

• 技术与方法 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2019.02.031

## 3D 打印导航模块及联合数字化设计在髌臼骨折中的应用研究\*

申智敏, 段宜强<sup>△</sup>, 叶川, 汪健, 陈世平  
(贵州医科大学附属医院骨科, 贵阳 550004)

**[摘要]** **目的** 探讨 3D 打印导航模块设计及联合数字化设计在髌臼骨折中的应用效果。**方法** 取 2015 年 1 月至 2017 年 6 月该院收治髌臼骨折患者 20 例, 采用薄层 CT 扫描获得相关参数以 DICOM 格式保存。将获得数据导入 Mimics 软件中完成三维重建、骨折复位等操作, 设计螺钉的虚拟固定、导航模块等, 采用 3D 打印技术完成导航模块、接骨板的打印并利用骨骼模型模拟手术置钉, 采用 X 射线、CT 等进行扫描, 比较虚拟手术与模拟手术治疗效果。**结果** 通过 3D 打印导航模拟设计联合数字化设计模拟现实模拟手术, 共置入 28 块钢板, 螺钉 149 枚, 设计导航模块导航螺钉 54 枚。3D 打印导航模拟设计联合数字化设计能为髌臼骨折制订最优化手术方案与个性化导航模块, 通过术前虚拟与现实手术模拟, 手术精度比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。20 例患者 3D 打印导航模块联合数字化设计手术下术前患者 JOA 评分为  $(9.60 \pm 2.21)$  分上升到术后的  $(25.41 \pm 3.41)$  分。治疗前、后 JOA 评分比较差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。20 例患者治疗后均无断钉、螺钉松动、感染等并发症发生。**结论** 3D 打印导航模块联合数字化设计用于髌臼骨折中有助于制订最优的手术方案, 提高手术治疗精度、安全性, 提高手术成功率。

**[关键词]** 髌臼骨折; 3D 打印; 导航模块; 数字化设计; 治疗精度; 虚拟固定

**[中图分类号]** R683.3

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2019)02-0301-04

### Design and application of 3D navigation module and joint digital design in acetabular fractures\*

SHEN Zhimin, DUAN Yiqiang<sup>△</sup>, YE Chuan, WANG Jian, CHEN Shiping  
(Department of Orthopaedics, the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550004, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the application effects of 3D navigation module design and joint digital design in acetabular fractures. **Methods** 20 cases of acetabular fractures were treated in our hospital from January 2015 to June 2017, and the related parameters were obtained by CT scanning in DICOM format. The data was received into Mimics software to complete 3D reconstruction, fracture reduction and other operations. Designed the screw fixation, virtual navigation module and used 3D printing to complete the navigation module, the print plate and screw the bone surgery simulation model. Used X-ray and CT scanning, virtual surgery simulation and compared the surgical treatment. **Results** Through 3D printing and navigation simulation design joint digital design simulation simulation operation, a total of 28 steel plate, 149 screws, and 54 designed navigation module navigation screws. 3D navigation simulation design combined with digital design could develop the optimal surgical program and personalized navigation module for acetabular fractures. Through preoperative virtual and real surgery simulation, surgical accuracy was not statistically significant ( $P > 0.05$ ). The JOA score in 20 patients was score  $(9.60 \pm 2.21)$  in the patients increased up to score  $(25.41 \pm 3.41)$  after surgery with 3D printing and navigation module combined with digital design. Before and after treatment, the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). No nail, screw loosening, infection and other complications occurred in the 20 cases. **Conclusion** 3D printing navigation module combined with digital design for acetabular fractures can develop the best surgical program to improve the accuracy of surgical treatment, safety, increase the success of surgery.

**[Key words]** acetabular fractures; 3D printing; navigation module; digital design; treatment accuracy; virtual fixation

\* 基金项目: 贵州省贵阳市科技局计划项目(筑科合同[2018]1-80号)。 作者简介: 申智敏(1980—), 主治医师, 硕士, 主要从事骨关节、创伤骨科及数字化骨科研究。 <sup>△</sup> 通信作者, E-mail: 784853938@qq.com。

从人体解剖学角度来说,髌臼解剖结构复杂,术中容易损伤周围神经及血管组织,增加患者手术风险<sup>[1]</sup>。通过数字化技术为患者制订精确化、最优化的手术方案,将手术进行虚拟设计能明显降低手术风险,具有通用性强、手术精度高、可视化等优点,成为髌臼骨折手术的重要方法<sup>[2]</sup>。有研究表明,利用 3D 打印技术对 CT 图像进行三维建模,并打印、制作出 3D 实物模型,让医生对手术进行有效的模拟,具有仿真性强、匹配性高等特点,成为提高临床手术的重要方法和桥梁<sup>[3]</sup>。然而,临床上对于髌臼骨折的应用相对较少<sup>[4]</sup>。本研究以本院收治髌臼骨折患者 20 例作为研究对象,探讨 3D 打印导航模块设计及联合数字化设计在髌臼骨折中的应用效果,现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取 2015 年 1 月至 2017 年 6 月本院收治髌臼骨折患者 20 例作为研究对象。纳入标准:(1)不稳定型髌臼骨折,均需要行手术治疗,且符合手术适应证;(2)头臼不匹配患者,伴有不同程度的骨折移位;(3)骨折复位后伴有坐骨神经、股神经麻痹。排除标准:(1)受伤时间超过 3 周者;(2)合并严重内科基础疾病者;(3)合并老年患者伴骨质疏松症及内固定难以牢固者。20 例患者中男 11 例,女 9 例,年龄 24~73 岁,平均(45.42±4.56)岁。AO 分型:A 型 9 例,B 型 7 例,C 型 4 例。术前患者均行下肢多普勒血管超声检查排除血管损伤者,患者性别、年龄及 AO 分型比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),具有可比性。

## 1.2 方法

**1.2.1 主要仪器** Mimics14.0 (Belgium, Materialise 公司),3D 打印机(Creator pro, 闪铸科技有限公司),64 排 128 层容积 CT(VCT),MakerBot Replicator2、医用骨科内固定置入器械(山东威高集团有限公司)。

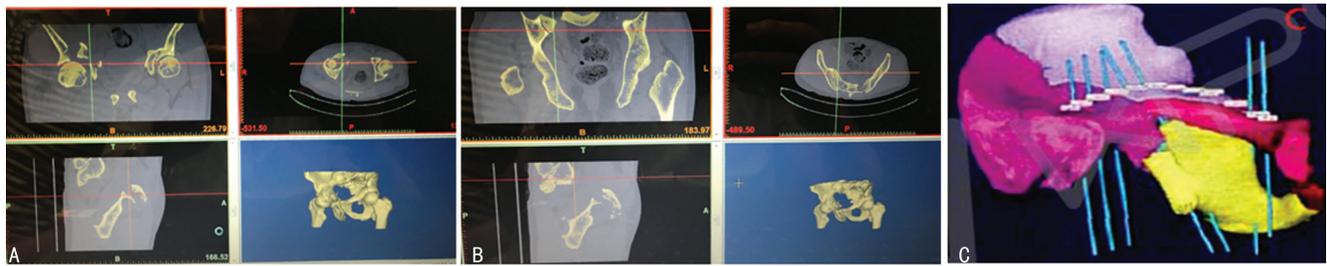
**1.2.2 数据处理** (1)数据采集。入组 20 例患者,采用 VCT 进行扫描,获得薄层 CT 数据,根据每位患者实际情况设置相关参数:电流 A 200~≤250 mAs,扫描电压 V 80~≤130 KV,扫描数据矩阵 512×512,获得的数据采用 DICOM 格式进行保存,备用<sup>[5]</sup>。(2)数据的传输。选择手术传输方式将获得的数据传入到 Mimics14.0 软件中,选择“Import Image”命令,选择导入图像、数据,并且选择无损压缩模式,根据图像的左右方位、矢状图等确定前后方位后完成数据的导入<sup>[6-7]</sup>。(3)二维图像的制作。本研究 CT 数据采用骨窗与软组织窗扫描,并进行三维重建,结合横断面、矢状面、冠状面二维图像,选择合适的阈值范围,将获得图像的相关组织进行分离,生成二维骨组织轮廓,即原始蒙版。(4)蒙版的分割与编辑。

在原始蒙版基础上运用“二维区域增长”功能选择与骨盆主体相互连接的骨质,结合横断面、矢状面及冠状面等选择对相应的骨折块,计算出骨盆蒙版的三维模型,检查确定所有的骨盆想过的关联骨折块是否具有相应的蒙版,然后进行三维重建<sup>[8-9]</sup>。(5)重建高仿真三维模型。根据模型的重建要求设置相关参数,选择“High”提高模型的质量,其余参数均为默认值,使得模型更加直观、逼真,具有更高的仿真度及可视化。在界面内对模型进行旋转、平移、放大及缩小,了解骨折线情况。(6)骨折块的分离。采用三维编辑方式完成图像的分割,利用“三维编辑”功能等对不同的骨折块进行分割(分割时根据从简到繁、先外后内的顺序),并且对不同的骨折块进行命名,并采用不同的颜色进行区分。分割完毕后对蒙版进行三维重建<sup>[10-11]</sup>。(7)虚拟骨折复位。利用 Edit mask in 3D 将股骨头去除,利用平移、旋转等多角度进行观察,并且利用 Reposition 对骨折块进行平移、旋转等帮助其恢复正常的解剖结构<sup>[12]</sup>。(8)虚拟导航的设计。根据骨折分型结合临床选择合适的手术入路,并且利用 Create Spline 在复位模型上确定最佳的钢板置入位置,结合 Spline 中 Measurements 功能根据与钢板大小 1:1 精确地确定钢板的置入位置、钉孔的位置,然后利用 Creat Cylinder 创建和临床开槽置入克氏针相同设定模拟钉道,根据每位患者实际情况选择合适的位置、长度,完成螺钉长度的测量。利用 MedCAD 选择合适直径圆柱体作为模拟粗坯覆盖需要的导航螺钉与骨面,根据骨折的位置、大小等调整其位置,导航方向及位置确定时必须避免重要的血管、神经,采用 Boolean Operation 获得虚拟的导航轨道,见图 1。(9)3D 手术模拟。导航轨道确定后,对局部骨折复位模型进行打印,结合数字化方案完成钢板的预弯。预弯时首先确定钢板起始点后从钢板的一端贴合骨面然后进行缓慢的折弯,初次折弯后进行轻微调整,保证钢板与骨面完全贴合,借助 3D 打印导航模块复位骨折模型并采用克氏针置入模拟螺钉钉道,采用 X 射线进行扫描,导航钉道确定后将预弯钢板进行固定,采用 CT 进行扫描,比较 3D 模型现实模拟与虚拟涉及的钢板的位置、螺钉方向及螺钉长度情况,见图 2<sup>[13]</sup>。

**1.3 统计学处理** 采用 SPSS20.0 软件进行数据处理,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,比较采用  $t$  检验;计数资料以频数或百分率表示,比较采用  $\chi^2$  检验,以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

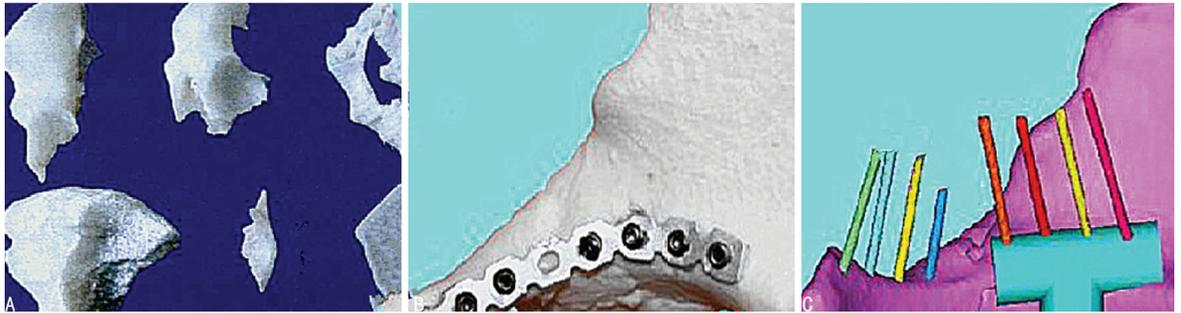
## 2 结果

**2.1 临床数据分析** 本课题中纳入髌臼骨折患者 20 例,全部进行结果分析数量,中途无脱落。



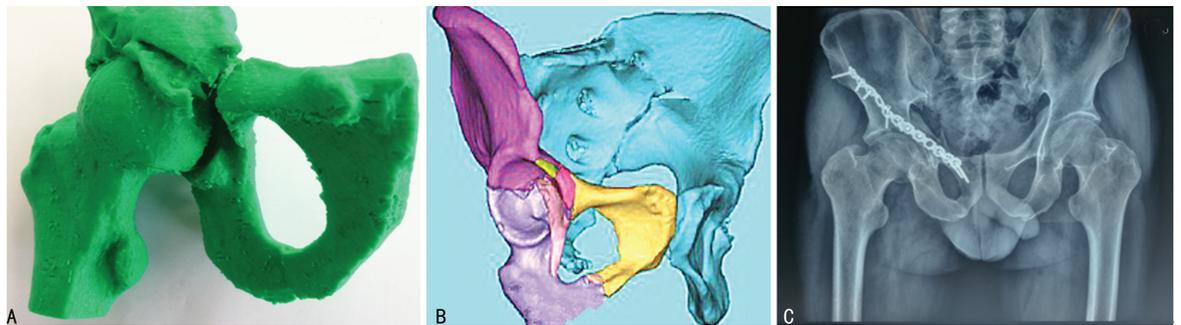
A,B:3D 建模;C:虚拟钉道模拟图

图 1 3D 打印模板建立与导航模块设计



A:3D 打印单一骨折块模型;B,C:利用 3D 打印模型模拟手术

图 2 3D 手术模拟情况



A,B:髌臼骨折三维重建图像;C:髌臼复位效果图

图 3 3D 打印导航模拟设计及联合数字化设计治疗髌臼骨折效果

**2.2 3D 打印导航模拟设计及联合数字化设计治疗髌臼骨折效果** 通过 3D 打印导航模拟设计联合数字化设计模拟现实手术,共置入 28 根钢板,螺钉 149 枚,设计导航模块导航螺钉 54 枚。3D 打印导航模拟设计联合数字化设计能为髌臼骨折制订最优化手术方案与个性化导航模块,通过术前虚拟与现实手术模拟,手术精度比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

**2.3 临床治疗效果** 20 例患者 3D 打印导航模块联合数字化设计手术下术前患者 JOA 评分为(9.60±2.21)分,术后为(25.41±3.41)分,治疗前、后 JOA 评分比较差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

**2.4 不良反应发生率比较** 20 例患者治疗后均无断钉、螺钉松动、感染等并发症发生。

### 3 讨论

髌关节是人体最为重要的负重关节及活动关节,如果髌臼骨折后得不到及时有效的治疗,将会累及负重区关节面,影响髌臼力学的稳定性,而对于不稳定

型髌臼骨折患者则需要手术治疗<sup>[14]</sup>。传统方法以开放性手术为主,手术过程中医生依靠 X 射线、CT 扫描对骨折部位进行判断,根据术中探查结果确定重建钢板置入的位置,虽然能保证患者手术的顺利完成,但是手术精度相对较低,对于医生的专业技能要求较高,且患者术中耗时较长,出血量较多,术后并发症发生率较高,难以达到预期治疗效果<sup>[15]</sup>。

近年来,3D 打印导航模块联合数字化设计在髌臼骨折中得到应用,且效果理想。3D 打印导航模拟联合数字化设计能为髌臼骨折制订最优化手术方案与个性化导航模块,提高手术成功率,促进患者早期恢复<sup>[16]</sup>。近年来,随着医疗技术的不断发展,数字化技术得到进一步提高,计算机导航技术、机器人手术技术、虚拟手术模拟等高精技术在临床上得到广泛的应用<sup>[5]</sup>。本研究将数字化技术用于髌臼骨折中,通过对髌臼骨折患者 CT 数据和图像进行三维重建、虚拟守护模拟,能提高患者手术安全性及手术精度。虚拟

手术又称为虚拟手术仿真系统,该方法基于医学图像数据,采用计算机图形学进行三维重建,构建出虚拟的人体组织模型,利用交互设备进行交互<sup>[17]</sup>。同时,利用虚拟手术系统为医生提供虚拟的 3D 环境,实现人机交互,使得医生对患者的手术能在术前进行模拟,发现手术过程中的注意点,有助于手术精度的提高。此外,3D 打印导航模块联合数字化设计的使用具有直观性、零损伤及可视化等优点<sup>[18]</sup>。

首先,3D 打印导航模块联合数字化设计通过患者的影像学数据图像能帮助医生制订合理、有效的手术方案,选择最佳的手术入路,减少手术创伤,有助于手术定位精度的提高,对于完成复杂的髌臼骨折,提高手术安全性具有重要的意义<sup>[19]</sup>。此外,利用 3D 打印导航模块联合数字化设计能对低年资医师进行培训,达到缩短手术培训学习曲线,虚拟数字化模型,减少了昂贵的实验模型需求,有助于降低培训成本。最后,3D 打印导航模块联合数字化设计的使用还能对术中导航、监护等发挥作用,有助于患者手术成功率的提高<sup>[20]</sup>。通过数字化虚拟手术设计能为患者制订个性化的手术治疗方案,但如何将最佳的手术方案用于手术中一直没有相对有效的方法。本研究中,将 3D 打印技术用于髌臼骨折中最大的优势在于个性化置钉,通过数字化设计,能将患者的虚拟模型转换为 3D 实体模型,使得虚拟模型更加真实,主观感受更加深刻<sup>[21]</sup>。通过 3D 打印技术能在患者手术前打印出个性化的骨质模型,并且在患者术前进行模拟手术,能有效验证虚拟手术的可行性,发现虚拟手术存在的不足并及时进行修正,最终确定最佳的手术方案。同时,3D 打印技术的使用能在术前辅助下选择合适的内固定物,有助于缩短手术时间,降低手术风险,大大提高了手术方案的可行性和有效性<sup>[22]</sup>。临床上,将 3D 打印导航模块联合数字化设计用于髌臼骨折中效果理想,能发挥不同技术的优势,能为髌臼骨折患者制订针对性的手术方案,且两者可以相互弥补,为髌臼骨折患者治疗提供依据和参考<sup>[23]</sup>。

虽然 3D 打印技术在髌臼骨折的应用具备巨大的潜力,但临床应用中仍存在问题:(1)3D 打印材料比较昂贵和稀缺,限制其广泛应用。(2)3D 建模目前仅对骨骼系统有较高的清晰度,而软组织数据比较缺乏,对血管及神经的走行考虑有所欠缺。(3)组织与生物力学性能之间相容性较差。(4)内置物导板的设计需同时具备一定的临床专业知识、计算机技术及 Mimics 软件的应用等知识,这对大部分临床骨科医师是严峻的挑战,需要多学科专业人才合作。但笔者相信随着影像技术精度的提高、新型材料的研发及多学科配合的增强,3D 打印技术能做到高精度、高效率

及低成本,能更好地指导手术和服务于医务工作者。

综上所述,3D 打印导航模块联合数字化设计用于髌臼骨折中能制订最优的手术方案,提高手术治疗精度、安全性,提高手术成功率,具有广泛的运用前景。

## 参考文献

- [1] 杨洋,张国栋,陈宣煌,等.基于薄层 CT 数据的胫骨近端接骨板标准件库的建立及意义[J].中国临床解剖学杂志,2015,33(3):291-294.
- [2] 路博,孔繁林,丁亮华,等.数字化钢板在尺桡骨干骨折中的临床应用[J].中国骨与关节损伤杂志,2014,29(5):457-459.
- [3] 黄恺,丁亮华,胡新宇,等.计算机辅助设计数字化个体钢板内固定治疗复杂胫骨平台骨折短期临床疗效分析[J].中国骨与关节损伤杂志,2013,28(4):324-326.
- [4] SHEN F Y, CHEN B L, GUO Q S, et al. Augmented reality patient-specific reconstruction plate design for pelvic and acetabular fracture surgery [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2013, 8(2): 169-179.
- [5] XIE A W, FANG C H, HUANG Y P, et al. Application of three-dimensional reconstruction and visible simulation technique in reoperation of hepatolithiasis[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2013, 28(2): 248-254.
- [6] 李新春,康麟,庞渊.3D 打印技术在 Pilon 骨折手术治疗中的应用[J].新疆医科大学学报,2015,38(4):471-473.
- [7] 曾羿,沈彬.数字化骨科技术在关节置换术中的应用[J].中华骨科杂志,2013,33(9):961-964.
- [8] BONO K T, RUBIN M D, JONES K C, et al. A prospective comparison of computer-navigated and fluoroscopic-guided in situ fixation of slipped capital femoral epiphysis [J]. J Pediatr Orthop, 2013, 33(2): 128-134.
- [9] 林海滨,张国栋,陈宣煌,等.3D 打印导航模块辅助腰椎弓根螺钉数字化置入的实验精度[J].解剖学杂志,2016,39(4):459-464.
- [10] 陈宣煌,许卫红,黄文华,等.基于 3D 打印的腰椎椎弓根螺钉数字化置入及临床应用[J].中国组织工程研究,2015,19(17):2752-2757.
- [11] 郑锋,余正希,陈宣煌,等.基于数字化设计和 3D 打印胫骨近端骨折内固定的关键技术[J].中国组织工程研究,2016,20(26):3837-3842.
- [12] 严斌,张国栋,吴章林,等.3D 打印导航模块辅助腰椎椎弓根螺钉精确植入的实验研究[J].中国临床解剖学杂志,2014,32(3):252-255.
- [13] GLORIA A, RUSSO T, DE SANTIS R, et al. 3D fiber deposition technique to make multifunctional and tailor-made scaffolds for tissue engineering applications[J]. J Appl Biomater Biomech, 2009, 7(3): 141-152.
- [14] HOQUE M E, CHUAN Y L, PASHBY I. Extrusion based rapid prototyping technique; an (下转第 309 页)

低,对高血压相关知识的知晓率较低,服药依从性有待提高。高血压患者就医行为的影响因素包括疾病严重程度、疾病认知和经济因素 3 个方面,患高血压时间越长、自觉高血压对生活有影响、最近测血压的时间越短、年高血压医疗费用越低的患者,就医率越高。结合本研究结果,政府有关部门应积极开展农村地区的健康教育工作,提高农村居民的健康意识,积极就医,合理用药,同时应适当加强对泸州市农村地区的经济扶持和财政补贴,不断完善医疗保障制度,改善农村居民经济现况,降低医疗费用对高血压患者就医行为的影响。

## 参考文献

- [1] World Health Organization. A global brief on hypertension: silent killer, global public health crisis. World Health Day 2013[R]. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2013.
- [2] 徐晓峰. 浅谈老年高血压患者冬季的健康管理[J]. 健康人生, 2016, 32(2): 31-32.
- [3] 许玉梅. 农村社区高血压患者自我管理调查分析[J]. 中国社区医师, 2017, 33(9): 160-161.
- [4] 张丽芳. 对白大衣高血压的新认识[J]. 中国医刊, 2016, 51(12): 8-10.
- [5] 王淑菁, 徐爱军. 不孕症患者就医行为研究[J]. 世界中医药, 2013, 8(6): 680-682.
- [6] 戴俊明, 傅华, 沈贻涛. 原发性高血压药物治疗依从性研究[J]. 中国慢性病预防与控制, 2000, 8(3): 143-145.
- [7] 崔晶, 于燕, 张瑞娟. 西安地区农村老年人群高血压现况调查分析[J]. 国外医学(医学地理分册), 2013, 34(4): 252-254.
- [8] 杨珉, 李晓松. 医学和公共卫生研究常用多水平统计模型[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2007: 10-17.
- [9] 马玉琴, 滕海英, 孙宁, 等. 农村医疗支出型贫困人群门诊就医行为及其影响因素调查[J]. 中国全科医学, 2016, 19(1): 100-105.
- [10] 曹庆范, 李立科. 2010—2013 年乳山市农村高血压患者卫生服务利用变化及其影响因素分析[J]. 预防医学论坛, 2016, 22(4): 294-297.
- [11] 彭玉琴, 侯春玲, 田英. 影响农村地区高血压患者服药依从性的因素[J]. 中国民康医学, 2014, 27(20): 29-30.
- [12] 赵玉珍. 农村高血压人群药物治疗依从性及影响因素探讨[J]. 心血管病防治知识(下半月), 2015, 4(3): 6-8.
- [13] 胡婀娜, 胡伟明, 纪志庆. 农村老年高血压患者服药依从性调查及影响因素分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(24): 3617-3618.
- [14] 黄河, 李锋. 宁夏中宁县农村地区老年高血压患者用药依从性影响因素分析[J]. 宁夏医科大学学报, 2015, 37(4): 417-419.
- [15] 刘晓莉, 段占祺, 陈文, 等. 四川省农村居民就医行为现状调查及对策分析[J]. 卫生软科学, 2016, 30(1): 30-33.

(收稿日期: 2018-08-18 修回日期: 2018-10-02)

(上接第 304 页)

advanced platform for tissue engineering scaffold fabrication[J]. Biopolymers, 2012, 97(2): 83-93.

- [15] 万永鲜, 卓乃强, 葛建华, 等. 数字化骨科内固定技术在四肢多段复杂骨折中的应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(22): 2317-2319.
- [16] HU Y, YUAN Z S, SPIKER W R, et al. Deviation analysis of C2 translaminar screw placement assisted by a novel rapid prototyping drill template: a cadaveric study[J]. Eur Spine J, 2013, 22(12): 2770-2776.
- [17] 陆俭军, 谭海涛, 陆声榆, 等. 3D 打印技术辅助手术治疗髌白双柱骨折的临床疗效分析[J]. 广西医科大学学报, 2017, 34(1): 28-32.
- [18] 王忆茗, 阎作勤, 黄佳军, 等. 3D 打印技术辅助髌白周围截骨术治疗成人髌关节发育不良[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(19): 1229-1235.
- [19] MASON A, PAULSEN R, BABUSKA J M, et al. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 20(2): 196-203.
- [20] 张少杰, 王星, 史君, 等. 数字化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置钉的准确性[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(35): 5660-5665.
- [21] MERC M, DRSTVENSEK I, VOGRIN M, et al. A multi-level rapid prototyping drill guide template reduces the perforation risk of pedicle screw placement in the lumbar and sacral spine[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2013, 133(7): 893-899.
- [22] MERC M, DRSTVENSEK I, VOGRIN M, et al. Error rate of multi-level rapid prototyping trajectories for pedicle screw placement in lumbar and sacral spine[J]. Chin J Traumatol, 2014, 17(5): 261-266.
- [23] MASON A, PAULSEN R, BABUSKA J M, et al. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems[J]. J Neurosurg Spine, 2014, 20(2): 196-203.

(收稿日期: 2018-08-14 修回日期: 2018-09-27)