

基于3D打印个性化手术导航模板辅助下的人工全膝关节置换

邱冰¹, 张明娇², 唐本森¹, 邓必勇¹, 李涤尘², 刘非³(¹贵州省骨科医院, 贵州省贵阳市 550007; ²西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 陕西省西安市 710049; ³昕健医疗技术有限公司, 江苏省苏州市 215021)

文章亮点:

- 1 基于医学图像三维重建技术和计算机辅助设计技术、利用3D打印制造的用于全膝关节置换的个性化手术导航模板, 与股骨髁和胫骨平台解剖贴合紧密, 无明显移动, 保证了置换术中定位解剖轴线的精确性。
- 2 该方法无需要求外科医生接受特殊训练, 操作安装假体较简便, 且在假体安装时, 假体的三维坐标位置已确定, 减少了置换术中所需要的校准等的时间, 可提高手术效率。
- 3 该方法不需要打开髓腔, 降低了髓内出血、脂肪栓塞等并发症的风险, 为膝关节置换提供了一种新的方法。

关键词:

骨科植入物; 人工假体; 人工全膝关节置换; 导航模板; 计算机辅助设计; 3D打印; 组织工程

主题词:

关节成形术, 置换, 膝; 计算机辅助设计

摘要

背景: 膝关节的解剖形态个体差异显著, 而传统膝关节置换手术定位力线方法复杂, 不能准确预测术中患者的力线位置、假体大小及截骨量。

目的: 探讨基于医学图像三维重建、计算机辅助设计技术以及3D打印制造的个性化手术导航模板辅助下全膝关节置换的临床效果。

方法: 采用CT或者磁共振扫描设备对患者进行扫描, 获取患者医学图像数据; 采用二维医学图像处理技术进行骨骼的三维重建; 利用计算机辅助设计技术进行导航模板的设计; 采用3D打印技术制造个性化手术导航模板, 并进行临床全膝关节置换; 置换后采用影像学评估术后效果。

结果与结论: Arigin 3D Pro(昕健医疗技术有限公司)能够准确重构出患者下肢骨骼三维模型, 自主研发的三维设计软件 Arigin Surgical Templating(昕健医疗)能够精确定位包括下肢力线、股骨旋转轴等在内的下肢相关轴线及截骨参考点。该组研究设计和制作的个性化膝关节手术导航模板, 术中和股骨髁与胫骨平台骨性解剖结构贴合紧密, 无明显移动; 全膝关节置换后患者下肢力线偏差小于3°。

邱冰, 张明娇, 唐本森, 邓必勇, 李涤尘, 刘非. 基于3D打印个性化手术导航模板辅助下的人工全膝关节置换[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(48):7731-7735.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.48.004

Total knee arthroplasty based on the assistance of three-dimensional-printing personalized surgical navigation template

Qiu Bing¹, Zhang Ming-jiao², Tang Ben-sen¹, Deng Bi-yong¹, Li Di-chen², Liu Fei³ (¹Guizhou Province Osteological Hospital, Guiyang 550007, Guizhou Province, China; ²State Key Laboratory for Manufacturing System Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi Province, China; ³Arigin Medical Co., Ltd., Suzhou 215021, Jiangsu Province, China)

Abstract

BACKGROUND: With significantly individual differences in the anatomy of the knee joint, traditional total knee replacement is difficult to accurately predict the position of locating limb alignment, size of the prosthesis and osteotomy amount of patients during operation.

OBJECTIVE: To investigate the clinical effect of total knee replacement based on the assistance of medical image reconstruction, computer-aided design technology and 3D-printing personalized surgical navigation template.

METHODS: Medical image data of patients were collected using CT or magnetic resonance scanning equipment. The three-dimensional reconstruction of the bone was conducted by two-dimensional medical image processing technology. The navigation template was designed by computer-aided design technology. The personalized surgical navigation templates were produced by 3D printing technology, and the clinical total knee replacement was conducted. The postoperative results were evaluated using imageology.

RESULTS AND CONCLUSION: Arigin 3D Pro (Arigin Medical Co., Ltd.) can accurately reconstruct a three-dimensional model of the lower limb bones. The three-dimensional design software Arigin Surgical Templating by their independent research and development can precisely pinpoint related lower limb axis, including limb alignment, rotation axis of the femur and osteotomy reference point. The personalized navigation template we researched and produced for knee surgery fitted tightly with femoral condyle and tibial plateau bone anatomy during operation,

邱冰, 男, 1964年生, 贵州省贵阳市人, 汉族, 1986年贵阳医学院毕业, 主任医师, 贵州省骨科医院院长, 主要从事关节手术、运动医学治疗方面的研究。

中图分类号:R318

文献标识码:A

文章编号:2095-4344

(2015)48-07731-05

稿件接受: 2015-09-13

http://www.crter.org

Qiu Bing, Chief physician, Guizhou Province Osteological Hospital, Guiyang 550007, Guizhou Province, China

Accepted: 2015-09-13

without significant movement. The deviation of patients' limb alignment was less than 3° after total knee replacement.

Subject headings: Arthroplasty, Replacement, Knee; Computer-Aided Design

Qiu B, Zhang MJ, Tang BS, Deng BY, Li DC, Liu F. Total knee arthroplasty based on the assistance of three-dimensional-printing personalized surgical navigation template. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2015;19(48):7731-7735.

0 引言 Introduction

下肢力线和假体旋转轴线的准确定位是关乎膝关节置换手术成败的两个关键因素。因此, 为了获得更好的远期疗效, 解剖重建下肢生物力学轴线和假体旋转轴线是骨科医生不断探索和追求的最终目标^[1-5]。然而, 目前传统的手术方法只是凭借医生的个人经验和手感来定位解剖标志, 通过定位器械进行截骨器的安装定位及截骨。这种凭借肉眼和经验的定位方法, 其手术的可靠性和精确性均会受到质疑, 而且, 需要打开髓腔, 增加了感染和脂肪栓塞的风险^[6-13]。

计算机辅助导航技术使用计算机和医用机器人进行手术干预, 为医生提供导航, 术中可实时的进行位置显示, 下肢力线的重建和假体的置入位置更加准确。然而, 操作较为复杂, 手术难度加大, 手术时间明显延长, 患者的失血量增加; 再者, 导航技术需要昂贵的设备, 导航系统本身存在不稳定性, 成本较高, 广泛的临床推广依然困难。

因此设计出可交互式个性化膝关节手术导航模板, 实现膝关节生物力学特性的再复制, 提高患者生活质量, 是保护国内有限的医药卫生资源, 关乎社会发展的重要课题。

快速成型(rapid prototyping, RP)技术是指在计算机的控制下, 根据物体的模型或数据, 不借助其他设备, 通过材料的精确堆积, 制造原型的一种基于离散、堆积成型原理的新的数字化成型技术^[14]。运用基于3D打印技术的新型制造技术, 可以再现人体骨骼的原有形状, 并具有制造周期短、成本低的优点^[15]。目前, 3D打印技术在医疗领域已得到了广泛的应用^[16-25], 尤其西安交通大学机械学院李涤尘课题组“个性化颅颌面骨替代物设计制造技术及应用”项目取得良好进展, 荣获国家科学技术发明二等奖。相信3D打印技术在医疗骨科方面的应用前景也同样广阔。

文章利用医学图像三维重建技术和计算机辅助设计技术, 设计出个性化的手术导航模板, 利用3D打印技术加工制造, 并应用于临床, 辅助人工全膝关节置换。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 样本观察试验。

1.2 时间及地点 于2014年8月至2015年9月在贵州省骨科医院关节科完成。

1.3 材料 本文设计制作的手术导航模板采用3D打印粉末烧结成型材料——尼龙材料, 该材料粉末粒径小、制作精度高、强度高、烧结温度高达180℃, 可以满足高压蒸汽灭菌(121-126℃, 20-30 min)的要求及手术中打定位钉的强度要求。

1.4 对象 2014年8月至2015年9月, 于本院行全膝关节置换的患者中选取既往无膝关节手术史的患者进行研究, 共进行3D打印个体化手术定位模板8例, 男3例, 女5例, 详细资料见表1。

表1 患者基本资料

Table 1 Basic information of patients

编号	性别	年龄(岁)	置换部位
1	女	66	左膝
2	男	59	右膝
3	女	75	右膝
4	女	72	左膝
5	女	62	左膝
6	男	78	右膝
7	男	78	左膝
8	女	72	右膝

纳入标准: 符合全膝关节置换的诊断标准, 对治疗方案知情同意。

排除标准: 有膝关节手术史者。

1.5 方法

1.5.1 MRI扫描方法 使用美国GE公司生产的HDe1.5T超导MRI扫描仪对患者膝关节进行层厚1.6 mm, 层距0 mm, 矩阵256x256, flip angle(倾斜角)20°的断层扫描。膝关节部位扫描自胫骨结节下1 cm至股骨收肌结节上1 cm。

1.5.2 CT扫描方法 采用美国GE Light Speed 16层螺旋CT机检查, 扫描范围包括髌关节、膝关节、踝关节3段, 层厚1.25 mm, 螺距 5.0 mm, 进床速度9.37 mm/s, 电压120 kV, 电流200 mA。

1.5.3 患者骨骼的三维重构 将MRI/CT扫描得到的DICOM数据导入到Arigin 3D Pro(昕健医疗技术有限公司)中, 首先进行窗宽窗位的调节, 获取一个合适的效果, 采取滤波、降噪等手段进行二维图像的前处理, 再根据关节轮廓设置灰度阈值, 在横断面、冠状面和矢状面上对应选取区域进行图像分割, 进行患者骨骼的三维重构(图1), 重构时注意去除多余的肌肉和软组织, 保留受损的软骨、骨刺和骨骼特征, 最终数据以可用于3D打印的数据格式(如STL格式)保存。

1.5.4 术前规划 将上一步重构的3D模型数据导入到自主研发的三维设计软件Arigin Surgical Templating(昕健医疗)中, 在可视化的环境下, 在重构出的下肢骨骼(包括髌关节、膝关节和踝关节的结构特征)三维模型上标记特征点、线, 确定下肢力线、股骨旋转轴、截骨参考点。此后, 进行假体和截骨器3D模型的导入, 在此基础上模拟下肢截

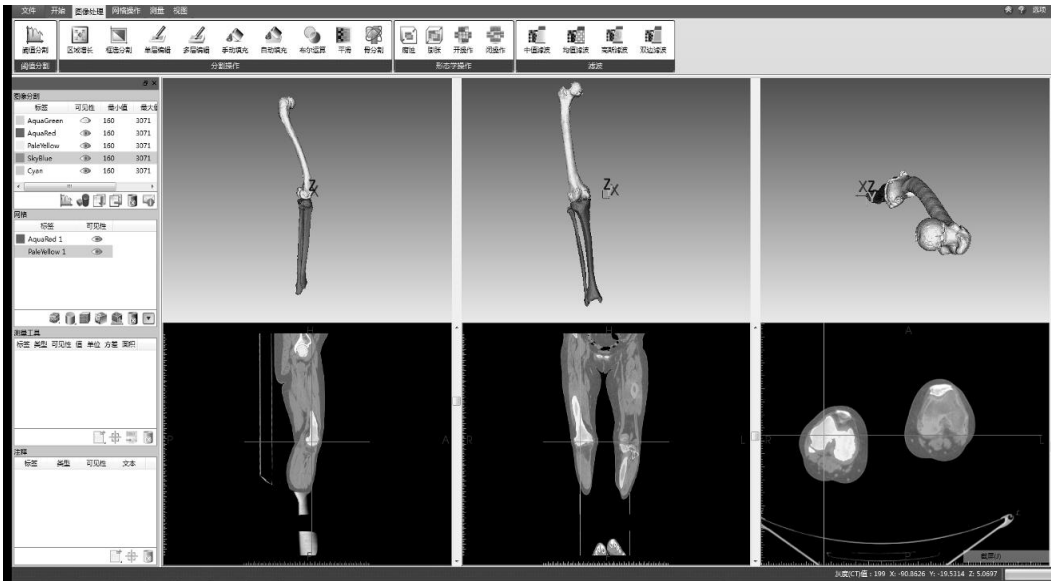


图 1 Arigin 3D Pro 三维重构界面
Figure 1 Arigin 3D Pro three-dimensional reconstruction interface

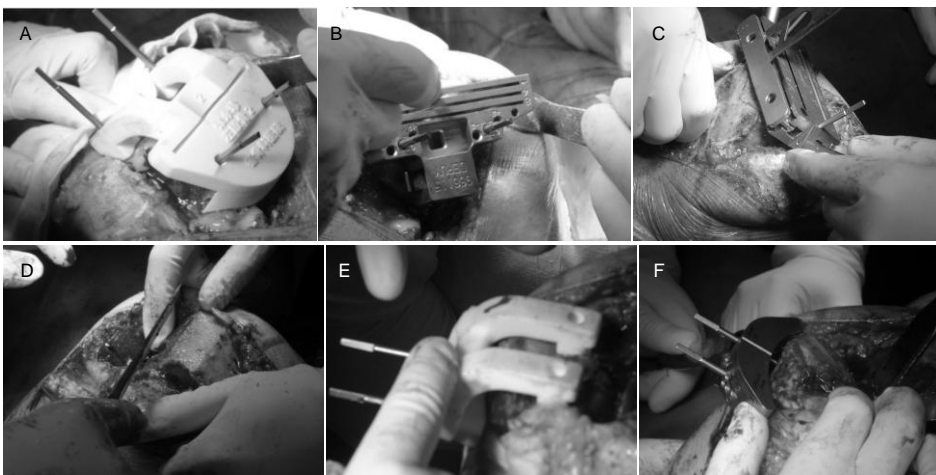


图 2 采用导航模板的全膝关节置换手术步骤
Figure 2 The surgical procedures of total knee replacement using navigation template
图注: 图 A 为股骨侧导航板定位; B 为股骨远端截骨; C 为四合一截骨; D 为股骨侧截骨后; E 为胫骨侧导航板定位; F 为胫骨侧截骨。

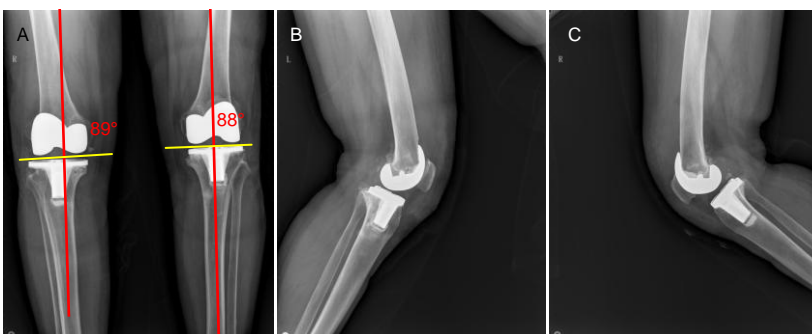


图 3 全膝关节置换后医学影像图
Figure 3 Medical imaging figures after total knee replacement
图注: 图 A 为站立位术后视图; B 为右侧膝关节; C 为左侧膝关节。

骨和假体的虚拟置入; 也可根据力学分析结果, 确定手术假体最佳置换位置和角度; 医生可根据实际情况调整股骨和胫骨的截骨后倾角、内外翻角度、股骨旋转轴以及截骨量, 来调整假体的植入位置; 将调整后的参数和假体信息作为手术方案存入所述后台数据管理模块。

1.5.5 设计个性化手术导航模板 利用上述术前规划确定的手术方案所得到的胫骨平台截骨面、股骨远端截骨面、股骨前后髁截骨面设定对应截骨器的空间位置, 以及传统金属截骨器上的定位孔的位置, 确定出个性化手术导航模板定位孔的位置及轴向; 导航模板的内表面采用三维设计

软件中的布尔运算得到, 选取股骨内外髁软骨、胫骨结节等特征部位为贴合表面, 防止术中导航模板的滑脱, 可实现与骨骼很好的贴合。

1.5.6 3D打印导航模板 采用粉末烧结工业级SLS3D打印机进行导航模板的打印制作, 材料选用3D打印粉末烧结成型材料——粉末尼龙。

1.5.7 临床应用 把制作好的导航模板按照手术的要求进行高压蒸汽灭菌(121-126 °C, 20-30 min)处理, 将灭菌后的带有完整包装的手术导航板带入手术室。手术采用膝前正中纵行切口, 自髌骨上方6-10 cm开始, 向下至胫骨结

节下1.0–2.0 cm, 切开皮肤、皮下组织及深筋膜, 将膝关节按照手术的要求暴露后, 采用导航模板的手术步骤如下: ①将设计好的个性化手术导航模板贴附于相应的股骨髁平台上, 并将其放置于合适的位置, 维持其稳定性。②沿股骨侧导航模板的定位孔的位置打入4根骨钉(图2A), 所设计的导航模板定位孔的位置与股骨远端截骨器、四合一截骨器的定位孔的位置保持一致。③保留股骨前髁的两根骨钉, 取下股骨远端的两根骨钉及导航模板, 将截骨器沿骨钉位置安装、固定, 并进行股骨远端的截骨操作(图2B)。④据②中股骨远端两根骨钉的位置, 固定股骨侧四合一截骨器, 并进行截骨操作(图2C)。截骨后, 取下截骨器、骨钉及其他所有器械(图2D)。⑤将胫骨侧导航模板贴附于胫骨平台上, 并维持其稳定性。⑥沿胫骨侧导航模板的定位孔的位置打入2根骨钉(图2E), 同理, 所设计的导航模板定位孔的位置与胫骨平台截骨器的定位孔的位置保持一致。⑦保留这两根骨钉, 取下胫骨侧导航模板, 将胫骨平台截骨器沿骨钉位置安装、固定, 并进行胫骨平台的截骨操作(图2F)。同理, 截骨后, 取下截骨器、骨钉及其他所有器械。⑧全部截骨操作完成后, 根据所需型号, 植入相应的假体, 采用骨水泥固定。⑨待骨水泥固化后, 冲洗创面, 去除多余骨水泥及碎骨屑。置引流管, 可吸收线缝合关节囊, 包扎固定, 按负压吸引装置^[12]。

1.6 主要观察指标 进行全膝关节置换后X射线片拍摄, 记录置换后下肢力线及伤口引流量。

2 结果 Results

本组研究设计和制作的个性化膝关节手术导航模板, 术中和股骨髁与胫骨平台骨性解剖结构贴合紧密, 无明显移动。全膝关节置换后患者下肢力线偏差小于3°(图3), 伤口引流量小, 关节活动范围良好(表2), 无不良事件发生。

表2 患者全膝关节置换后相关信息

Table 2 Relevant information of patients after total knee replacement

编号	置换后下肢力线与膝关节轴夹角(°)	置换后伤口引流量(mL)	置换后1周膝关节活动度(°)
1	88	145	105
2	89	135	95
3	89	140	100
4	88	125	100
5	89	105	100
6	90	135	90
7	89	105	100
8	87	120	100

3 讨论 Discussion

理想的全膝关节置换是冠状面上假体与下肢机械轴垂直, 而股骨前后髁截骨面与通髁轴相平行^[26-34]。传统手术只是凭借医师的肉眼和经验进行定位, 其可靠性和精确度

难免受到质疑^[35-41]。从原理上讲, 无论是传统手术、计算机导航技术、机器人技术, 均是采用髓内定位, 需要一系列复杂的定位器械, 导致手术并发症较多, 手术时间较长。

基于医学图像三维重建技术和计算机辅助设计技术、利用3D打印制造的用于膝关节置换的个性化手术导航模板, 术前即可精确确定患者下肢力线; 术中减少了传统定位器械的使用, 术者无需打开髓腔, 减少了深度静脉血栓以及因髓内定位引起的髓内出血、脂肪栓塞等手术并发症的出现。

任何技术都不是完美的, 同样, 导航模板技术也存在着一些问题。个体化手术导航模板是基于3D打印加工制造, 目前, 国内中小城市的3D打印技术仍不成熟, 打印设备、打印精度难以保证要求, 倘若采用外地打印后邮寄的方式, 难免会增加手术前期的准备时间, 长期的临床应用受到限制。但是随着3D打印技术的发展和普及, 依旧相信个体化手术导航模板的前景非常广阔。

致谢: 感谢贵州省骨科医院影像科、关节科给予文章的帮助, 感谢昕健医疗公司为文章提供的技术指导 and 宝贵意见。

作者贡献: 设计者为第一、二作者, 实施者为第一、三、四作者, 评估者为全体作者。

利益冲突: 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题:

知情同意: 参与试验的患病个体及其家属自愿参加, 对试验过程完全知情同意, 在充分了解治疗方案的前提下签署“知情同意书”; 干预及治疗方案获医院伦理委员会批准。

医生资质: 临床实施者均是临床医师, 第一、三作者是主任医师, 经过相关培训, 具有从事膝关节置换技术工作所要求的资质。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 本刊实行双盲外审制度, 文章经国内小同行外审专家审核, 符合本刊发稿宗旨。

学术术语: 快速成型技术的特点? 快速成型技术是指在计算机的控制下, 根据物体的模型或数据, 不借助其他设备, 通过材料的精确堆积, 制造原型的一种基于离散、堆积成型原理的新的数字化成型技术。

作者声明: 第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

4 参考文献 References

- [1] Mahaluxmivala J, Bankes M, Nicolai P, et al. The effect of surgeon experience on component positioning in 673 Press Fit Condylar posterior cruciate-sacrificing total knee arthroplasties. J Arthroplasty. 2001;16(5): 635-640.

- [2] Choong PF, Dowsey MM, Stoney JD. Does accurate anatomical alignment result in better function and quality of life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2009;24(4): 560-569.
- [3] Ng VY, DeClaire JH, Berend KR, et al. Improved accuracy of alignment with patient-specific positioning guides compared with manual instrumentation in TKA. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(1): 99-107.
- [4] Krishnan S, Dawood A, Richards R, et al. A review of rapid prototyped surgical guides for patient-specific total knee replacement. *J Bone Joint Surg*. 2012;94(11): 1457-1461.
- [5] Minns R, Bibb R, Banks R, et al. The use of a reconstructed three-dimensional solid model from CT to aid the surgical management of a total knee arthroplasty: a case study. *Med Eng Phys*. 2003;25(6): 523-526.
- [6] Silva DN, De Oliveira MG, Meurer E, et al. Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. *J Craniomaxillofac Surg*. 2008;36(8): 443-449.
- [7] Lombardi Jr AV, Berend KR, Adams JB, et al. Patient-specific approach in total knee arthroplasty. *Orthopedics*. 2008;31(9): 927.
- [8] Jenny JY, Boeri C. Computer-assisted implantation of total knee prostheses: A case-control comparative study with classical instrumentation. *Comput Aided Surg*. 2001;6(4): 217-220.
- [9] Lustig S, Scholes CJ, Oussedik SI, et al. Unsatisfactory accuracy as determined by computer navigation of VISIONAIRE patient-specific instrumentation for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2013;28 (3): 469-473.
- [10] Victor J, Dujardin J, Vandenneucker H, et al. Patient-Specific Guides Do Not Improve Accuracy in Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(1):263-271.
- [11] MacDessi SJ, Jang B, Harris IA, et al. A comparison of alignment using patient specific guides, computer navigation and conventional instrumentation in total knee arthroplasty. *Knee*. 2014;21(2): 406-409.
- [12] Klatt BA, Goyal N, Austin MS, et al. Custom-fit total knee arthroplasty (OtisKnee) results in malalignment. *J Arthroplasty*. 2008;23 (1): 26-29.
- [13] Conteduca F, Iorio R, Mazza D, et al. Are MRI-based, patient matched cutting jigs as accurate as the tibial guides? *Int Orthop*. 2012;36 (8): 1589-1593.
- [14] 滕勇,王臻,李涤尘,等.应用快速成型技术复制人体骨骼模型与假肢制造设计的意义[J].*中国临床康复*, 2003,7(26):3556-3557.
- [15] 刘非,李涤尘,卢秉恒,等.基于反求工程的个体匹配化骨骼制造方法的研究[J].*西安交通大学学报*, 2002, 36(9):938-942.
- [16] 刘亚雄,贺健康,秦勉,等.定制型钛合金植入物的光固化3D打印及精密铸造[J].*稀有金属材料与工程*, 2014, 43(S1):103-106.
- [17] 秦勉,刘亚雄,贺健康,等.数字化设计与3-D打印技术在个性化医疗中的应用[J].*中国修复重建外科杂志*, 2014, 28(3):286-291.
- [18] 张维杰,连芬,李涤尘,等.基于3-D打印技术的软骨修复及软骨下骨重建[J].*中国修复重建外科杂志*, 2014, 28(3):318-324.
- [19] 张文友,贺健康,李翔,等.基于3-D打印技术的韧带-骨复合支架制造与体内植入研究[J].*中国修复重建外科杂志*, 2014, 28(3): 314-317.
- [20] 刘亚雄,贺健康,连芬,等.西安交大个性化医用内置物的增材制造及应用[A].第15届全国特种加工学术会议论文集(下)[C]. 2013.
- [21] 连芬,李涤尘,乔莎,等.钛板下颌假体的柔性化三维曲面展开与快速冲压成形工艺研究[A].第15届全国特种加工学术会议论文集(下)[C]. 2013.
- [22] 李涤尘,刘斌,卢秉恒,等.定制化柔性钛下颌骨替代物的有限元优化分析及动物实验[A].第三届北京国际康复论坛论文集[C]. 2008.
- [23] 刘亚雄,李涤尘,卢秉恒,等.基于快速原型的定制型复合人工下颌骨[A].第三届中国国际暨第六届全国口腔颌面外科学术会议论文集[C]. 2002.
- [24] 卢秉恒,赵万华,洪军,等.增材制造及RP&M集成制造系统研究[A].第七届中国国际机床展览会(CIMT 2001)论文集[C]. 2001.
- [25] 陈增海,张凤山,朱振宇.实用骨科彩色图谱[M].上海:第二军医大学出版社, 2003.
- [26] Nishihara S, Sugano N, Ikai M, et al. Accuracy evaluation of a shape-based navigation system for total knee arthroplasty. *J Knee Surg*. 2003;16(8): 98-105.
- [27] Churchill DL, Incavo SJ, Johnson CC, et al. The transepicondylar axis appropriates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop*. 1998;356(1):111-118.
- [28] Olcott CW, Scott RD. Femoral component rotation during total knee arthroplasty. *Clin Orthop*. 1999;367(8): 39-42.
- [29] Olcott CW, Scott RD. Determining proper femoral component rotational alignment during total knee arthroplasty. *J Knee Surg*. 2000;13(4): 166-168.
- [30] Hood RW, Vanni M, Insall JN. The correction of knee alignment in 225 consecutive total condylar knee replacements. *Clin Orthop*. 1994;229(7): 32-43.
- [31] Venkatesan M, Mahadevan D, Ashford RU. Computer-assisted navigation in knee arthroplasty: a critical appraisal. *J Knee Surg*. 2013;26(5): 357-361.
- [32] Heyse TJ, Tibesku CO. Improved femoral component rotation in TKA using patient-specific instrumentation. *Knee*. 2014; 21(1): 268-271.
- [33] Victor J, Dujardin J, Vandenneucker H, et al. Patient-specific guides do not improve accuracy in total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(1):263-271.
- [34] Roh YW, Kim TW, Lee S, et al. Is TKA using patient-specific instruments comparable to conventional TKA? A randomized controlled study of one system. *Clin Orthop Relat Res*. 2013; 471(12): 3988-3995.
- [35] Howell SM, Papadopoulos S, Kuznik KT, et al. Accurate alignment and high function after kinematically aligned TKA performed with generic instruments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(10): 2271-2280.
- [36] Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, et al. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(1): 57-63.
- [37] Fang DM, Ritter MA, Davis KE. Coronal alignment in total knee arthroplasty: just how important is it? *J Arthroplasty*. 2009; 24 (6): 39-43.
- [38] Green GV, Berend KR, Berend ME, et al. The effects of varus tibial alignment on proximal tibial surface strain in total knee arthroplasty: the posteromedial hot spot. *J Arthroplasty*. 2002; 17(8): 1033-1039.
- [39] Nunley RM, Ellison BS, Zhu J, et al. Do patient-specific guides improve coronal alignment in total knee arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(3): 895-902.
- [40] Bali K, Walker P, Bruce W. Custom-fit total knee arthroplasty: our initial experience in 32 knees. *J Arthroplasty*. 2012;27(6): 1149-1154.
- [41] Noble JW, Moore CA, Liu N. The value of patient-matched instrumentation in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2012; 27(1): 153-155.