

3D打印技术在骨科的应用研究

苏炜炜¹, 谢普生², 谭晋川², 王勉², 黄文华²

1. 南方医科大学第三附属医院骨外科, 广州 510630; 2. 南方医科大学基础医学院人体解剖学国家重点学科, 广州 510515

【摘要】3D打印呈现井喷式的发展,该技术在骨科的应用是一个热门的研究方向。本文阐述了3D打印技术在骨科方面的应用近况,主要对该技术在术前规划、术中导航、临床教学、医患沟通、康复支具、骨科内植物、生物打印等多个方面的应用进行综述,归纳了3D打印技术运用于骨科的优势,总结了目前存在的一些技术难点,并对3D打印技术在大块骨缺损的修复、假肢等方面的应用进行了展望。

【关键词】3D打印技术;骨科;快速成型;手术导航;内植物;综述

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)02-0245-04

Application of 3D printing technology in orthopaedics

SU Weiwei¹, XIE Pusheng², TAN Jinchuan², WANG Mian², HUANG Wenhua²

1. Department of Bone Surgery, the Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510630, China; 2. National Key Discipline, Department of Anatomy, School of Basic Medical Sciences, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

Abstract: In recent years, three-dimensional (3D) printing technology has been developed rapidly. The application of 3D printing technology in orthopaedics has been a hot research topic. Herein the applications of 3D printing technology in orthopaedics, mainly in preoperative planning, intraoperative navigation, clinical teaching, doctor-patient communication, rehabilitation brace, orthopaedics implants and bioprinting, are reviewed. Besides, the advantages and technical difficulties of 3D printing technology in orthopaedics are summarized. Finally, the applications of 3D printing technology in the repair of large bone defect and prosthesis are prospected.

Keywords: three-dimensional printing technology; orthopaedics; rapid prototyping; operation guide plate; implant; review

前言

3D打印技术属于快速成型技术,它是通过短时间内累加材料,制成立体的3D实体模型,故又称作增材制造技术^[1-2]。3D打印机出现于1986年,而我国于2012年8月15日才研发成功,经过短短的数年时间,3D打印技术已经有了飞跃式的发展。3D打印最先被应用于工业,随着技术的成熟,3D打印在医疗方面的应用也逐渐受到重视并且已经取得了令人惊喜的成果。骨骼在人体中主要起支撑的作用,相对来说,我们更加重视它的结构特性。3D打印能够制作出精

细、稳固的结构,具有很好的力学特性,支撑性强,更有研究表明有望制成具有生物活性的人造骨骼。本文主要介绍了3D打印技术在骨科领域的应用近况、面临的一些问题以及对未来的展望。

1 3D打印技术在骨科的应用现状

1.1 术前规划

利用3D打印技术可以在术前根据患者的影像学资料所提供的数据,构建出所需部位1:1实物模型,这对于术前规划具有重要作用。

首先,有助于术前诊断。现有的影像学检查只能够提供单一的二维平面图像,当发生复杂骨折时,这些传统的影像学检查并不能清晰而又直观的显示出三维解剖关系。而1:1实物模型则可以直观、立体的呈现出骨折后的全貌,不易漏诊一些细微的变化。特别是对于部分低年资医师,由于他们的临床经验不足,容易发生误诊、漏诊,而如果将患者受伤后的骨骼模型打印出来,再次进行评价,则诊断的符合率能够大幅上升^[3]。

【收稿日期】2018-06-08

【基金项目】广东省科技重大专项(2015B010125005, 2016B090917001); 中国南方智谷引进创新团队项目(2015CXTD05); 国家重点研发计划(2017YFC1103400)

【作者简介】苏炜炜, 硕士, 研究方向: 骨外科、3D打印, E-mail: 393267549@qq.com

【通信作者】黄文华, 教授, 博士生导师, 研究方向: 临床应用解剖学、数字医学及3D打印, E-mail: 13822232749@139.com

其次,有助于设计手术方案、术前模拟手术。通过这些直观、立体的3D打印模型,医师可以更加容易找到手术思路、制定出切实可行的手术方案。同时,医师还可以在这些1:1实物模型上进行手术预演,通过多次的体外手术训练,在手术过程中做到有条不紊,简化操作、缩短手术时间、减少患者的术中出血量^[4-5]。柳鑫等^[6]选取53例髌臼骨折病人,其中19例病人根据CT数据,打印3D模型、术前模拟手术;另外34例病人按照常规方法进行手术。结果表明,实验组病人的术中出血量、围手术期输血量均较常规组少,并且手术用时短。

1.2 术中导航

通过收集患者的CT等影像学检查数据,打印出3D模型、模拟复位,我们可以确定螺钉的方向轴、直径、长度,结合软件设计、制作出适合患者的手术导板。

黄华军等^[7]募集复杂胫骨平台骨折患者20例,重建出三维模型、设计内固定方案、打印出手术导板,在3D模型上模拟手术。结果显示手术效果良好,螺钉长度适合,说明手术导板的应用可以提高骨折内固定的效果。Zeng等^[8]募集了10例髌臼骨折病人,打印出手术导板,术中发现预弯的手术导板与骨骼契合良好,不用再进行塑形或其他调整,手术效果基本可以达到骨折的解剖复位。而且病人在复位后产生的移位较小,均未出现螺钉穿出、畸形愈合。盛晓磊等^[9]研究了导板辅助对于颈椎手术的影响程度。结果显示,导板的应用让手术置钉更为安全、精确,并且简化了手术过程、有利于术后恢复。

1.3 骨科临床教学

对于年轻医师来说,课本的知识较为枯燥,不能在头脑中形成图像,缺乏感性认识,而这些实物模型则能够形象的体现出我们人体的解剖结构,带教老师还可以在实物模型上进行演示,让实习医师理解得更加透彻。而且,通过在3D模型上进行模拟手术,能够加快实习医师吸收、利用课本知识,掌握该种疾病解剖变化。这种教学方法可以明显提高教学质量^[10-11]。

李忠海等^[12]将3D打印模型应用于临床教学工作中,与传统的教学方法相比较,这种感性的新型教学方法能够帮助实习医师提高读片能力和对该类疾病的诊断能力,对于解剖关系和病变类型的理解更加深刻,此外,它使教学方式更加多元化,教学的效果显著提升。

1.4 医患沟通

医患矛盾的产生,往往来自于沟通的不充分,患

方一般不具备专业的医学知识,不能够理解复杂的解剖结构以及手术的危险性,医方由于工作量大,不能够一一向患方解释医学原理。而现在通过3D打印的1:1实物模型,医方就可以较为清晰的向患方解释手术的过程、手术的难点、手术存在的风险以及可能出现的并发症,患方有一个直观的感受,也就比较容易接受手术所出现的各种结果^[13]。

1.5 骨折康复支具

骨折后对骨折部位进行外固定对于骨折的愈合过程非常重要,我们传统的外固定材料一般选用石膏、绷带或者夹板,而这些外固定材料透气性差、固定不牢靠、容易压迫血管、减少血供,利用3D打印技术所打印出的康复支具,在这方面的应用则具有巨大的优势。

廖政文等^[14]利用3D打印技术,打印出个性化前臂矫形康复支具,该支具的佩戴更加舒适、透气性好,患者满意度明显增加。陆亮亮等^[15]利用FDM技术打印出拇指指骨骨折康复支具。此种3D打印支具与传统的骨折固定器具相比,它更贴合患者的骨骼生理构造,在佩戴上也更加方便、美观,而且,该支具可承受更强外力的作用,而不会对指骨骨折部位有不良影响。

1.6 骨科金属内植物

关于3D打印骨科金属内植物的研究起始于欧洲,我国也很重视在这方面的探索。与传统的金属内植物相比较,这种个性化内植物与个体的匹配度更加高,它是根据患者所需来进行打印的,尺寸更加的适合,能够让患者术后功能恢复更佳。更为前沿的研究是通过在金属内植物中添加药物来刺激成骨、治疗疾病^[16-17]。

黄淦等^[18]将3D打印钢板应用于骨盆骨折病人,结果显示,患者术中情况较常规手术的患者好、透视次数显著减少,随访结果显示愈合时间更短,疗效更好。

1.7 生物打印

3D生物打印是将器官三维模型当作原型,利用可吸收材料进行打印载体支架,与细胞联合培养,制成功能组织,或者利用患者自身的细胞直接打印,制成组织或器官的先进技术^[19]。目前,3D生物打印技术已经运用于打印人体皮肤、骨骼、血管和心脏组织,虽然还没有在临床上广泛运用,但是可以看出这项技术具有很好的发展前景,该项技术在骨科上的运用更是成为了一个研究热点。

Wang等^[20]利用一种新型的低温3D打印技术制备出(rhBMP-2)-(Ca-P)纳米粒子/聚L-乳酸(PLLA)

复合支架,这种支架能够指导骨髓间充质干细胞的分化、提高细胞活力、附着能力、增殖能力和成骨分化能力。张明等^[21]研制出基于3D打印技术的复合镁骨修复支架,该种支架具有生物活性,有利于植入部位骨再生及功能重建。

2 3D打印存在的一些问题及未来展望

2.1 3D打印的不足

当下,3D打印在临床应用中依然具有一些不足:第一,造价昂贵。3D打印技术所制造的产品都是个性化的,不能够批量制造,生产造价较高^[22]。第二,定制的周期过长,不适用于急诊手术。3D打印技术虽然属于快速成型技术,但是它要根据患者情况,实现个体化打印,所以它所需要的时间还是较长。第三,对材料的要求严格,导致材料的研发难度大,可用种类少。目前所应用的材料包括金属、陶瓷、光敏树脂、石膏等。而且,使用金属作为材料打印内植物对于一部分患者还存在金属过敏的风险^[23]。第四,机械强度不够。利用3D打印技术所制造出的内植物是材料堆积、高温粘合所形成的,所以它的脆性大、不能够承受较大的外力冲击,而骨骼是主要的承重结构,也容易受到外界的冲击,所以要将它作为骨科内植物,还应该提升它的机械强度。

2.2 展望

3D打印的迅速发展,让我们对以往的一些难治、不可治疾病产生了希望。近年来,3D打印在医学方面的利用也受到了重视,在骨科的应用更是异军突起。虽然3D打印当下依然有许多不足,但是我们相信不断涌现的新成果必将弥补这些问题。

就目前的技术而言,大块的骨缺损是较难修复的^[24],然而3D打印技术如果能够实现打印具有生物活性的骨,这必将促进植骨术的迅速发展。虽然还没有实现于临床应用,但是我们可以看到近几年来,关于这方面的动物研究已经取得了很大进展,有望实现临床应用。

材料限制了3D打印的应用,然而随着科技进步,这并不会成为一个高不可攀的难题。张海峰等^[25]将3D打印的聚乳酸-羟基磷灰石(PLA-HA)作为支架载体,与细胞联合培养,观察细胞在PLA-HA上的生长状况,发现细胞生长良好。

机械强度问题也在慢慢地被克服。Xie等^[26]使用DMLS 3D打印技术打印钢板,将其与传统重建钢板对比,观察它们在各个方面的体外力学特性。结果显示DMLS钢板硬度及静态弯曲、扭转刚度较传统重建钢板更大,而在动态疲劳测试中,DMLS钢板

亦能满足临床固定需求。可见,3D打印钢板的机械强度正在被提高。

另外,因意外而导致肢体残疾的人逐年增高,肢体散失对他们的打击不止表现在生理方面,在心理方面也会对他们造成难以弥补的创伤。目前所使用的大多是仅仅起装饰作用的无功能假肢,还远远无法满足残疾人的生活需求,现在已有学者研究利用3D打印技术打印假肢并且配备有集成传感器、电子控制装置,兼顾了外观和功能的实现,随着技术的发展,在不久的将来,有望实现功能的完全替代,其某些性能甚至能够超过人类的真实肢体。

要实现3D打印技术的快速发展,必须有政府支持、多方合作、自主创新,学校、医院、企业三方如果能够相互合作,实现研发、临床实验、生产的密切结合,这必将推动我国3D打印技术在医疗上的腾飞。

【参考文献】

- [1] JOSE R R, RODRIQUEZ M J, DIXON T A, et al. Evolution of bioinks and additive manufacturing technologies for 3D bioprinting[J]. ACS Biomater Sci Eng, 2016, 2(10): 1662-1678.
- [2] 张学军,唐思熠,肇恒跃,等. 3D打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程, 2016, 44(2): 122-128.
ZHANG X J, TANG S Y, ZHAO H Y, et al. Research status and key technologies of 3D printing[J]. Journal of Materials Engineering, 2016, 44(2): 122-128.
- [3] WONG K C. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics[J]. Orthop Res Rev, 2016, 8(8): 57-66.
- [4] 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.
- [5] 孙涛,崔林江,窦超超. 3D打印技术在骨肿瘤手术术前规划中的初步应用[J]. 中国数字医学, 2016, 11(9): 74-76.
SUN T, CUI L J, DOU C C. Primary clinical application of 3D printing technique in born tumor operation design[J]. China Digital Medicine, 2016, 11(9): 74-76.
- [6] 柳鑫,曾参军,卢键森,等. 3D打印计算机虚拟辅助技术在髌臼骨折术前规划中的应用[J]. 南方医科大学学报, 2017, 37(3): 378-382.
LIU X, ZENG C J, LU J S, et al. Application of 3D printing and computer-assisted surgical simulation in preoperative planning for acetabular fracture[J]. Journal of Southern Medical University, 2017, 37(3): 378-382.
- [7] 黄华军,张国栋,欧阳汉斌,等. 基于3D打印技术的复杂胫骨平台骨折内固定手术数字化设计[J]. 南方医科大学学报, 2015, 35(2): 218-222.
HUANG H J, ZHANG G D, OUYANG H B, et al. Internal fixation surgery planning for complex tibial plateau fracture based on digital design and 3D printing[J]. Journal of Southern Medical University, 2015, 35(2): 218-222.
- [8] ZENG C J, XING W R, WU Z L, et al. A combination of three-dimensional printing and computer-assisted virtual surgical procedure for preoperative planning of acetabular fracture reduction[J]. Injury, 2016, 47(10): 2223-2227.
- [9] 盛晓磊,袁峰,李智多,等. 3D打印组合式导板辅助下颈椎前路椎弓根螺钉置入与徒手置钉的准确性对比[J]. 中国组织工程研究,

- 2017, 21(3): 406-411.
- SHENG X L, YUAN F, LI Z D, et al. Comparison of the accuracy of lower cervical anterior transpedicular screws between three-dimensional printing assembly navigation template and free hand placement[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2017, 21(3): 406-411.
- [10] 朱文艺, 海涌, 李健, 等. 多元化教学方式在骨科临床教学中的应用研究[J]. 中国病案, 2015, 16(4): 87-89.
- ZHU W Y, HAI Y, LI J, et al. Applied research of diversified teaching methods in orthopaedic clinical teaching [J]. Chinese Medical Record, 2015, 16(4): 87-89.
- [11] PUJOL S, BALDWIN M, NASSIRI J, et al. Using 3D modeling techniques to enhance teaching of difficult anatomical concepts[J]. Acad Radiol, 2016, 23(4): 507-516.
- [12] 李忠海, 唐家广, 王华东, 等. 3D打印技术在骨科临床教学中的应用初探[J]. 中国医学教育技术, 2016, 30(2): 198-200.
- LI Z H, TANG J G, WANG H D, et al. Exploration of 3D printing technology applied in orthopedic clinical teaching[J]. China Medical Education Technology, 2016, 30(2): 198-200.
- [13] EISENMENGER L B, WIGGINS R H, FULTS D W, et al. Application of 3D printing in a case of osteogenesis imperfecta for patient education, anatomic understanding, preoperative planning, and intraoperative evaluation[J]. World Neurosurg, 2017, 107: 1049.
- [14] 廖政文, 莫诒向, 张国栋, 等. 3D打印个性化康复矫形器的设计制作[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(4): 470-477.
- LIAO Z W, MO Y X, ZHANG G D, et al. Design and development of three-dimensional printing personalized rehabilitation orthosis [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(4): 470-477.
- [15] 陆亮亮, 史廷春, 于云, 等. 3D打印指骨骨折支具的研究[J]. 航天医学与医学工程, 2017, 30(4): 263-269.
- LU L L, SHI Y C, YU Y, et al. Study on 3D printed brace for phalangeal fractures [J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2017, 30(4): 263-269.
- [16] MOK S W, NIZAK R, FU S C, et al. From the printer: potential of three-dimensional printing for orthopaedic applications[J]. J Orthop Translat, 2016, 6(C): 42-49.
- [17] 刘忠军. 金属3D打印骨科内植物的应用现状与发展趋势浅析[J]. 骨科临床与研究杂志, 2017, 2(2): 65-67.
- LIU Z J. Application and development trend of metallic 3D printing plants in orthopaedics[J]. The Journal of Orthopaedic Clinical and Research Studies, 2017, 2(2): 65-67.
- [18] 黄淦, 禹宝庆, 敖荣广, 等. 3D打印结合定制钢板内固定技术在骨盆骨折治疗中的应用[J]. 中华创伤杂志, 2016, 32(12): 1060-1066.
- HUANG G, YU B Q, AO R G, et al. Application of three-dimensional printing combined with individualized custom-made plate in internal fixation of pelvic fractures[J]. Chinese Journal of Trauma, 2016, 32(12): 1060-1066.
- [19] CUI H, NOWICKI M, FISHER J P, et al. 3D bioprinting for organ regeneration[J]. Adv Healthc Mater, 2016, 6(1): 1601118.
- [20] WANG C, ZHAO Q, WANG M. Cryogenic 3D printing for producing hierarchical porous and rhBMP-2-loaded Ca-P/PLLA nanocomposite scaffolds for bone tissue engineering[J]. Biofabrication, 2017, 9(2): 025031.
- [21] 张明, 赖毓霄, 王新杰, 等. 基于3D打印技术的新型生物活性复合镁骨修复支架[J]. 国际骨科学杂志, 2015, 36(5): 382-384.
- ZHANG M, LAI Y X, WANG X L, et al. A novel bioactive magnesium bone repair scaffold based on 3D printing technology[J]. International Journal of Orthopaedics, 2015, 36(5): 382-384.
- [22] 郭鹏年, 董乐乐, 左强, 等. 3D打印技术在创伤骨科中的临床应用[J]. 中国数字医学, 2015, 10(6): 45-47.
- GUO P N, DONG L L, ZUO Q, et al. The clinical application of 3D printing technique in trauma orthopedics[J]. China Digital Medicine, 2015, 10(6): 45-47.
- [23] 冯均伟, 王跃, 朱宗, 等. 骨科人工关节置换术后金属过敏研究进展[J]. 实用医院临床杂志, 2012, 9(3): 166-169.
- FENG J W, WANG Y, ZHU Z, et al. Research progress in metal allergy after prosthetic replacement of joint in orthopedics department [J]. Practical Journal of Clinical Medicine, 2012, 9(3): 166-169.
- [24] SEITZ H, RIEDER W, IRSEN S, et al. Three-dimensional printing of porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2005, 74(2): 782-788.
- [25] 张海峰, 杜子婧, 毛曦媛, 等. 3D打印PLA-HA复合材料构建组织工程骨的实验研究[J]. 国际骨科学杂志, 2016, 37(1): 57-63.
- ZHANG H F, DU Z J, MAO X Y, et al. Experimental reserarch of constructing tissue engineered bone using three-dimensional printed polylactic acid-hydroxyapatite composite scaffolds[J]. International Journal of Orthopaedics, 2016, 37(1): 57-63.
- [26] XIE P, OUYANG H, DENG Y, et al. Comparison of conventional reconstruction plate *versus* direct metal laser sintering plate: an *in vitro* mechanical characteristics study[J]. J Orthop Surg Res, 2017, 12(1): 128.

(编辑:薛泽玲)