

计算机辅助设计 3D 打印技术在复杂跟骨骨折治疗中的应用

杨晶

【摘要】 目的 探讨计算机辅助设计 3D 打印技术在复杂跟骨骨折治疗中的应用。**方法** 回顾性分析 2015 年 6 月至 2016 年 5 月采用计算机辅助设计 3D 打印技术行手术治疗的 5 例 Sanders Ⅲ、Ⅳ型跟骨骨折患者资料。术前对双侧跟骨行双源薄层 CT 扫描,应用计算机辅助镜面成像技术对患者健侧跟骨进行镜像处理,得到患侧跟骨受伤前形状。对比患侧跟骨受伤前后形态变化,应用计算机快速成型技术用 3D 打印机打印出患侧受伤前后模型。选择合适大小的接骨板,在受伤前跟骨模型上预塑形接骨板,并在骨折模型上模拟手术复位操作。记录手术时间、复位情况,比较手术前后 Bohler 角、Gissane 角及美国足踝外科学会(AOFAS)踝-后足评分。**结果** 预塑形钢板与术中复位的跟骨匹配,手术时间缩短,且减少了周围软组织损伤,无术后皮瓣并发症发生,患者术后恢复良好。手术前后 Bohler 角分别为 $7.7^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$ 、 $27.9^{\circ} \pm 5.3^{\circ}$ ($t = -11.5, P < 0.05$),Gissane 角分别为 $165.4^{\circ} \pm 11.2^{\circ}$ 、 $112.9^{\circ} \pm 5.5^{\circ}$ ($t = 13.3, P < 0.05$);手术前后 AOFAS 踝-后足评分分别为 (17.9 ± 2.5) 分、 (74.1 ± 7.3) 分 ($t = -23.1, P < 0.05$)。**结论** 计算机辅助设计与 3D 打印技术结合,可在术前直观地观察患者骨折移位情况,并精确定制个体化手术方案,提高手术精度与安全性。

【关键词】 计算机辅助;3D 打印;跟骨骨折

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2017.01.012

Computer aided design and three-dimensional printing technology in the treatment of complex calcaneal fractures YANG Jing. *Department of Orthopaedics, the Fifth Affiliated Hospital of XinJiang Medical University, Urumqi 830011, China*

【Abstract】 Objective To investigate the feasibility of computer aided design and three-dimensional (3D) printing technology in the treatment of complex calcaneus fractures. **Methods** Data of 5 patients undergoing surgical treatment of calcaneal fractures of Sanders Ⅲ and Ⅳ with computer aided design and 3D printing technology from June 2015 to May 2016 were retrospectively analyzed. Dual-source thin-section CT and computerized aided mirror imaging were used. The morphological changes of the calcaneus before and after injury were contrasted to create a 3D model of the calcaneal fractures with the help of computer rapid imaging technology. An appropriate plate was selected and shaped on the calcaneus model before injury, and surgical operation on the calcaneus model after injury was simulated. Surgical treatment time and the fracture reduction, preoperative and postoperative Bohler angle, Gissane angle and American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) ankle-hindfoot scores were compared. **Results** Pre-reshaped plates matched well with the calcaneus after surgical reduction. The operation time was shortened, with minimal injury to the surrounding soft tissue. The incisions healed uneventfully and patients were satisfied with the postoperative function. Bohler angles were $7.7^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$ preoperatively and $27.9^{\circ} \pm 5.3^{\circ}$ postoperatively ($t = -11.5, P < 0.05$); Gissane angles were $165.4^{\circ} \pm 11.2^{\circ}$ preoperatively and $112.9^{\circ} \pm 5.5^{\circ}$ postoperatively ($t = 13.3, P < 0.05$); AOFAS ankle-hindfoot scores were 17.9 ± 2.5 preoperatively and 74.1 ± 7.3 postoperatively ($t = -23.1, P < 0.05$). **Conclusion** Computer aided design and 3D printing technology helps to evaluate the fracture displacement preoperatively and customize individualized surgical plans, thus improving surgical outcome.

【Key words】 Computer aided design; Three-dimensional printing; Calcaneus fractures

足部骨折中跟骨骨折约占 58%,其中关节内骨折约占 75%,术前软组织处理及关节面精确复位对患者术后功能恢复有重要影响^[1]。临床上,应用计算机辅助设计 3D 打印技术打印出患侧受

伤前后跟骨模型,可在术前预塑形钢板并作为术中复位参考^[2-3]。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2015 年 6 月至 2016 年 5 月,选取我院 5 例闭合性跟骨骨折患者,其中 Sanders Ⅲ型 3 例,Ⅳ型 2 例,入院后均给予石膏固定、消肿、缓解疼痛,待软组织具备手术条件后(平均伤后 8~16 d)应用计算机

辅助设计 3D 打印技术行手术治疗。

1.2 术前准备

术前对双侧跟骨行双源 CT 薄层扫描(厚度为 0.02 mm, 西门子 SOMATOM Definition Flash) (图 1),应用计算机辅助镜面成像技术对健侧跟骨进行镜像处理(图 2、3)^[4],利用 3D 打印软件(Materialise MIMICS 15.0)将医学数字影像通信标准(DICOM)数据转换,通过 3D 打印机快速成型患侧受伤前后模型(每个跟骨成型需 4 h, 1:1)(图 4),选择合适的接骨板在受伤前跟骨模型上预塑形(图 5),同时在骨折模型上模拟手术复位,测量螺钉长度,选择合适的固定角度。该模型由聚乳酸及树脂材料制成,经低温消毒,可作为术中复位参考(图 6)^[5]。

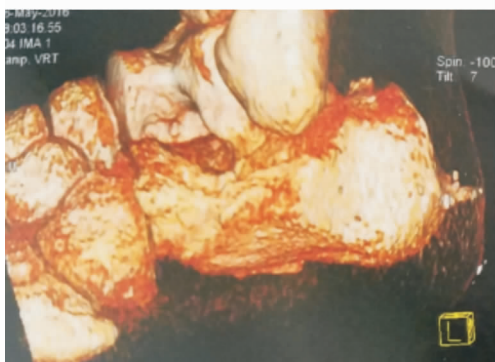


图 1 经双源 CT 薄层扫描获得数据

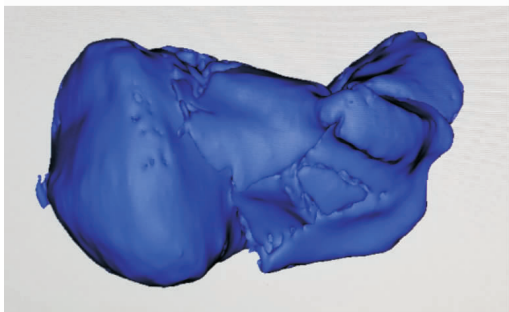


图 2 CT 数据分割

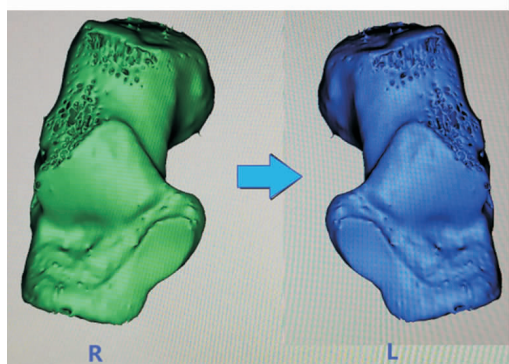


图 3 对健侧跟骨数据进行镜像处理

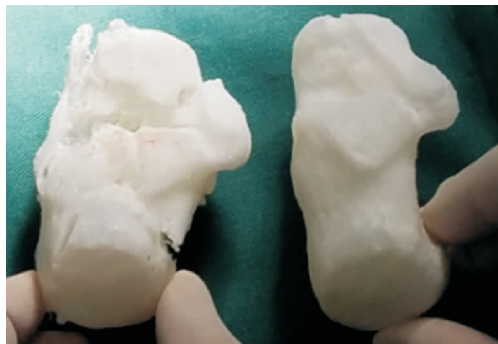


图 4 3D 打印受伤前后跟骨模型

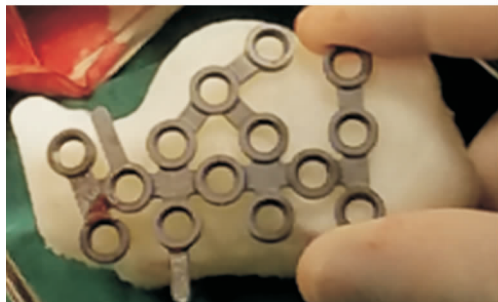


图 5 术前接骨板塑形

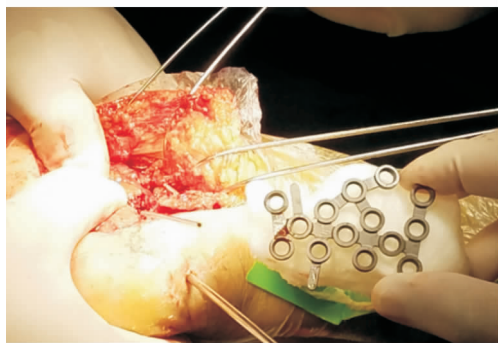


图 6 术中指导骨折复位

1.3 手术操作

患者侧卧位,患侧在上,下肢上止血带,行 L 形切口,起自腓骨远端上方约 1.5 cm、腓骨后缘与跟腱前缘中心处,向下至掌侧与背侧皮肤交界处上方,弧形转向前方,止于第五跖骨基底部。全层切开皮瓣至跟骨骨膜下,保护皮瓣血运,紧贴骨面剥离皮瓣,整体翻转,显露跟骨外侧面及关节面。应用 No-touch 技术于腓骨远端、距骨、骰骨上钻入克氏针,固定皮瓣。术中避免使用拉钩,以免破坏皮瓣血供。骨折复位总体趋向于以术前模拟及术中受伤前跟骨模型作为参考,复位关节面。对于关节面破坏、压缩严重的跟骨骨折,为避免骨折复位后位置丢失,可进行自体骨、异体骨或人工骨植骨,如使用可吸收人工骨,则用量不易过多,以避免术后溶解、吸收过程中从切口皮瓣处渗出,从而影响切口皮瓣愈合,增加感

染发生率^[5]。评估骨折复位角度,重建关节面平整后,将术前在受伤前跟骨模型上预塑形的接骨板置入预先设计好的位置,克氏针临时固定,选取提前测量好的锁定螺钉固定骨折块。常规放置负压引流,皮下单股可吸收缝线缝合,垂直及水平部分两端向中间间断缝合,调整针距,使 L 形皮瓣顶角皮下无张力,采用 Donati-Allgower 缝合法间断缝合皮肤,纱布加压包扎。术后抬高患肢,每日换药,保持切口干燥。若渗出较多,可行封闭负压引流。

1.4 术后疗效评价

记录手术时间、复位情况,比较手术前后 Bohler 角、Gissane 角及美国足踝外科学会(AOFAS)踝-后足评分。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 19.0 软件完成统计学分析,数据采用 t 检验, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

平均单侧跟骨 3D 快速成型时间为 4 h,手术时间为 60~90 min,平均 78 min。术后患者均无切口软组织并发症及复位丢失发生,功能恢复良好。手术前后 Bohler 角分别为 $7.7^\circ \pm 1.5^\circ$ 、 $27.9^\circ \pm 5.3^\circ$ ($t = -11.5, P < 0.05$),Gissane 角分别为 $165.4^\circ \pm 11.2^\circ$ 、 $112.9^\circ \pm 5.5^\circ$ ($t = 13.3, P < 0.05$)。手术前后 AOFAS 踝-后足评分分别为 (17.9 ± 2.5) 分、 (74.1 ± 7.3) 分 ($t = -23.1, P < 0.05$)。受伤前跟骨模型 Bohler 角 ($27.9^\circ \pm 4.6^\circ$) 与术后 Bohler 角 ($27.9^\circ \pm 5.3^\circ$) 无显著性差异 ($t = -0.28, P > 0.05$),受伤前跟骨模型 Gissane 角 ($113.2^\circ \pm 5.7^\circ$) 与术后 Gissane 角 ($112.9^\circ \pm 5.5^\circ$) 亦无显著性差异 ($t = -0.075, P > 0.05$)。根据 AOFAS 踝-后足评分判断预后(满分 100,优 ≥ 90 分,良为 75~89 分,可为 50~74 分,差 < 50 分),结果优良率为 90%。

3 讨论

3.1 跟骨骨折治疗要点

不涉及距下关节的跟骨骨折手术适应证:有较严重的压缩、移位、短缩和增宽畸形;存在跟骨体外侧壁剪切骨折块;跟骨粗隆后上骨折块分离 ≥ 1 cm;前突骨折且发生疼痛性骨不连;鸟嘴型骨折。涉及距下关节的跟骨骨折手术适应证为后关节面塌陷和跟骨外侧壁外膨。因为该类跟骨骨折很难通过单纯手法复位达到治疗要求,所以对于关节内有不平整、台阶的跟骨骨折,尤其是存在关节内明显移位的 Sanders II~IV 型跟骨骨折,均应进行手术治疗。

目前对于 Sanders II~IV 型跟骨骨折患者,首选切开复位内固定。

手术时机对术后切口愈合十分重要,术区皮瓣软组织皱褶实验阳性为手术时机选择的重要参考指标,平均在伤后 9 d 软组织肿胀明显减轻。

重建跟骨解剖形态、恢复距下关节面平整为取得良好愈后的关键,难点在于纠正跟骨畸形,恢复跟骨高度、宽度和长度及 Bolher 角、Gissnae 角。精确复位、内固定物选择及接骨板塑形对术者操作要求较高。

3.2 复杂跟骨骨折治疗难点

跟骨外形不规则,因此 Sanders III、IV 型跟骨骨折形态多不规则,高能量损伤时跟骨内部可能存在严重的骨缺损、关节面塌陷,尤其是陈旧性跟骨骨折,解剖标志不清,因此骨折复位、固定较为困难。3D 打印技术在临床中的应用对复杂跟骨骨折术前计划制定有重要意义^[6]。

3.3 计算机辅助设计 3D 打印技术临床应用

目前计算机辅助设计 3D 打印技术在骨科领域发展迅速,通过计算机辅助设计、逆向工程软件分析^[7]及 3D 打印技术可将肢体受伤前后实物模型呈现在术者面前,术前规划手术方式、模拟手术、选择大小合适的内固定物、对骨折进行个体化和精确化治疗可提高手术复位精度,改善愈后。该技术也可用于骨折畸形愈合后截骨矫形、椎弓根定位、关节置换导航模板制作及辅助切除骨肿瘤后肢体重建等,平面图像三维化对设计手术方式有重要的指导意义。计算机辅助设计 3D 打印技术逐渐成为骨外科领域重要技术手段,但目前对快速成型材料力学及生物相容性仍需进一步实验研究。而聚乳酸、树脂等不同材料制成的术中导航模具经不同方式消毒,其形变、力学强度各有优势,应根据不同手术方式选择相应材料种类及消毒方式。随着计算机辅助设计 3D 打印技术的普及和发展,该技术正逐渐成为术前设计及术中操作的主流技术^[8],该技术通过逆向工程软件及图形工作站真实并按比例地建立跟骨骨折受伤前模型,有助于提高跟骨骨折手术疗效。跟骨中松质骨占绝大多数且外形不规则、本身形状复杂,受伤后骨折碎块嵌插和压缩、松质骨缺损,导致关节面破坏严重。传统的检查方法局限于二维空间,而应用计算机辅助设计 3D 打印技术可建立立体的骨折模型,但复原为受伤前的状态存在一定限制,对单侧跟骨骨折应用健侧跟骨成型镜像技术,还原骨折

application of 3D pre-bent titanium implants for orbital floor fractures[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2009, 37 (4): 229-234.

- [1] 谢雪涛. 关节内骨折的治疗原则[J]. 国际骨科学杂志, 2016, 37(4):210-213.
- [2] 杨晶,程奎,倪鹏辉,等. 数字化快速成型技术在骨折畸形愈合个体化治疗的应用研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30(7):727-729.
- [3] 杨晶,张丽娜,李飞,等. 数字导航技术在成人 Crowe IV 型髋关节发育不良手术治疗中的应用研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30(12):1233-1235.
- [4] Abdelazeem A, Khedr A, Abousayed M, et al. Management of displaced intra-articular calcaneal fractures using the limited open sinus tarsi approach and fixation by screws only technique[J]. Int Orthop, 2014, 38(3):601-606.
- [5] Kozakiewicz M, Elgalal M, Loba P, et al. Clinical

- [6] Kline AJ, Anderson RB, Davis WH, et al. Minimally invasive technique versus an extensile lateral approach for intra-articular calcaneal fractures[J]. Foot Ankle Int, 2013, 34(6):773-780.
- [7] 章莹,李宝丰,王新宇,等. 术前3D打印技术模拟复杂骨盆骨折手术提高疗效的可行性研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(1):29-33.
- [8] 潘伟,郝永强,严孟宁,等. 个体化数字导板结合3D打印技术在旋转铰链型人工膝关节置换术中的应用[J]. 国际骨科学杂志, 2015, 36(3):231-234.
- [9] 姜雨晨,陈雁西. 3D打印技术在足踝外科的应用价值[J]. 国际骨科学杂志, 2015, 36(1):15-17.

(本文编辑:卢千语)

戴尅戎 顾玉东 邱贵兴 徐建光 王 岩 曾炳芳 杨庆铭 侯春林 田 伟
裴国献 裴福兴 陈启明 郑诚功

张长青

邓廉夫 姜保国 唐佩福 王坤正 袁文 张伟滨 张英泽

柴益民 郭卫 姜建元 马信龙 邱勇 曲铁兵 王满宜 王秋根 王以朋
翁习生 严世贵 杨惠林 赵德伟 朱振安

均强臻刚	郝刘王查振	民璠生均	卫义振	范刘姚	存威栓述	义明科华	范廖王杨	晓明蕾勤	陈李明作	益荣滨清	世晓永	陈孔田徐	亮青勇中生	陈蒋沈许周	力明辉春坚	曹蒋牛夏郑	东邵凤山民	郑懿从海劲	蔡胡罗吴赵	刚胜军春龙	郑铁忠小先	华侯刘卫张
------	-------	------	-----	-----	------	------	------	------	------	------	-----	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

[illegible]

杨庆诚