设计精准“数字化手术方案”提供可靠依据[9]。本研究在既往研究基础上,基于虚拟手术系统设计手术方案及导航模

[基金项目] 2021年成都市医学科研课题(2021260)
[通信作者] 唐 弢,E-mail:xhzp1465@21cn.com

板,并结合3D打印技术制作个体化导航模板,分析虚拟手术系统联合个体化导航模板在复杂TPF中的应用价值,以期为实施复杂TPF的精确化手术提供重要依据,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2021年5月至2022年12月我院收治的60例复杂TPF患者,不设盲,按照1∶1的比例设计,采用计算机生成1~60随机数字,将1~30对应的患者纳入观察组(30例),31~60对应的患者纳入对照组(30例)。纳入标准:确诊为复杂TPF[10],Schatzker分型为Ⅳ~Ⅵ型;年龄18~65岁;单侧新鲜闭合性TPF;无精神病史及神经系统疾病。排除标准:病理性骨折;有胫骨近端骨折史;骨质疏松;严重内科疾病,不能耐受手术。2组患者年龄、美国麻醉医师协会分级[11]等一般资料均衡可比(P>0.05)。本研究经我院伦理委员会审批[批准号:伦审(研)2021年04号],患者均签署同意书。

1.2 方法

2组患者均行切开复位钢板内固定治疗,术前行患侧CT扫描及三维重建,明确骨折情况。

对照组:采用传统手术计划方案进行治疗,患者行全身麻醉或蛛网膜下腔麻醉,取仰卧位,上止血带,弧形切口暴露骨折部位,撬拨复位塌陷胫骨平台,植入自体髂骨。复位劈裂塌陷骨折块,克氏针固定。C型臂透视,确认骨折复位良好后根据患者情况对半月板、外侧关节囊、板胫韧带等损伤部位进行修复,然后置入胫骨近端锁定接骨板,螺钉固定,塌陷的关节面通过多枚螺钉维持,随后对关节囊、半月板等进行修复,清理术区,关闭切口。

观察组:采用虚拟手术系统联合个体化导航模板的手术计划方案进行手术治疗。①建立TPF钢板模型数据库,将我院所有厂家的胫骨平台钢板进行CT扫描、三维重建、形态学处理,并标记厂家、型号,构建模型库以供虚拟手术时选用合适的内植物;将不同厂家的钢板建模、骨折的CT数据导入电脑,虚拟复位后,将不同厂家的钢板模拟固定,选择合适的钢板。②建立TPF模型,将TPF的CT数据以dicom格式图像输入Mimics软件,分割出TPF部分,每层图像经选择性编辑、补洞处理和平滑处理,建立各骨块三维模型,并以不同颜色标注,经3D计算建立TPF三维数字化模型。③术前测量,采用Mimics软件3D测量工具测量关节面塌陷深度、骨折块位移距离。④虚拟复位,选取合适钢板模型导入Mimics软件匹配复位骨折模型,观察钢板位置、螺钉角度、方向,满意后于近端设计制作与钉孔方向一致的导航模板并3D打印。⑤体外模拟,3D打印骨折块、钢板及锁定套筒模型,复位所有骨折块,细克氏针固定,放置导航模板,确定钢板植入位置,借助锁定钢板套筒植入克氏针,观察螺钉角度、方向、长度及钢板与骨面贴合度,并与数字化虚拟手术进行比对,反复验证,同时参照健侧胫骨平台重建模型,验证导板匹配度,制订最终的手术方案。⑥实施手术,根据体外模拟手术方案进行手术,患者体位、麻醉方法及切口位置与对照组一致,复位满意后行克氏针固定,根据患者情况对半月板、外侧关节囊、板胫韧带等损伤部位进行修复,然后放置导航模板,4个钉孔钻入克氏针以确定钢板放置位置,安放钢板及锁定套筒,按照术前模拟手术测量的螺钉长度拧入螺钉,完成后清理术区,关闭切口。

1.3 观察指标

比较2组患者手术相关指标及骨折复位优良率[12]。术后第3天通过影像学Rasmussen评分评估骨折复位情况,18分为优、16~17分为良、6~15分为可、0~5分为差,优良率=(优例数+良例数)/总例数×100%。记录并比较2组患者术后3个月、6个月的膝关节活动度(伸展度、屈曲度)。采用膝关节协会评分标准(knee society score,KSS)评分[13]、纽约特种外科医院(hospital for special surgery,HSS)评分[14]评估2组患者膝关节功能。比较2组患者术后3个月并发症发生率。

1.4 统计学方法

数据采用SPSS 22.0统计学软件分析。计数资料以率(%)表示,采用χ^2检验;计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用t检验。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者手术相关指标比较

与对照组比较,观察组患者术中C型臂透视次数、出血量减少,手术时间、住院时间、骨折愈合时间缩短,差异均有统计学意义(P<0.05),见表1。

2.2 患者骨折复位优良率比较

观察组患者骨折复位优良率高于对照组,差异有统计学意义(P<0.05),见表2。

2.3 患者膝关节活动度比较

观察组患者术后3个月、6个月膝关节伸展度、屈曲度均大于对照组,差异有统计学意义(P<0.05),见表3。

2.4 患者膝关节功能比较

术后3个月、6个月，观察组患者HSS、KSS评分均高于对照组（$P<0.05$），见表4。

2.5 患者术后并发症比较

观察组患者并发症总发生率明显低于对照组（$P<0.05$），见表5。

2.6 典型病例

患者，女，50岁，因车祸伤导致左侧复杂TPF，术前X射线显示骨折Schatzker分型为Ⅳ型（图1a）；根据CT结果打印3D实物模型（图1b、c），采用虚拟手术系统联合个体化导航模板的手术计划方案治疗；骨折复位质量优，术后3个月、6个月复查结果显示，膝关节功能良好（图1d、e）。

表1 患者手术相关指标比较（$\bar{x}\pm s$）

组别	n	手术时间（min）	出血量（mL）	术中C型臂透视次数（次）	住院时间（d）	骨折愈合时间（周）
观察组	30	119.65±18.73	264.84±85.19	16.89±3.12	12.96±3.61	16.85±1.61
对照组	30	146.27±23.69	397.72±91.68	21.76±4.05	16.24±4.13	18.23±1.84
t		4.828	5.816	5.218	3.275	3.092
P		<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.003

表2 患者骨折复位优良率比较[例（%）]

组别	n	优	良	可	差	优良
观察组	30	19(63.33)	8(26.67)	2(6.67)	1(3.33)	27(90.00)
对照组	30	15(50.00)	5(16.67)	7(23.33)	3(10.00)	20(66.67)
χ^2						4.812
P						0.028

表3 患者膝关节活动度比较（$\bar{x}\pm s$，°）

组别	n	伸展度		屈曲度	
		术后3个月	术后6个月	术后3个月	术后6个月
观察组	30	−1.45±0.13	−1.46±0.12	125.43±9.14	126.10±8.89
对照组	30	−1.32±0.15	−1.35±0.14	118.75±8.84	119.06±8.77
t		3.587	3.268	2.877	3.088
P		0.001	0.002	0.006	0.003

表4 患者膝关节功能比较（$\bar{x}\pm s$，分）

组别	n	KSS评分		HSS评分	
		术后3个月	术后6个月	术后3个月	术后6个月
观察组	30	88.12±5.79	92.43±3.71	87.33±5.48	91.26±3.54
对照组	30	83.06±6.17	88.25±4.12	82.13±5.98	87.36±4.04
t		3.276	4.130	3.511	3.977
P		0.002	<0.001	0.001	<0.001

表5 患者术后并发症比较[例（%）]

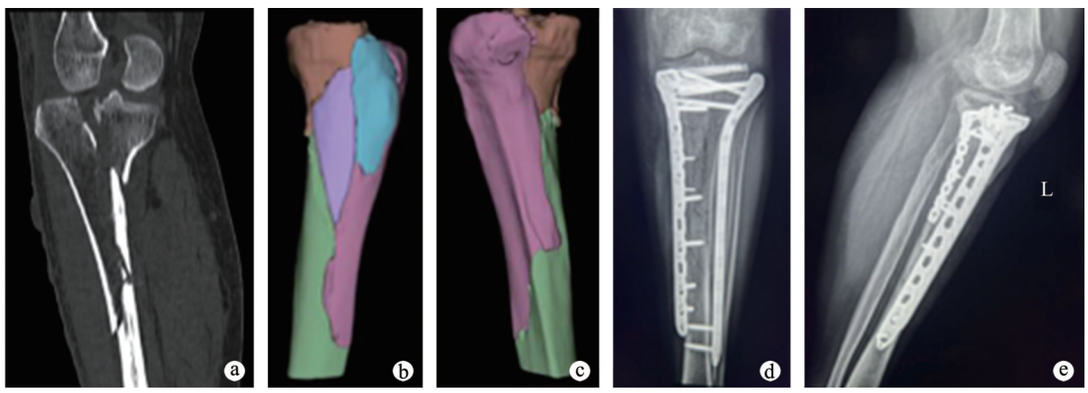
组别	n	切口感染	创伤性关节炎	下肢深静脉血栓	畸形愈合	合计
观察组	30	1(3.33)	2(6.67)	1(3.33)	1(3.33)	3(10.00)
对照组	30	3(10.00)	4(13.33)	3(10.00)	2(6.67)	10(33.33)
χ^2		0.268	0.185	0.268	0.000	4.812
P		0.605	0.667	0.605	1.000	0.028

3 讨论

复杂TPF包括Schatzker分型Ⅳ~Ⅵ型，术中恢复关节面平整、轴向稳定难度高，临床治疗具有一定挑战[15]。TPF的常规治疗主要通过术前CT扫描及三维重建观察骨折情况，骨科医生结合临床经验制定手术方案，但对于复杂TPF患者，即便是经验丰富的骨科医生，术中也难以获得理想复位和精准固定。因此，术前制订合适、详尽的手术方案对指导手术治疗至关重要。

本研究结果显示，复杂TPF患者切开复位钢板内固定治疗中应用虚拟手术系统联合个体化导航模板，能减少出血和透视次数，缩短手术时间，并促进骨折愈合和术后恢复，显著提高骨折复位效果。这说明虚拟手术系统联合个体化导航模板在减少复杂TPF患者手术创伤、提高手术效率、促进术后康复方面具有明显优势。分析其原因在于Mimics软件的精准测绘功能，以测量角度、长度、面积等方式量化分析患者组织解剖结构关系，可准确获得骨折部位组织结构数据；经3D计算建立TPF三维数字化模型，根据TPF三维数字化模型进行虚拟复位能将骨块准确复位，结合建立的TPF钢板模型数据库可在虚拟手术时选用合适的内植物，明显提高手术效率；进一步根据3D打印模型进行体外模拟，能制定个体化手术方案，提高骨科医生手术熟练程度，实施手术时利用个体化导航模板根据体外模拟手术方案进行手术，能实现快速复位、精准固定，且能减少不必要的损伤，从而缩短手术时间，减轻手术创伤，促进术后康复[16-17]。Dust等[18]指出，3D打印能准确评估TPF的分类，为TPF的手术治疗提供重要参考依据。Mimics软件具有强大的三维图像整合及后续加工功能，可对骨折模型进行虚拟复位，目前已应用于骨科手术中[19]。留成胜等[20]研究显示，在过伸性TPF术中采用Mimics软件进行数字化三维重建模拟辅助手术治疗，能提高手术复位精准性，减轻手术创伤，是一种安全可行的辅助方法。

本研究还发现，与传统手术计划方案比较，复杂TPF患者切开复位钢板内固定治疗中应用虚拟手术系统联合个体化导航模板能进一步增加术后膝关节活动度，改善膝关节功能。原因主要为虚拟手术系统联合个体化导航模板能提高手术精准性，实现理想复位和精准固定，是骨折端恢复正常解剖结构和功能的可靠基础，且能减轻手术创伤及术后炎症，促进术后恢



a:术前膝关节X射线;b、c:根据CT结果打印3D实物模型图;d、e:术后3个月、6个月患侧CT图像

图1 典型病例图片

复,为膝关节功能恢复提供有利条件,从而更有效改善患者膝关节功能。本研究还发现,TPF术中采用虚拟手术系统联合个体化导航模板能明显降低术后并发症发生率。这说明该方法能明显提高手术安全性,原因可能为虚拟手术系统联合个体化导航模板的应用能获得理想复位和精准固定,提高手术效率,减轻手术创伤,降低不良反应的发生风险。

综上,复杂TPF患者切开复位钢板内固定治疗中应用虚拟手术系统联合个体化导航模板,能明显提高手术效率,减少手术创伤及并发症,促进患者术后康复,提高骨折复位优良率,进一步改善患者预后。

[参考文献]

[1] Rudran B, Little C, Wiik A, et al. Tibial plateau fracture: anatomy, diagnosis and management[J]. Br J Hosp Med (Lond), 2020, 81(10): 1-9. doi:10. 12968/hmed. 2020. 0339.

[2] Iliopoulos E, Galanis N. Physiotherapy after tibial plateau fracture fixation: a systematic review of the literature[J]. SAGE Open Med, 2020, 8(1): 2050312120965316. doi:10. 1177/2050312120965316.

[3] 刘建斌,李春亮,田少斌,等. 微创接骨板技术联合交锁髓内钉内固定治疗复杂胫骨平台骨折疗效分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志,2023,38(2):189-191. doi:10. 7531/j. issn. 1672-9935. 2023. 02. 021.

[4] 崔万勇,白 冰. 切开复位内固定结合羟基磷灰石支撑自体骨植骨钢板治疗Schatzker Ⅱ型胫骨平台骨折的效果与安全性[J]. 临床误诊误治, 2022, 35(11): 84-88. doi: 10. 3969/j. issn. 1002-3429. 2022. 11. 018.

[5] Li K, Zhang S, Qiu X, et al. Optimal surgical timing and approach for tibial plateau fracture[J]. Technol Health Care, 2022, 30(S1): 545-551. doi:10. 3233/THC-228050.

[6] Kerschbaum M, Tyczka M, Klute L, et al. The tibial plateau map: fracture line morphology of intra-articular proximal tibial fractures[J]. Biomed Res Int, 2021, 2021(1): 9920189. doi:10. 1155/2021/9920189.

[7] 陈 娟,黄春香. MRI评估运动致胫骨平台骨折形态的影像学特点及与半月板撕裂关联性[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(6): 1555-1559. doi:10. 7517/issn. 1674-0475. 220618.

[8] 许国强,陈文韬,王子健,等. 3D打印技术对胫骨平台骨折患者关节功能及运动功能影响研究[J]. 重庆医学, 2020, 49(20): 3437-3440. doi:10. 3969/j. issn. 1671-8348. 2020. 20. 027.

[9] 黄旭科,李 鹏,孙向华,等. 数字化内固定联合3D打印导板辅助手术治疗胫骨平台骨折临床观察[J]. 广西中医药大学学报, 2020, 23(3): 21-25. doi:10. 3969/j. issn. 2095-4441. 2020. 03. 008.

[10] Lynch CP, Cha EDK, Geoghegan CE, et al. Higher American society of anesthesiologists classification does not limit safety or improvement following minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion [J]. Neurospine, 2022, 19 (3): 533-543. doi: 10. 14245/ns. 2142088. 044.

[11] 中华创伤骨科杂志编辑委员会. 胫骨平台骨折诊断与治疗的专家共识[J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(1): 3-7. doi:10. 3760/cma. j. issn. 1671-7600. 2015. 01. 002.

[12] 帕孜拉·艾拉,艾克白尔·吐逊,阿力木·克热木. 数字化技术在复杂胫骨平台骨折诊疗中的应用研究[J]. 中国医刊, 2023, 58(1): 71-74. doi:10. 3969/j. issn. 1008-1070. 2023. 01. 017.

[13] 孙建华,罗本泰,万国生,等. 胫骨高位截骨联合关节镜清理术治疗膝内翻型关节炎[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(9): 853-855. doi:10. 3977/j. issn. 1005-8478. 2020. 09. 19.

[14] Ying C, Guo C, Wang Z, et al. A prediction modeling based on the hospital for special surgery (HSS) knee score for poor postoperative functional prognosis of elderly patients with patellar fractures [J]. Biomed Res Int, 2021, 2021: 6620504. doi:10. 1155/2021/6620504.

[15] 许胜贵,郭卫中,林 旺,等. 复杂胫骨平台骨折切开复位锁定钢板内固定术后疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(6): 625-627. doi:10. 7531/j. issn. 1672-9935. 2020. 06. 024.

[16] Jiang L, Li H, Huang L. The efficacy of 3D printing model in the intra-articular osteotomy in the treatment of malunion of tibial plateau fracture [J]. Orthop Surg, 2023, 15(1): 85-92. doi:10. 1111/os. 13554.

[17] 魏明杰,徐永清,罗浩天,等. 应用Mimics软件构建钩骨3D可视化解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2020, 38(6): 652-656. doi: 10. 13418/j. issn. 1001-165x. 2020. 06. 006.

[18] Dust T, Hartel MJ, Henneberg JE, et al. The influence of 3D printing on inter- and intrarater reliability on the classification of tibial plateau fractures[J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2023, 49(1): 189-199. doi: 10. 1007/s00068-022-02055-1.

[19] 米 萌,黄东宁,杨凯星,等. 结合Mimics软件三维重建测量的肩胛骨关节外骨折手术疗效分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2021, 23(8): 688-693. doi:10. 3760/cma. j. cn115530-20200606-00373.

[20] 留成胜,谢 伟,段 媛,等. 数字化三维重建模拟辅助手术治疗过伸性胫骨平台骨折[J]. 临床骨科杂志, 2021, 24(3): 430-434. doi:10. 3969/j. issn. 1008-0287. 2021. 03. 046.

(编辑:贺绍梅)