

## 3D打印技术在脊柱外科的应用进展

邓亚军<sup>1,2</sup>, 解琪琪<sup>1,2</sup>, 李文洲<sup>1,2</sup>, 史卫东<sup>1,2</sup>, 马靖琳<sup>2</sup>, 潘云燕<sup>1</sup>, 康学文<sup>1</sup>, 汪静<sup>1,2</sup>

1. 兰州大学第二医院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省骨关节疾病研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000

**【摘要】**3D打印又称增材制造,是一种可以将三维的数字模型通过金属粉末或塑料等可黏性材料打印为实物模型的快速成型技术。3D打印技术广泛应用于脊柱外科、头颈外科、整形外科等外科领域。本文对3D打印技术在脊柱外科疾病诊断、术中导航、内置物定制和支具制作、医患沟通及临床教学中的应用进展进行综述,分析其优点和不足,并对3D打印技术在脊柱外科的应用前景进行展望。

**【关键词】**3D打印; 脊柱外科; 快速成型; 实物模型; 综述

**【中图分类号】**R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)03-0360-04

### Progress on application of 3D printing technology in spinal surgery

DENG Yajun<sup>1,2</sup>, XIE Qiqi<sup>1,2</sup>, LI Wenzhou<sup>1,2</sup>, SHI Weidong<sup>1,2</sup>, MA Jinglin<sup>2</sup>, PAN Yunyan<sup>1</sup>, KANG Xuewen<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1,2</sup>

1. Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Osteoarthritis in Gansu Province, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** 3D printing which is also called additive manufacturing is a rapid prototyping technique that can print a 3D digital model as a physical model with viscous materials such as metal powder or plastics. 3D printing technology which is favored by surgeons is widely used in spine surgery, head and neck surgery, orthopedics, and so on. Herein the current applications of 3D printing technology in the diagnosis of spinal surgical diseases, intraoperative navigation, customization of built-in objects and brace making, doctor-patient communication and clinical teaching are summarized, and its advantages and disadvantages are analyzed. Finally, the future application of 3D printing technology in spinal surgery is prospected.

**Keywords:** 3D printing; spine surgery; rapid prototyping; physical model; review

### 前言

3D打印技术出现于20世纪80年代,是一种运用计算机及三维数字成像技术进行数据集重建的方法,主要应用于医疗、航天、军工、工业设计等行业<sup>[1]</sup>。近年来,3D打印技术在医学领域的作用和地位日益显著,广泛应用于脊柱外科、头颈外科、整形外科等外科领域<sup>[2-4]</sup>,其作用主要是帮助外科医生进行术前诊断,术中导航、协助医患沟通及临床教学。研究表明,我国脊柱疾病的发病率呈逐年上升趋势,需要进行手术治疗的脊柱疾病患者也日益增多<sup>[5]</sup>。由于脊柱的解剖结构复杂多变,毗邻重要神经、血

管,对外科医生心理素质和手术操作要求极高,一旦手术中有失误,就容易造成患者脊髓损伤,轻者造成瘫痪,重者可能危及生命,对患者造成不可挽回的损失<sup>[6]</sup>。因此,笔者对3D打印技术在脊柱外科领域的应用进展进行综述,为相关研究提供参考。

### 1 3D打印概念及原理

3D打印又称增材制造,是一种可以将三维的数字模型通过金属粉末或塑料等可黏性材料打印为实物模型的快速成型技术<sup>[7-8]</sup>。3D打印所用的原材料种类广泛,其可以是陶瓷、塑料、金属,甚至可以是活的细胞<sup>[9-10]</sup>。其打印的设计过程是:先通过计算机辅助设计(CAD)或计算机动画建模软件建模,再将建成的三维模型“分区”成逐层的截面,从而指导打印机逐层打印。具体过程如下:首先获取感兴趣人体部位的MRI或CT薄层二维图像(DICOM)的数据,然后运用计算机三维模型软件将得到的二维图像转化为STL(Standard Template Library)格式文件,最后将STL导入3D打印机即可进行打印<sup>[11]</sup>。

**【收稿日期】**2018-09-20

**【基金项目】**国家自然科学基金(81371230);兰州大学第二医院院内博士科研基金(ynbskyjj2015-1-01)

**【作者简介】**邓亚军,硕士研究生,研究方向:骨质疏松、脊柱外科, E-mail: dengyajun205@163.com

**【通信作者】**汪静,博士,硕士生导师,副主任医师,副教授,研究方向:骨质疏松、疼痛、脊柱外科, E-mail: wang\_jing@lzu.edu.cn

## 2 3D打印技术在脊柱外科的应用

### 2.1 在疾病诊断中的应用

脊柱的形态结构复杂多变,有重要组织结构如神经、脊髓等与之毗邻。面对如此复杂的解剖结构加之棘手的疾病,外科医生根据X线、MRI及CT等二维影像学资料,无法准确判断病灶及其周围组织之间的解剖关系,容易因为对疾病的认识不足得出片面的结论,从而影响对疾病的治疗。3D打印技术通过提取患者脊柱的CT和MRI数据资料,重建患者脊柱的三维解剖结构,得到实体疾病模型,其提供的立体内部结构更清晰直观,解剖信息更详细具体,可以帮助医生全面的认识疾病进而做出正确的诊断,为后期制订合理的手术方案做准备。并且可以对手术方式进行直观的探讨分析及模拟,使手术更加精准,从而缩短手术时间,提高手术的成功率,达到满意的治疗效果和预后<sup>[12-14]</sup>。有研究报道,临床医生使用3D打印为2例脊柱肿瘤患者制作出相应的脊柱模型,成功协助疾病的诊断<sup>[15]</sup>。由此可见,3D打印可以协助临床医生对疾病进行诊断,进而有效避免误诊,值得在临床工作中推广。

### 2.2 在术中导航中的应用

目前,脊柱疾病的手术治疗方式很多,其中椎弓根螺钉内固定术是重要方法之一。对于严重的脊柱侧凸、脊柱骨折、脊柱肿瘤等脊柱外科疾病,此时椎弓根缺少明显固定的解剖标志,给置钉带来极大风险。传统徒手置钉方法又存在着钉道偏离、穿透椎弓根、损伤风险高等缺点<sup>[16-17]</sup>。利用3D打印个体化椎弓根导板辅助螺钉置入,导板可与脊柱表面完全贴合,螺钉的大小、植入深度、角度得到科学计算,有效避免了对重要血管和神经的损伤<sup>[17-19]</sup>。张树芳等<sup>[20]</sup>采用3D打印技术为患者行椎弓根螺钉内固定术,结果显示螺钉置入良好且无并发症出现。Hu等<sup>[21]</sup>应用3D打印技术辅助C2椎板关节突螺丝内固定和应用颈1/2经关节螺钉内固定治疗寰枢椎不稳,并验证其辅助置钉后的螺钉位置均在允许误差范围内。有学者运用3D打印导航在尸体标本上置入椎弓根螺钉,术后结果表明此方法可以显著提高椎弓根螺钉置入准确率,并缩短手术时间<sup>[22]</sup>。李彦明等<sup>[23]</sup>根据CT断层扫描数据,利用3D打印技术建立患者的脊柱实体模型,为23例患者进行椎弓根置钉。结果显示,与传统的未使用3D打印技术的徒手置钉技术相比,该技术明显缩短置钉时间,提高了置钉准确率。Merc等<sup>[24]</sup>将20例腰椎患者随机分为2组,一组为传统治疗组,另一组为导板辅助组,术后使用X线、

MRI复查,实验证明导板辅助组较徒手置钉组置钉时间短,钉道偏离的风险降低。王琪等<sup>[25]</sup>对22例脊柱肿瘤患者术前进行CT扫描,收集数据并进行三维模型重建,使用3D打印机制作出病灶区域的脊柱模型。并参考打印出的脊柱模型,制定手术方案、模拟手术操作、预处理内置物,指导治疗。结果22例手术均成功,症状均较术前有明显改善。术后X线复查,可见内置物位置良好,未见松动移位。以上实验均证明3D打印在手术导航应用中具有重要临床价值,但尚需要更多的临床实验进行验证。

### 2.3 在内置物定制和支具制作中的应用

脊柱解剖结构复杂,与之伴行的血管神经繁多,加之脊柱疾病种类较多,内置物大小不匹配的情况经常出现,这时制定个体化内置物就非常必要,已有研究证实了应用3D打印技术可以根据患者的实际情况进行个体化内置物的定制,以满足患者需求,进而实现更精确的手术<sup>[26]</sup>。Xu等<sup>[27]</sup>采用3D打印技术为尤文肉瘤患者植入个体化的枢椎椎体,通过术后随访观察,患者神经功能显著提高。钱文彬等<sup>[28]</sup>应用3D打印技术打印椎体,并置入实验猪体内,术后影像学显示,置入的椎体位置正常,术后猪的后腿活动、感觉均良好。Phan等<sup>[29]</sup>将3D打印的个性化内固定材料应用于1例65岁女性后路C1~2融合术,术后复查内固定材料稳定性较好,患者症状较术前明显缓解。舒适的支具对患者的日常生活和康复锻炼是必不可缺少的,它可以改善患者的生活质量,同时对心理负担的调解也有一定的意义,从而更好的帮助患者早日康复<sup>[30]</sup>。

### 2.4 在医患沟通中的应用

医患关系是否和谐一直是人们所担心的问题,患者及家属对医生不理解、不信任,往往会造成临床治疗无法顺利进行。医患关系差主要是现在的医疗体系大环境决定的,但跟患者及其家属缺乏医疗知识也有很大关系,如果不能正确认识疾病,进而会产生对医生的各种不理解。在解决患者及家属缺乏医疗知识这方面,3D打印出来的脊柱疾病模型可以作为良好的讲解工具,让患者及家属听得懂、看得懂,提高医患之间的有效交流量,增加患者及家属对医生的信任,减少医疗纠纷发生<sup>[31]</sup>。

### 2.5 在临床教学中的应用

熟练掌握解剖学知识是一名合格外科医生的必备条件,然而我国医学生的教学还停留在传统的书本层面,这样导致很多同学学习兴趣不高,效率低下及对知识点的理解深度达不到。尤其对于脊柱外科的年轻医生,由于脊柱解剖结构复杂,周围毗邻重要

组织脏器,而X线、CT等二维影像学资料不能全面反映脊柱相应病灶与周围组织的解剖关系,这就对临床知识的学习造成了很大障碍。3D打印技术的出现,为解决年轻脊柱外科医生学习解剖知识难、学习效率低下及深度不够提供了一种新途径。笪熠等<sup>[32]</sup>研究表明3D打印技术在个体化医学操作模拟及个性化教学方面,能够让学生在短时间内高效率地对病例的解剖结构进行记忆,加强对复杂病例的深入理解,很大程度上提高教学质量。周华等<sup>[33]</sup>把62名住院医师随机分成两组,其中对照组接受常规的教学方式,实验组采用常规教学方式结合3D打印模型进行教学。结果显示,在疾病诊断准确率及教学效果两个方面,实验组均显著高于对照组。以上研究均表明,3D打印技术能够辅助常规临床教学方式,解决学习效率低、学习深度不够等教学难题,值得在临床教学中进行推广。

### 3 总结与展望

3D打印技术的不断发展,为脊柱外科医生在进行疾病诊断、术前规划设计、术中导航、医患沟通及临床教学等方面提供了一种新途径。3D打印技术可以将三维数字模型通过粘性材料打印成精确的实物模型,把复杂的病灶及解剖结构形象的展现在外科医生面前,为疾病诊断提供依据,进而提高手术成功率,减少术后并发症。虽然3D打印技术具有高精度性、高安全性及可重复性等优点,但其不足之处也很明显,比如3D打印的设备及原材料价格昂贵,限制了其在临床上的推广;3D打印需要多领域专业人士相互合作才能进行操作,医工结合型人才较少也是限制其在临床广泛应用的关键因素;伦理道德因素使3D打印技术在人体的应用受到限制<sup>[34]</sup>。随着科技的发展及社会的进步,希望以上问题能够逐步得到解决,3D打印技术在脊柱外科的应用得到普及,为脊柱外科事业的发展提供更多的帮助。

### 【参考文献】

- [1] CHO W, JOB A V, CHEN J, et al. A review of current clinical applications of three-dimensional printing in spine surgery[J]. *Asian Spine J*, 2018, 12(1): 171-177.
- [2] YANG Y, ZHOU Z, LIU R, et al. Application of 3D visualization and 3D printing technology on ERCP for patients with hilar cholangiocarcinoma[J]. *Exp Ther Med*, 2018, 15(4): 3259-3264.
- [3] MICHALSKI M H, ROSS J S. The shape of things to come: 3D printing in medicine[J]. *JAMA*, 2014, 312(21): 2213-2214.
- [4] BINAGHI S, GUDINCHET F, RILLIET B. Three-dimensional spiral CT of craniofacial malformations in children[J]. *Pediatr Radiol*, 2000, 30(12): 856-860.
- [5] GHOBRIAL G M, THEOFANIS T, DARDEN B V, et al. Unintended durotomy in lumbar degenerative spinal surgery: a 10-year systematic review of the literature[J]. *Neurosurg Focus*, 2015, 39(4): E8.
- [6] 夏虹,刘景发,尹庆水,等.上颈椎手术的早期并发症[J]. *中华骨科杂志*, 2002, 23(5): 43-46.
- [7] XIA H, LIU J F, YIN Q S, et al. The early complications of upper cervical surgery[J]. *Chinese Journal of Orthopaedics*, 2002, 23(5): 43-46.
- [7] 邓滨,欧阳汉斌,黄文华. 3D打印在医学领域的应用进展[J]. *中国医学物理学杂志*, 2016, 33(4): 389-392.
- [8] DENG B, OUYANG H B, HUANG W H. The application of 3D printing in medical field[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2016, 33(4): 389-392.
- [8] LU S, XU Y Q, ZHANG Y Z, et al. A novel computer-assisted drill guide template for lumbar pedicle screw placement: a cadaveric and clinical study[J]. *Int J Med Robot*, 2009, 5(2): 184-191.
- [9] VENTOLA C L. Medical applications for 3D printing: current and projected uses[J]. *P T*, 2014, 39(10): 704-711.
- [10] 陈康,熊力,郑砚文. 3D打印技术在肝脏外科应用现状及展望[J]. *中国普通外科杂志*, 2017, 26(1): 90-95.
- [10] CHEN K, XIONG L, ZHENG Y W. Research progress of 3D printing in liver surgery[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2017, 26(1): 90-95.
- [11] JARDINI A L, LAROSA M A, MACIEL FILHO R, et al. Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2014, 42(8): 1877-1884.
- [12] SINGH H, SHIMOJIMA M, SHIRATORI T, et al. Application of 3D printing technology in increasing the diagnostic performance of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for infectious diseases[J]. *Sensors (Basel)*, 2015, 15(7): 16503-16515.
- [13] CARTIAUX O, PAUL L, FRANCO B G, et al. Improved accuracy with 3D planning and patient-specific instruments during simulated pelvic bone tumor surgery[J]. *Ann Biomed Eng*, 2014, 42(1): 205-213.
- [14] FAUR C, CRAINIC N, STICLARU C, et al. Rapid prototyping technique in the preoperative planning for total hip arthroplasty with custom femoral components[J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2013, 125(5-6): 144-149.
- [15] MADRAZO I, ZAMORANO C, MAGALLON E, et al. Stereolithography in spine pathology: a 2-case report[J]. *Surg Neurol*, 2009, 72(3): 272-275.
- [16] SUN X Y, ZHANG X N, HAI Y. Percutaneous versus traditional and paraspinal posterior open approaches for treatment of thoracolumbar fractures without neurologic deficit: a meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(5): 1418-1431.
- [17] 白博,白雪岭,赵小文,等. 3D打印在脊柱外科的应用现状与未来[J]. *中国骨与关节杂志*, 2017, 6(5): 321-325.
- [17] BAI B, BAI X L, ZHAO X W, et al. Application status and future of 3D printing in spinal surgery[J]. *Chinese Journal of Bone and Joint*, 2017, 6(5): 321-325.
- [18] 戎帅,滕勇,乌日开西·艾依提,等. 基于3D打印技术的腰椎多节段峡部裂个性化手术治疗[J]. *中国矫形外科杂志*, 2013(21): 2222-2226.
- [18] RONG S, TENG Y, WURIKAI X I A Y T, et al. Surgical treatment of multisegmental spondylolysis of lumbar spine based on 3D printing technology[J]. *Orthopedic Journal of China*, 2013(21): 2222-2226.
- [19] 章凯,陈育岳,夏虹,等. 3D打印技术辅助复杂性寰枢椎脱位手术临床应用[J]. *中国数字医学*, 2013(10): 58-60.
- [19] ZHANG K, CHEN Y Y, XIA H, et al. 3D printing technology assists complex clinical application of atlantoaxial dislocation surgery[J]. *China Digital Medicine*, 2013(10): 58-60.
- [20] 张树芳,陈荣春,郭朝阳,等. 基于3D打印技术选择性椎弓根螺钉



- 治疗青少年特发性脊柱侧凸[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(48): 7225-7231.
- ZHANG S F, CHEN R C, GUO C Y, et al. Three-dimensional printing-assisted selective segmental pedicle screws for adolescent idiopathic scoliosis[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2016, 20(48): 7225-7231.
- [21] 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.
- [22] LU S, XU Y Q, CHEN G P, et al. Efficacy and accuracy of a novel rapid prototyping drill template for cervical pedicle screw placement[J]. Comput Aided Surg, 2011, 16(5): 240-248.
- [23] 李彦明, 李明, 张国友, 等. 3D打印在脊柱侧凸畸形中的应用初探[J]. 第二军医大学学报, 2016, 37(2): 231-235.
- LI Y M, LI M, ZHANG G Y, et al. Application of 3D printing in orthopedics of scoliosis[J]. Academic Journal of Second Military Medical University, 2016, 37(2): 231-235.
- [24] 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.
- [25] 王琪, 刘军, 王亚楠, 等. 3D打印技术在脊柱肿瘤手术中的应用[J]. 解放军医药杂志, 2016, 28(11): 16-19.
- WANG Q, LIU J, WANG Y N, et al. Three dimensional printing guide in application of surgery for spinal tumor[J]. Medical & Pharmaceutical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2016, 28(11): 16-19.
- [26] 王富友, 任翔, 杨柳. 3D打印技术在关节外科的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2014, 28(3): 272-275.
- WANG F Y, REN X, YANG L. 3D printing technology in joint surgery applications[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2014, 28(3): 272-275.
- [27] XU N, WEI F, LIU X, et al. Reconstruction of the upper cervical spine using a personalized 3D printed vertebral body in an adolescent with Ewing sarcoma[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41(1): E50-E54.
- [28] 钱文彬, 杨欣建, 蓝涛, 等. 3D技术打印椎体在全脊椎整块切除术中应用的初步探索[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2015, 12(2): 9-11.
- QIAN W B, YANG X J, LAN T, et al. 3D technology printing vertebral body in the application of the whole spinal excision[J]. Orthopaedic Biomechanics Materials and Clinical Study, 2015, 12(2): 9-11.
- [29] PHAN K, SGRO A, MAHARAJ M M, et al. Application of a 3D custom printed patient specific spinal implant for C1/2 arthrodesis[J]. J Spine Surg, 2016, 2(4): 314-318.
- [30] 冯珍, 杨初燕, 吴磊, 等. 个体化截瘫行走支具对脊髓损伤患者功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2010(9): 854-857.
- FENG Z, YANG C Y, WU L, et al. The impact of individualized paraplegia orthosis on the function of spinal cord injury patients[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2010, 235(9): 854-857.
- [31] 刘建坤, 邓树才. 3D打印技术在脊柱外科中的地位与作用[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(7): 1131-1136.
- LIU J K, DENG S C. Status and role of three-dimensional printing technology in spine surgery[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2017, 21(7): 1131-1136.
- [32] 笕熠, 陈适, 潘慧, 等. 3D打印技术在医学教育的应用[J]. 协和医学杂志, 2014(2): 234-237.
- DA Y, CHEN S, PAN H, et al. Application of 3D printing technology in medical education[J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2014(2): 234-237.
- [33] 周华, 于森, 刘忠军. 3D打印模型在脊柱侧凸教学中的辅助作用[J]. 中国医学教育技术, 2017, 31(1): 67-69.
- ZHOU H, YU M, LIU Z J. Auxiliary role of 3D printing technology applied in the teaching of scoliosis[J]. China Medical Education Technology, 2017, 31(1): 67-69.
- [34] 李兆秀. 基层医院植入性医疗器械规范管理探讨[J]. 中国民族民间医药, 2012, 21(2): 52-53.
- LI Z X. Discussion on the standard management of implantable medical devices in primary hospitals[J]. Chinese Journal of Ethnopharmacology, 2012, 21(2): 52-53.

(编辑:薛泽玲)