

- 声心动图的应用价值研究[J]. 中国医学创新, 2017, 14(9): 74-76.
- [11] 王爱珍, 刘慧, 张展, 等. 超声心动图对非典型川崎病的早期诊断价值[J]. 陕西医学杂志, 2017, 46(1): 20-21.
- [12] 黎天明, 张碧宏, 冯明初, 等. 超声检测对小儿川崎病冠状动脉瘤诊断准确性的影响[J]. 中国医药科学, 2016, 6(21): 166-168.
- [13] 周陈荣, 徐巧岚, 周力. 早期诊断小儿不典型川崎病的临床诊治研究[J]. 山西医药杂志, 2017, 46(20): 2503-2506.
- [14] YANG AP, LIU J, YUE LH, et al. Neutrophil CD64 combined with PCT, CRP and WBC improves the sensitivity for the early diagnosis of neonatal sepsis [J]. Clin Chem Lab Med, 2016, 54(2): 345-351.
- [15] FANG DH, FAN CH, LI J, et al. Ratios of CD64 expressed on neutrophils, monocytes, and lymphocytes may be a novel method for diagnosis of neonatal sepsis [J]. J Infect Dev Ctries, 2015, 9(2): 175-181.
- (收稿日期: 2018-05-03, 修回日期: 2018-06-29)

doi:10.3969/j.issn.1009-6469.2019.06.030

◇临床医学◇

3D 打印技术在成人距骨骨折手术中的临床应用

孙晓亮, 官建中, 吴敏, 周建生

作者单位: 蚌埠医学院第一附属医院骨科, 安徽省组织移植重点实验室, 安徽 蚌埠 233004

通信作者: 官建中, 男, 主任医师, 教授, 硕士生导师, 研究方向为创伤骨科和关节外科, E-mail: jzguan2002@163.com

基金项目: 蚌埠医学院研究生科研创新计划(Byyexz1721)

摘要:目的 探讨 3D 打印技术在成人新鲜距骨骨折手术中初步的应用, 评价 3D 打印技术在成人距骨骨折手术中的指导意义。方法 收集 2016 年 1 月至 2017 年 10 月蚌埠医学院第一附属医院骨科的 8 例成人新鲜距骨骨折病人(受伤时间 3 周内), 其中 6 例为单纯距骨骨折。2 例病人合并踝关节骨折。8 例病人住院期间均进行了“距骨骨折切开复位内固定术”。术前将踝关节行 64 排螺旋 CT 扫描, 将所获 DICOM 格式进行三维扫描生成 STL 格式数据, 将 STL 数据传至 3D 打印机进行 1:1 模型打印, 利用模型进行术前病患沟通, 选择合适的手术入路及内固定方式, 在模型上预操作, 术中按照之前制定计划进行“切开复位内固定术”, 术后踝关节正侧位片检查, 术后功能评估按照美国矫形外科足踝协会(AOFAS)评分评价标准, 疼痛改善采用视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)评价。数据利用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。结果 优 5 例, 良 2 例, 可 1 例, 优良率为 87.5%。结论 建立 3D 打印 1:1 模型, 选择合适的手术入路及内固定方式, 拟定出详细的手术方案及术中可能出现困难的对策, 可以达到手术的精准化、微创化及个体化。

关键词: 距骨; 3D 打印; 骨折内固定术

Clinical application of three-dimensional printing technique in surgical treatment of adult talus fractures

SUN Xiaoliang, GUAN Jianzhong, WU Min, ZHOU Jiansheng

Author Affiliation: Department of Orthopaedics, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu, Anhui 233004, China

Abstract: Objective To explore the application of three dimensional printing (3DP) technique in the surgical treatment of adult talus fractures, and to evaluate its guiding significance. **Methods** Eight cases of adult talus fractures (injury time within 3 weeks) who were treated in the Department of Orthopaedics, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College from January 2016 to October 2017 were collected. There were 6 cases of simple talus fractures and 2 cases of talus fractures combined with ankle fracture. Eight patients were treated with “open reduction and internal fixation for talus fractures” during hospitalization. Before surgery, 64-slice spiral CT scanning was performed for all patients. The obtained DICOM format data were reconstructed into STL format data through three dimension scanning, and the STL data were transmitted to the 3D printer for 1:1 model printing. 3D models were used to make communications with patients before operation. Suitable operative approaches and internal fixators were selected to carry out preoperation on models, using “open reduction and internal fixation” according to the previous plan during operation. Positive and lateral X-ray of ankle was performed after operation, and ankle function and pain improvement was evaluated with AOFAS (AOFAS Ankle Hindfoot Scale) and

VAS (Visual Analogue Scale), respectively. SPSS 22.0 was used for statistical analysis. **Results** The results were excellent in 5 cases, good in 2 cases and ordinary in 1 case, and the excellent and good rate was 87.5%. **Conclusion** Setting up 1:1 model of 3D printing, selecting suitable operative approaches and internal fixator, drawing up detailed operation plan and strategies to tackle difficulties in operation can achieve accuracy, minitrauma and individualization in operation.

Key words: Talus; 3D printing; Internal fracture fixation

距骨骨折属于较少见的足部跗骨骨折,大部分距骨体及移位的 Hawkins II~IV 型距骨颈骨折^[1]均需要手术治疗,手术治疗的原则是保护血运前提下解剖复位骨折,稳定及合理的固定,早期康复。但距骨的位置特殊位于踝穴内,且外形不规则解剖结构复杂,手术视野受限,而手术入路及内固定方式选择是手术的难点,不合理的手术方案及操作会增加距骨缺血性坏死及创伤性关节炎风险。3D 打印技术近几年在创伤骨科、关节外科及脊柱外科领域有广泛应用,体现出其独特的优势,可以实体重现手术部位解剖特点^[2],帮助术者对手术部位病变进行更为全面的观察,制定合理的手术方案。基于 3D 打印技术的特点,本研究对 2016 年 1 月至 2017 年 10 月蚌埠医学院第一附属医院骨科收治的 8 例成人新鲜距骨骨折病人(受伤时间 3 周内),利用 3D 打印 1:1 实体模型进行骨折的分型,术前制定合理的手术方案,提供了更为精准的术前设计,取得满意效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2016 年 1 月至 2017 年 10 月蚌埠医学院第一附属医院骨科收治的 8 例距骨骨折病人的资料,其中男性 6 例,女性 2 例;年龄范围 32~79 岁;均为单侧骨折,左侧 5 例,右侧 3 例。受伤原因:高处坠落伤 7 例,车祸伤 1 例,受伤至手术的时间为 48~72 h,平均为 60 h。8 例病人均为闭合性损伤。按骨折线部位分为距骨颈 5 例及距骨体骨折 3 例;将距骨颈骨折按 Hawkins 分型标准^[3]: II 型(距骨颈骨折并距下关节脱位)3 例(37.5%); III 型(距骨颈移位骨折,伴有距下关节及胫距关节半脱位或全脱位)1 例(12.5%); IV 型(距骨颈移位骨折,合并胫距、距下及距舟关节的半脱位或全脱位)1 例(12.5%)。将距骨体骨折按 Sneppen 分型标准^[4]: II 型(距骨体冠状面、矢状面或水平面的骨折)2 例(25.0%); III 型(距骨后突骨折)1 例(12.5%)。入院后所有病人均行踝关节正侧位 X 线片及踝关节薄层 CT 扫描。所有病人手术均由同一组医师完成,采用切开复位及 Herbert 螺钉或单头中空螺钉内固定。

1.2 纳入与排除标准 纳入标准:距骨骨折病人,

包括合并周围踝关节骨折病人,对于骨折移位的 Hawkins II~IV 型距骨颈骨折, Sneppen I~IV 型距骨体骨折,受伤时间 <3 周,随访时间 >6 个月者。排除标准:开放性骨折需一期复位内固定病人,有严重心肺脑疾病无法耐受手术者。本研究符合《世界医学协会赫尔辛基宣言》相关要求,征得病人或其近亲属同意并签署知情同意书。

1.3 数字化三维重建与 3D 打印模型的制作 设备采用蚌埠医学院第一附属医院医学影像中心 64 排螺旋 CT(GE 公司)进行踝关节扫描。扫描容积层厚为 5.00 mm,矩阵为 512 × 512,扫描后进行骨窗重建,重建厚度为 1 mm,扫描后数据结果以 DICOM 格式输入到 Mimics17.0,选择无损压缩模式,确定图像的空间方位,完成数据导入,采用阈值分割和区域增长技术重建骨骼模型,再利用模拟(Simulation)模块中镜像(Mirror)和布尔运算(Boolean)等功能生成三维模型,以 STL 文件输出。将存储的 STL 文件通过 M400 熔融沉积制造 3D 打印机(上海昕建医疗科技公司),利用聚乳酸材料,逐层加工最终去除支撑及平台得到需要的 1:1 模型。根据术前 3D 打印模型明确距骨骨折的结构特点,制定合理的手术方案,选择合适的内固定物。同时术前可利用 3D 打印模型向病人家属讲解手术过程,进行术前谈话,这有利于医患的沟通。

1.4 手术方法的制定与模拟 基于打印的 1:1 实体踝关节模型,明确距骨骨折的类型,骨折线走向及游离骨块移位程度及方向,初步制定手术入路及内固定装置,包括经内踝截骨入路 4 例,外踝截骨 1 例,踝关节前内侧及前外侧各 1 例,踝关节内外侧联合入路 1 例^[5],内固定装置包括 Herbert 螺钉及单头空心加压螺钉,在快速原型上模拟截骨,充分显露胫距,距下及距舟关节,在直视下将骨折块复位,选择合理内固定物固定。手术过程:麻醉成功后,患肢大腿上 1/3 处捆绑电动止血带,取仰卧位,消毒铺巾。具体病人的体位和手术入路由 3D 打印模型所显示骨折的程度及具体类型决定。(1)如游离骨块位于后内侧,采用内踝偏后侧纵弧行切口,自内踝上方 5 cm 越过内踝尖弯曲向前下,前后拉开皮肤及皮下组织,暴露内踝及三角韧带。预先用钻头在内

踝尖向近端钻2个孔,以备手术完毕后固定内踝截骨块,于内踝平胫骨内侧穹顶处横行截骨并标记,将内踝以三角韧带为蒂向下翻转。分别将踝关节内翻或外翻,显露距骨体及距骨颈,直视下利用充分的对抗牵引,将前足背伸,增大踝关节空间,复位距骨体关节面,并在距骨颈进针,向距骨体打入数枚导针,透视下复位及导针方向满意后,打入无头加压空心螺钉,复位内踝截骨块,2枚空心钉固定内踝骨块,常规闭合切口。(2)如游离骨块位于外侧,取外踝后下缘弧形切口,长约10 cm,显露外踝,于下胫腓联合下方约1 cm处行外踝横行截骨,以跟腓韧带为蒂向下翻转外踝,充分显露距骨头、颈、体及后跟距关节面,复位距骨骨折,用Herbert螺钉固定,外踝截骨处用克氏针钢丝张力带固定,常规关闭切口,留置负压引流管。

1.5 术后处理 术后24~48 h内拔除引流管,术后短腿石膏踝关节功能位固定6~8周,术后谨防下肢深静脉血栓,血肿及感染。术后当天即可开始足趾活动,根据随访踝关节X线片骨折愈合情况决定下地负重时间。术后常规复查踝关节正侧位X线片。

1.6 疗效评定 术后功能根据美国矫形外科足踝协会(AOFAS)标准^[6]进行疗效评定,按照踝关节疼痛(40分),功能和自主活动,支撑情况(10分),最大步行距离(街区数)(5分),地面步行(5分),反常步态(8分),前后活动(屈曲加伸展)(8分),后足活动(内翻加外翻)(6分),踝-后足稳定性(前后,内翻-外翻)(8分),足部对线(10分),总分:优为90~100分;良为75~89分;可为50~74分;差为50分以下;术前后疼痛评价采用疼痛视觉模拟(VAS)评分。

1.7 统计学方法 本研究对8例病人手术前后AOFAS和VAS评分的比较,属于配对设计资料,因此首先要对手术前后评分的差值进行正态性检验,运用SPSS 22.0软件处理,采用K-S方法检验,得出AOFAS评分差值($P=0.2>0.05$),VAS评分差值($P=0.2>0.05$),均服从正态性分布,故采用配对样本的 t 检验进行比较,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有病人均按照术前3D打印模型所制定的计划手术,进行术中、术后均未损伤重要血管、神经及肌腱,内侧入路切口长度5~8 cm,平均6 cm,无明显失血。1例术后切口出现延迟愈合,经二次清创缝合后愈合。术后均未出现深静脉血栓形成,8例

病人术后获6~18个月(平均10.3个月)随访,骨折愈合时间为9~12周(平均10.2周)。均获得骨性愈合。随访过程中所有病人均未出现复位丢失、内固定松动及距骨坏死等并发症。AOFAS评分由术前平均(5.6 ± 3.8)分提高到末次随访的(89.3 ± 8.0)分,采用配对样本 t 检验,手术前后差异有统计学意义($t=16.502, P<0.001$)。按AOFAS评分标准术后优5例,良2例,中1例,优良率87.5%;VAS评分也由术前平均(9.4 ± 0.8)分降为术后末次随访的(1.1 ± 0.8)分,采用配对样本 t 检验,差异有统计学意义($t=23.134, P<0.001$),疼痛改善明显。

典型病例:男性,55岁,系高处坠落伤病人,诊断为:左侧距骨体骨折。术前踝关节三维CT检查,经MIMICS软件处理后,导入3D打印机,打印1:1实体模型,进行详细术前规划后,设计手术入路及内固定选择,予以经内踝截骨+复位+空心螺钉内固定术。术后随访X线片见恢复良好,见图1。



图1 典型病例影像图:a,b图为术前踝关节正侧位X线片;c图为3D打印距骨骨折1:1模型;d,e图为术中C臂X光机透视影像;f图为术后3个月复查踝关节正侧位片

3 讨论

随着近些年3D打印技术在骨科领域的快速发展,在创伤骨科方面,尤其针对复杂的足踝部骨折,3D打印技术体现出其独特的优势,石维祥等^[7]利用3D打印内外踝尖部撕脱骨折模型,术前参照模型进行钢板塑形,术中钢板与骨面贴敷良好,术后骨折愈合率及AOFAS评分优良率均高于石膏外固定组。李玉泉等^[8]将6例陈旧性距骨骨折病人足踝部CT数据,进行三维重建和1:1的3D打印,在模型上进行预手术,提供详细的术前计划,手术过程顺利,效果良好。但目前3D打印技术在成人距骨骨折应用的报道较少。

对于距骨骨折的手术治疗,良好的复位及固定需要以合理的手术方案为前提,既要清楚显露骨折部位又能减少对距骨血运的破坏,有学者^[9]对距骨

骨折手术后距骨坏死率做了临床研究,结果显示距骨颈骨折缺血性坏死的总发生率为 31.2%,其中 Hawkins I ~ IV 型骨折距骨坏死的发生率分别为 9.8%、27.4%、53.4% 及 48.0%;而文献[10]结果显示,相比距骨体骨折,距骨颈骨折更易发生坏死,且分型越高坏死率越高;较高的坏死率使距骨骨折的治疗更为棘手,怎样降低坏死率是目前研究的热点,张玺等^[11]利用三维数字化技术获得距骨颈和跗骨管的高度值,获得螺钉自距骨颈穿出进入跗骨管的模型;获得以距骨内侧壁远端中 1/3 和下 1/3 为入点、自不同方向置入时螺钉的长度值和角度值,计算出螺钉不同固定方向的长度、角度的安全范围,认为距骨内侧壁中 1/3 是螺钉固定的良好入钉点。但是在手术中怎么确定具体解剖位置及入钉点,往往并不容易,此时 3D 打印技术便体现出其优势。

我们将 3D 打印技术同骨折切开复位内固定术结合起来,解决手术中的核心难点:(1)手术显露的问题,距骨位置特殊,不容易显露影响术中对骨折的观察;(2)内固定物的植入位置及其分布,距骨形态不规则,内固定位置暂时未形成共识,如何最大限度保护距骨残留的血供,减少医源性损伤。既往的骨折复位往往只能依靠术前对影像的阅读及术中的反复透视,凭术者的经验进行术中的骨折复位及内固定物植入,而 3D 打印模型则提供了真实的参照模型,本研究选取距骨颈骨折病人 5 例及距骨体骨折 3 例,均属于复杂的距骨骨折,根据术前计划实施手术,术中未临时更改手术方案,手术均顺利进行,根据术前对模型观察,确定 Herbert 螺钉在距骨的入钉点,最大限度保护距骨血供,减少了术者及病人 X 光透视次数,术后 AOFAS 评分优良率达到 87.5%。8 例病人中男女比例达 3:1,这与男性多从事高空作业有关,高处坠落伤病人占 87.5%,均为高能量损伤。有 2 例合并踝关节骨折,经 3D 打印模型观察后,术中直接将内踝骨折块掀起显露距骨,并未行内踝截骨,实体模型精确指导手术。其中 1 例年龄 78 岁的男性病人发生术后切口延迟愈合,可能与病人长期吸烟史及下肢静脉曲张有关,后经二期清创缝合后愈合。在随访期内 8 例病人都未发生距骨坏死,一定程度上得益于术前的合理手术方案,将复杂骨折简单化处理,缩短手术时间,加速功能康复。通过将 3D 打印技术初步应用于距骨骨折临床,笔者认为应注意以下两个方面:(1)在实体模型打印完成后,在观察模型时需与周

围的血管,韧带神经的走行和病人局部皮肤软组织条件相结合,避免将手术方案设计的过于理想化,脱离实际解剖;(2)在进行 3D 打印时,一定要包括周围的跟骨,骰骨及足舟骨和下胫腓,保证重现完整的骨关节结构,才能使手术方案更为全面。

综上所述,对于复杂的距骨骨折病例,3D 打印技术可以提供准确的术前规划,能够提高切开复位内固定术的成功率,减少术后并发症,达到精准化及个体化治疗的目的。但本研究仍存在一定的局限性,研究的病例数相对较少且未设置对照组,后期将进一步扩大样本量进行研究。另外随访时间尚短,对远期距骨坏死及创伤性关节炎的发生缺乏进一步的观察,其次 CT 扫描层厚较厚,导致 3D 打印精度欠佳,影响术中精准操作,采用的 3D 打印技术仅能显示骨的结构,暂不能显示软组织(包括踝关节周围的神经血管及韧带),尚不能提供可预手术的完整实体模型。

参考文献

- [1] 施忠民,薛剑锋.距骨骨折[J].中国骨与关节外科,2013,6(4):305-309.
- [2] 周进,姚庆强,胡军,等.3D 打印快速原型辅助全髋关节置换术在治疗成人发育性髋关节发育不良中的应用[J].中国数字医学,2017,12(2):36-38,111.
- [3] 侯泽龙,齐尚锋,陈新等.距骨颈骨折的 Hawkins 分型[J].世界最新医学信息文摘,2017,17(58):106-107.
- [4] YOUNG KW, PARK YU, KIM JS, et al. Misdiagnosis of talar body or neck fractures as ankle sprains in low energy traumas[J]. Clin Orthop Surg, 2016, 8(3):303-309.
- [5] 范峰睿,马信龙,马剑雄,等.距骨颈骨折治疗及其并发症研究进展[J].中华创伤杂志,2017,33(11):1053-1056.
- [6] BELTRAN MJ, MITCHELL PM, COLLINGE CA. Posterior to anteriorly directed screws for management of talar neck fractures[J]. Foot Ankle Int, 2016, 37(10):1130-1136.
- [7] 石维祥,罗晓中,吴刚,等.3D 打印技术在内外踝尖部撕脱骨折治疗中的应用[J].中国修复重建外科杂志,2018,32(2):187-191.
- [8] 李玉泉,曾参军,李涛,等.3D 打印技术辅助儿童陈旧性距骨骨折的应用[J].中国数字医学,2016,11(3):75-77.
- [9] DODD A, LEFAIVRE KA. Outcomes of talar neck fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(5):210-215.
- [10] 毛建水,叶招明.距骨骨折后缺血坏死的相关因素分析[J].中国骨伤,2015,28(4):368-370.
- [11] 张玺,何锦泉,陈雁西,等.基于数字化技术建立距骨颈骨折螺钉固定安全通道的研究[J].中华骨科杂志,2014,34(5):572-581.

(收稿日期:2018-03-12,修回日期:2018-05-08)