

3D 打印医工结合门诊在数字医学临床实践教学中的应用

<https://doi.org/10.12307/2022.583>郑坤^{1,2}, 许苑晶¹, 于文强^{1,2}, 任富超^{1,2}, 邓迁¹, 王金武^{1,3}, 戴昶戎^{1,3}

投稿日期: 2021-08-12

采用日期: 2021-09-04

修回日期: 2021-09-18

在线日期: 2021-12-13

中图分类号:

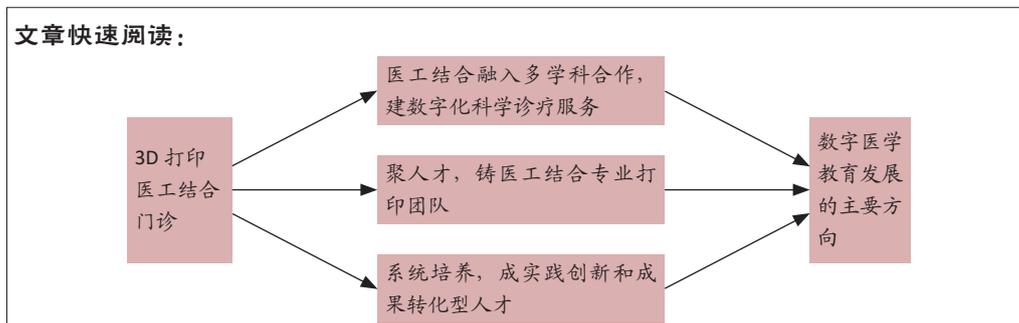
R459.9; R318; R319

文章编号:

2095-4344(2022)15-02317-06

文献标识码: A

文章快速阅读:



文题释义:

3D打印医工结合门诊: 是以医务人员、患者以及多学科的理工科研教学人员为主体的医工结合门诊, 它将3D打印理论研究、医工实践以及科研成果转化相结合, 旨在培养3D打印理论与实践兼具, 创新与科研思维并存的医工交互人才。

数字医学: 是信息科学与医学交叉的前沿学科, 包括影像、数字解剖, 计算机辅助设计/制造的临床应用、数字化医学建设、远程会诊与医学教育等各个分支, 如今已交叉渗透到了整个医学科技领域。

摘要

背景: 3D打印医工结合门诊和数字医学教育正在不断完善和发展, 将3D打印医工结合门诊模式应用于数字医学的临床实践教学当中将会是3D打印在快速发展道路上的一个创新结合点, 同时该新模式也将为应用医学的发展做出进一步的推动作用。

目的: 对比3D打印医工结合门诊与传统医学教学及3D打印医学教学的优势, 同时详细阐明上海交通大学医学院附属第九人民医院3D打印医工结合门诊的临床实践教学案例。

方法: 对传统医学教学、3D打印医学教学方式进行调研, 将其与上海交通大学医学院附属第九人民医院3D打印医工结合门诊在“教学、教育、数字医学”等内容进行归纳分析比较; 对3D打印医工结合门诊的组成建立、开展3D打印项目进行探讨研究, 并总结于2018年1月至2021年1月在该院3D打印接诊中心参与3D打印医工结合门诊学习培训的学习人次以及举办的国际会议次数, 阐明3D打印医工结合门诊在数字医学教育发展中的重要作用。

结果与结论: ①传统医学教育模式大课堂授课氛围枯燥, 学生容易注意力不集中, 难以全面掌握知识点; 3D打印医学教育可提高医学教育中抽象内容的理解, 但缺乏对3D打印以临床为导向的科研转化研究; 而3D打印医工结合门诊可以培养医工交叉人才的转化思维, 训练学生的科研成果转化能力, 帮助临床研究成果顺利落地。②上海交通大学医学院附属第九人民医院的3D打印医工结合门诊, 面向患者顺利开展了个性化的矫形器的制作, 具有多学科交叉、医工人才交互及系统培养等特点, 率先进行了3D打印医工结合门诊应用于数字医学临床实践教学的开展和探索, 并且取得了良好的效果。③目前该3D打印医工结合门诊已培养和在读的博士研究生42人、实习进修人员137人, 已举办国际康复医学与工程大会10次, 国际康复医学与康复工程前沿技术临床转化会议6次, 对国内外3D打印数字医学教育的发展具有深远的影响。④3D打印医工结合门诊教学模式不仅有利于培养学生拥有以临床需求为导向的科研创新能力, 更有利于转化医学、组织工程、康复工程和生物医学工程等前沿学科的发展。

关键词: 3D打印门诊; 医工结合; 组织工程; 数字医学教育; 教学模式; 临床实践教学; 科研创新; 成果转化

Application of three-dimensional printing medical-industrial outpatient clinics in digital medical education

Zheng Kun^{1,2}, Xu Yuanjing¹, Yu Wenqiang^{1,2}, Ren Fuchao^{1,2}, Deng Qian¹, Wang Jinwu^{1,3}, Dai Kerong^{1,3}

¹Department of Orthopaedic Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; ²School of Rehabilitation Medicine, Weifang Medical University, Weifang 261053, Shandong Province, China; ³China Engineering Research Center of Digital Medicine and Clinical Transformation, Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

Zheng Kun, Master candidate, Department of Orthopaedic Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; School of Rehabilitation Medicine, Weifang Medical University, Weifang 261053, Shandong Province, China

Corresponding author: Wang Jinwu, MD, Professor, Chief physician, Department of Orthopaedic Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; China Engineering Research Center of Digital Medicine and Clinical Transformation, Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

¹上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科, 上海市 200011; ²潍坊医学院康复医学院, 山东省潍坊市 261053; ³上海交通大学数字医学临床转化教育部工程研究中心, 上海市 200030

第一作者: 郑坤, 男, 1995年生, 汉族, 四川省人, 潍坊医学院在读硕士, 主要从事3D打印个性化康复辅具研究。

通讯作者: 王金武, 博士, 教授, 主任医师, 上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科, 上海市 200011; 上海交通大学数字医学临床转化教育部工程研究中心, 上海市 200030

<https://orcid.org/0000-0003-1411-057X> (王金武)

基金资助: 上海交通大学医学院地高大双百人计划(20152224), 项目负责人: 王金武; 上海交通大学医学院附属第九人民医院临床研究型MDT项目(201914), 项目负责人: 王金武

引用本文: 郑坤, 许苑晶, 于文强, 任富超, 邓迁, 王金武, 戴昶戎. 3D打印医工结合门诊在数字医学临床实践教学中的应用 [J].

中国组织工程研究, 2022, 26(15):2317-2322.



Abstract

BACKGROUND: The combination of three-dimensional (3D) printing and medical workers in outpatient and digital medical education is constantly improving and developing. The application of 3D printing medical-industrial outpatient mode to the clinical practice and teaching of digital medicine will be an innovative combination during the rapid development of 3D printing. This new mode will also further promote the development of applied medicine.

OBJECTIVE: To compare the advantages of 3D printing integrated medicine-industry outpatient clinic with traditional medical teaching and 3D printing medical teaching, and expounds in detail the clinical practice teaching case of 3D printing medical worker combination clinic of the Ninth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine.

METHODS: The teaching methods of traditional medicine and 3D printing medicine were investigated and compared with 3D printing integrated medicine-industry outpatient clinic at Shanghai Ninth People's Hospital affiliated to Shanghai Jiao Tong University in terms of "teaching, education, digital medicine". We discussed the composition of 3D printing integrated medicine-industry outpatient clinic, investigated the development of 3D printing items, and summarized the number of participants who had participated in the training of 3D printing integrated medicine-industry outpatient clinic as well as the number of international conferences held in the 3D printing clinic center of Shanghai Ninth People's Hospital from January 2018 to January 2021, thereby expounding the important role of 3D printing integrated medicine-industry outpatient clinic in the development of digital medical education.

RESULTS AND CONCLUSION: The traditional medical education that proceeds in a large classroom is boring, in which students are easy to lose their attention and difficult to master knowledge comprehensively. 3D printing medical education could improve the understanding of abstract content in medical education, but there is a lack of clinical translation potential in 3D printing. 3D printing medical-industrial outpatient clinics could cultivate the transformation thinking of medical-industrial talents, train the students' ability to transform scientific research achievements, and help the smooth implementation of clinical research achievements. 3D printing medical-industrial outpatient clinics at Shanghai Ninth People's Hospital has successfully produced personalized orthoses for patients, with the characteristics of interdisciplinary interaction, medical and industrial talent interaction, and system training. It took the lead in the development and exploration of 3D printing medical-industrial outpatient clinic in the clinical practice and teaching of digital medicine, and has achieved good results. At present, there are 42 Master/MD candidates and 137 trainees in the 3D printing medical-industrial outpatient clinic. It has held 10 international conferences on rehabilitation medicine and engineering, and 6 international conferences on the clinical transformation of advanced technologies in rehabilitation medicine and engineering, all of which have a profound impact on the development of 3D printing digital medicine education over the world. To conclude, the teaching mode based on 3D printing medical-industrial outpatient clinics is not only beneficial to training students' scientific research and innovation ability guided by clinical needs, but also conducive to the development of cutting-edge disciplines such as translational medicine, tissue engineering, rehabilitation engineering and biomedical engineering.

Key words: 3D printing outpatient; medical-industrial combination; tissue engineering; digital medical education; teaching mode; clinical teaching; scientific research innovation; achievement transformation

Funding: Two-Hundred Talents Program for Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, No. 20152224 (to WJW); Clinical Research Project of Multi-Disciplinary Team of Shanghai Ninth People's Hospital affiliated to Shanghai Jiao Tong University, No. 201914 (to WJW)

How to cite this article: ZHENG K, XU YJ, YU WQ, REN FC, DENG Q, WANG JW, DAI KR. Application of three-dimensional printing medical-industrial outpatient clinics in digital medical education. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu.* 2022;26(15):2317-2322.

0 引言 Introduction

数字医学是信息科学与医学交叉的前沿学科,正作为一个全新探索领域而受到广泛的关注与重视。它如今已融入覆盖医学各个领域,包括影像/数字解剖、计算机辅助设计/制造的临床应用、数字化医学建设、远程会诊与医学教育等各个分支。由于中国数字医学教育起步晚,还存在教学系统不完善、模式不明确、师资不充裕等问题^[1]。3D打印医工结合门诊是以医务人员、患者以及多学科的理工科研教学人员为主体的医工结合门诊,不同于其他医学教学、3D打印教学的门诊,它将3D打印理论研究、医工实践以及科研成果转化相结合,注重培养医学生的实践创新与成果转化思维。现阶段3D打印广泛应用于骨科、口腔科、整复外科等科室的临床应用与年轻医生的带教^[2-6],有大量的研究主要聚焦的是以3D打印为代表的新兴信息技术作为医学教学手段或媒介的优势或劣势^[7-15],但并未系统性地探讨3D打印医工交叉门诊培养多学科复合人才的作用。考虑到开展3D打印医工结合门诊需要配套较多的人员、设施设备、场地等,许多院校还未开展完善的涵盖临床、实验室、实践的教学内容,难以系统性地提出医工交叉培养模式,这可能和3D打印医工结合门诊并未在中国的医院普及有关。

上海交通大学医学院附属第九人民医院(下文简称:上海九院)在中国首次成立了专门的3D打印医工结合门诊,该门诊成员不仅仅是以医护人员和患者为主体,而且包括了设计师、机械工程师、设备操作员等理工科背景的科研教学人员。文章系统性地探讨了3D打印医工结合门诊在数字医学、生物3D打印实践教学与科研中的应用,旨在培养3D打

印理论与实践兼并、创新与科研思维并存的医工交互人才,为3D打印医疗领域的发展做出贡献,从而进一步推动医学3D打印的教育发展。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 基于3D打印医工结合门诊建立及开展项目的临床实践教学分析。

1.2 时间及地点 于2018年1月至2021年1月在上海九院3D打印接诊中心完成。

1.3 对象 纳入上海九院3D打印接诊中心参与3D打印医工结合门诊教学活动的人员共179人,包括已培养和在读的硕士、博士人员和实习进修人员以及举办的国际会议;通过调研传统教学、3D打印教学模式,对上海九院3D打印医工结合门诊进行分析讨论,探讨3D打印医工结合门诊在数字医学临床实践教学中的应用。所有参与者对此次研究均知情并签署知情同意书,该研究实施符合《赫尔辛基宣言》要求,并通过上海交通大学医学院附属第九人民医院伦理委员会批准,批准号:沪九院伦审2016-124-T73号。

1.3.1 纳入标准 ①完整参与3D打印医工结合门诊教学的硕士、博士人员和实习进修人员;②该院举办的国际会议参会人员。

1.3.2 排除标准 在教学途中离开及退出者。

1.4 方法

1.4.1 3D打印门诊及传统、3D打印教学方式调研 在PubMed,中国知网、万方等数据库搜索传统教学、3D打印教学模式,将其与3D打印医工结合门诊进行对比分析。

1.4.2 上海九院 3D 打印医工结合门诊的建立 2018 年上海九院成立 3D 打印医工结合门诊，其采用多学科会诊模式，整合了骨科、康复科、影像科等多科室临床资源，开展术前模型、个体植入器械、个性化康复辅具和生物打印支架等服务项目。在康复辅具方面，致力于 3D 打印制作骨关节疾病的相关辅助器具的研发、应用以及做出相应流程标准规范化^[16-19]，该医工结合门诊作为患者对接窗口，也承接以临床需求为导向的科技研究项目，比如由上海九院主持的国家科技部重点研发项目“血管化仿生关节多细胞精准 3D 打印技术与装备的开发及应用”，针对临床对仿生关节的需求，开展了一系列生物组织工程研究。

上海九院的 3D 打印医工结合门诊不同于常规门诊，通过整合上海交通大学和上海九院的医工交叉优势以及聚焦 3D 打印技术，建立了杰出的多学科交叉研发 3D 打印医工结合团队。该 3D 打印医工结合门诊研发团队的成员组成不仅有医护人员和患者，还包括包括骨科医师、康复师、软件材料专业设计人员、矫形师及工程师。此外，该 3D 打印中心多年来以“产学研医学”为理念模式，注重将医工进行结合，致力于培养医学生的医工创新思维以及科研成果转化能力^[20]。

1.4.3 3D 打印医工门诊临床实践创新能力培养方式 该医工结合团队拥有独特的培养模式，注重对学生自主学习以及临床创新思维能力提升的培养。通常从门诊病历收集开始到 3D 打印矫形器交给患者的整个进程当中，学生会参与到每个环节当中，学习并协助老师对每位需制作矫形器的患者进行扫描、设计制作和适配。学生由相应的指导老师负责，对门诊患者的基本信息、病例情况以及特殊情况做仔细的病案登记和备注。随后，在每次团队基础学习的过程当中将收集的典型患者病历融入到案例教学当中，以幻灯方式展现出来，供师生一起讨论学习和制定相关的临床治疗方案，如矫形器的选择、设计以及大小、厚度和宽度等的探讨，在此之后学生往往还会主动参与到对患者制作矫形器前的相关扫描和设计。

1.4.4 数字医学教育培养方式 上海九院 3D 打印中心拥有数字化远程会议室以及自主首创的云康复系统，见图 1。

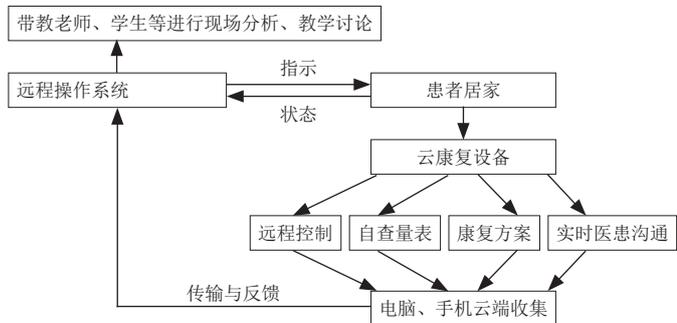


图 1 | 数字化远程会诊云康复系统教学示意图

Figure 1 | Teaching diagram of digital remote consultation cloud rehabilitation system

远程会议室可以与患者进行线上连接会诊，云康复系统可以对患者在家使用云康复设备情况进行在线指导，包括患者每天康复训练的实施方案数据、时间、恢复情况等。医生、

工程师，矫形师等带教老师以及学生在远程会议室跟患者进行远程视频连接后，医生们对患者通过使用远程康复设备上上传的实时数据进行分析 and 指导，随后讨论患者的改善情况，安排下一个康复计划。

1.4.5 科研创新、临床与实验室研究为一体培养方式 对于门诊的临床需求与问题，按照学生的专长与兴趣，以科研课题的方式开展药物筛选、微尺度血管、高生物活性支架以及仿生关节等生物组织工程的实验室研究与动物、临床试验，在研究中创新所得的成果通过专利发布与使用，可以成为一项新的服务患者的产品或技术服务。在每周的课题学习会议上，学生还将以 Journal club 的形式进行相关文献学习和汇报，同时提出在一周学习当中所遇到的困难和瓶颈，学生和老师共同探讨以寻找解决方案。

1.5 观察指标 3D 打印医工结合门诊的优势、开展的 3D 打印辅具项目、教学实施以及培养人才数和举办会议次数。

2 结果 Results

2.1 3D 打印医工结合门诊的优势 上海九院 3D 打印医工结合门诊与传统教学方式和 3D 打印医学教育相比，拥有明显的特点和优势，见表 1。

表 1 | 传统教学方式、3D 打印医学教学方式及上海九院 3D 打印医工结合门诊教学对比

Table 1 | Comparison of traditional teaching, three-dimensional printing medical teaching and three-dimensional printing medical-industrial outpatient teaching in Shanghai Ninth People's Hospital

教学方式	主要实施内容	优缺点
传统教学模式 ^[21-22]	课堂授课，以 PPT、视频、投影等形式授课	(1) 优点：可以进行大课堂授课，容纳参与人数多； (2) 缺点：授课氛围枯燥，学生容易注意力不集中，对于抽象复杂的内容不易理解，难以全面掌握知识点
3D 打印医学教学模式 ^[26, 23]	在课堂上以 3D 打印模型，术前导航等对实习，临床医学生进行带教授课	(1) 优点：对抽象的解剖内容，手术开展计划有明确的认识，提高学习效率； (2) 缺点：未能深入了解 3D 打印技术在门诊患者实际应用的个性化含义；缺乏对 3D 打印以临床为导向的科研转化研究
上海九院 3D 打印医工结合门诊教学	同时拥有医、工背景的多名带教老师对门诊患者实际问题进行针对性分析并选取个性化、量身定制的设计方案来为患者进行治疗	(1) 优点：成为医工交叉的临床医学转化平台；承担科研技术的前沿开发与应用的任务；利于多学科、前沿学科的发展； (2) 缺点：门诊容纳人数少，面积小，目前只适合小规模开展

2.2 上海九院 3D 打印医工门诊开展项目 上海九院 3D 打印中心医工结合团队为患者量身定制并打印个性化的骨折夹板、鞋垫、颈椎枕、脊柱侧弯矫形器以及“定制式增材制造膝关节矫形器”(获得了注册人制度下第一个科研型企业的医疗器械注册证)，取得了良好的临床治疗效果和评价。该 3D 打印医工结合门诊的打印流程见图 2，开展的相关项目详细情况和示意图见表 2，图 3。

2.3 上海九院 3D 打印医工结合门诊教学实施 上海九院的 3D 打印医工结合门诊，具有多学科交叉、医工人才交互和系统培养等特点，在率先进行了 3D 打印医工结合门诊应用于数字医学临床实践教学的开展和探索，并且取得了良好的效果。整个教学实施的大致流程内容见图 4。

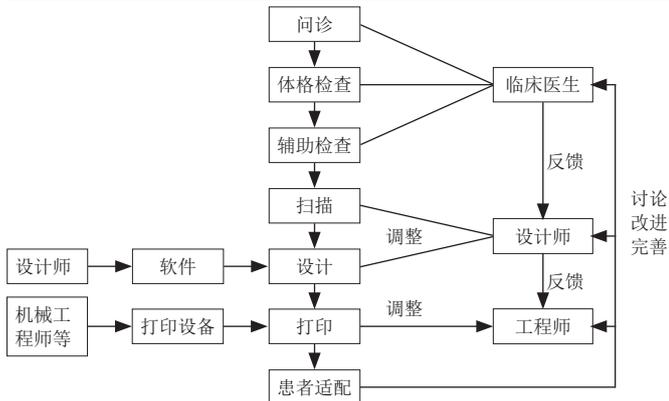


图 2 | 上海九院 3D 打印医工结合门诊打印流程图

Figure 2 | Flowchart of three-dimensional printing medical-industrial outpatient at Shanghai Ninth People's Hospital

表 2 | 上海九院 3D 打印中心打印项目表

Table 2 | Project form printed by three-dimensional printing center of Shanghai Ninth People's Hospital

3D 打印项目	所用材料	扫描时间	设计时间	打印时间
脊柱侧弯矫形器	尼龙	20 min	1.0-2.0 h	约 24 h
个性化颈椎枕	热塑性聚氨酯弹性体橡胶	3 min	0.5 h	约 18 h
个性化矫形鞋垫	热塑性聚氨酯弹性体橡胶等	10 min	0.5 h	约 8 h
个性化膝关节矫形器	尼龙	3 min	0.5 h	约 8 h
其他矫形器	聚乳酸、树脂等	根据实际情况	0.5-2.0 h	根据实际情况



图 3 | 3D 打印矫形器示意图

Figure 3 | Diagram of three-dimensional printing orthosis

图注：图 A 为脊柱侧弯矫形器；B 为个性化颈椎枕；C 为个性化矫形鞋垫图；D 为个性化膝关节矫形器

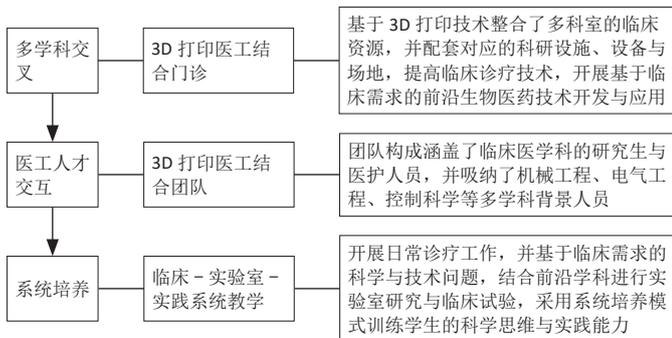


图 4 | 上海九院 3D 打印医工结合门诊在数字医学技术临床实践教学中的实施示意图

Figure 4 | Implementation of three-dimensional printing medical-industrial outpatient of Shanghai Ninth Hospital in the clinical teaching of digital medical technologies

2.4 医工结合人才数量统计结果 目前，该 3D 打印医工结合团队已培养含在读的硕士、博士研究生 42 人，实习、进修人员 137 人，作为主办方之一已经在全国各地举办了国际知名会议共 16 次（其中国际康复医学与工程大会 10 次，国际康复医学与康复工程前沿技术临床转化会议 6 次），并在全各地合作建设了较多分中心，拥有较高的影响力，深刻推动了中国 3D 打印事业的发展。

3 讨论 Discussion

美国著名的梅奥诊所于 2009 年在世界上率先开展 3D 打印技术，该诊所将 3D 打印技术用于一对连体婴儿的分离手术，医生们使用立体的实物模型来进行术前规划并成功地完成了手术^[24-25]。2012 年，美国的克利夫兰医院便开始应用 3D 打印，并成为全球首家将 3D 打印肝脏模型用于医疗实践的医院，同年，克利夫兰知名肝脏医生 Nizar Zein 使用 3D 打印肝脏模型让其团队在手术前进行操刀练习，如今这已经成为外科手术中较为常见的辅助手段^[26]。

在中国，为了能使医学 3D 打印转化为高诊疗水平的技术，实现精准、个性化的诊疗目标，推进 3D 打印技术的研究与应用转化来更好地造福患者，2018 年，上海九院的 3D 打印医工结合门诊正式开放，该医工结合门诊作为患者对接窗口，也承接以临床需求为导向的科技研究项目，比如由上海九院主持的国家科技部重点研发项目“血管化仿生关节多细胞精准 3D 打印技术与装备的开发及应用”，针对临床对仿生关节的需求，开展了一系列生物组织工程研究^[27-28]。依托于临床对高端诊疗技术的需求、以及国家鼓励发展计算机技术与数字医学等政策，该 3D 打印医工结合门诊拥有 3D 打印接诊中心、3D 打印创新研发中心和 3D 打印后处理中心，通过远程会诊等技术交流方式加强中国数字医学的合作与发展，并在全国多个省市成立分中心。目前 3D 打印已经广泛用于患者解剖模型教学^[23]、牙科、骨科、心胸外科教学培训^[2-4, 29]、手术教学以及影像科教学等的人才教育培养当中^[30-33]。而数字医学和 3D 打印医学教育的发展，不应局限于手术、模型教学方面，还应将 3D 打印与工程理论、医学门诊和科研创新相结合作为医学教育的模式，这样才能更好地促进 3D 打印、医、工三者的结合，从而培养出知识更加全面的 3D 打印医工交叉的人才，从而推动数字医学的发展。

上海九院的 3D 打印医工结合门诊不同于常规门诊，既包含临床医学的诊疗流程，也包含扫描、打印、设计、制造等一系列工艺流程^[34-36]。因此，需要学生在熟练掌握患者疾病的诊断治疗的同时也需要熟知传统制造和 3D 打印制造的差异性，并能对不同打印技术所需的工艺、材料性质等有一定的认识，才能为医工结合带来更多的创新和技术优化。另外，三维设计是 3D 打印的核心关键技术之一，医工结合要求医学生学习并熟悉相关软件的应用和设计，从而才能为患者设计和制造出个性化的产品，达到“量体裁衣”的效果。此外，在缺乏增材制造标准规范的背景下^[37]，3D 打印制作的产品常常参照的是传统制造标准，缺乏独立的评价体系，而 3D 打印要想进一步完善和做出突破，就要求医学生需亲自投入到实践中去^[38]，然后大胆猜想和假设，小心求证，这样才能打破原有的思维观念，进一步开拓视野，散发医工结合思维。

为了推广 3D 医工结合门诊在数字医学的应用，就必须打破传统观念，建立系统的团队协作教学机制，培养数字

医学医工交叉人才。传统的临床教学方式当中，多在教室用书本、图文幻灯、影音视频播放以及教学模具的形式对学生授课宣讲，这样的教学方式虽然内容丰富，但是对于比较抽象和难以理解的知识点，授课氛围会显得比较枯燥，久而久之，学生会缺乏兴趣，致使学习效率下降，达不到理想的教学效果^[21-22]。而3D打印医工结合门诊教学不仅能让医学生在医工结合门诊进行问诊了解患者病情，还能亲自参与到3D打印的设计制作和打印过程当中，如软件设计、建模优化以及打印实施，包括对材料的选择，打印参数以及打印填充率的设定等方面，来更加深入地了解3D打印技术，从而将难以理解的知识信息形象具体化。

通过3D打印医工结合门诊，医生、工程师以及学员具备了基于临床需求的交流平台，有利于在科研工作中进一步发挥协同作用，在仿生人工关节的研究项目中，临床医生和科研学员提出满足骨、软骨和血管等不同组织打印需求的设备要求，工程师则根据医生的要求开发骨、软骨和关节的数字仿生模型和3D打印精准建模方法和软件、细胞存活维持系统等，通过医工交互，有利于前沿科研技术的开发与应用，因此3D打印医工结合门诊在数字医学教育、医工交互科研当中实施的必要性非常显著。在药物筛选研究中，该项目基于临床对新药、靶向药的需求，在获得伦理获批后，医生、工程师及医学生通过门诊搜集患者的医学数据与病理组织；将组织块送到细胞实验室由临床研究人员进行筛选、培养与扩增制取生物墨水；工程师进行建模与设备操作，通过高通量生物打印的方式高效获取大量同质的组织单元，最终用于药物筛选。3D打印医工结合门诊作为医工交叉的临床平台，承担了科研技术的前沿开发与应用的任務，且在3D打印应用于临床的高阶发展以制造出具有功能性的人体组织器官的目标下，有利于培养医工交叉人员开展以临床需求为导向的科研工作，更有利于组织与康复工程、生物医学及转化医学工程等生物医药前沿学科的发展。

将3D打印医工结合门诊应用于数字医学技术临床实践教学当中是一项崭新的教育模式，未来也必将成为数字医学教育的一项热点。该教育模式有以下优势：①3D打印医工结合门诊注重训练医工交叉人才的转化思维。中国当前科研人员创新转化的研究达到新的高度，在中国陆续开展医疗器械注册人制度、高校科研成果转化方法等举措背景下通过该教育模式学生的自主学习和医工结合科研创新能力将得到新的拓展和提高^[39-40]。②转化医学旨在将实验室的研究成果切实地应用于患者，实现基于临床需求提出问题、解决问题的成效，能以药物、医疗器械和诊疗方案等形式实现临床应用，开展3D打印医工结合门诊^[41-42]，可以训练学生的转化能力，通过门诊搜集的临床需求与问题，按照学生的专长与兴趣，以科研课题的方式开展实验室研究与临床试验，研究成果通过专利的发布与使用，可以成为一项新的服务患者的产品或技术服务。③在以往的医学生教学中相关环节的指导或培训存在欠缺，在专利撰写及成果转化均容易遇到瓶颈，引入系

统性的医工交叉培养，则可以在机械工程师、专利工程师的协助下完成临床研究成果的落地^[43-46]。

此次探讨性研究，将3D打印医工结合门诊教学模式运用于3D打印的医学教育中，具有示范性和独创性。但在一些缺乏配套的科研与技术开发人员、场地等配套要求的地区开展会相对困难。虽然3D打印技术在临床实践教学应用的全面普及面临着阻力，但在小范围内开展3D打印医工结合门诊的临床实践教学仍是可行且效果良好的。另外，此次研究是对上海九院3D打印医工结合门诊在数字医学教育中的实际应用和开展进行的探讨性研究，未来还可以进一步对传统教育、3D打印医学教育、3D打印医工结合门诊3种教育模式下的教学质量差异进行探讨研究。相信随着3D打印技术以及预防、医疗、康复一体化诊疗的进一步发展，今后3D打印医工结合门诊模式在临床实践教学中的应用会成为数字医学教育发展的方向。

致谢：感谢上海交通大学医学院附属第九人民医院戴魁戎院士王金武团队的技术支持及协作指导。

作者贡献：郑坤负责论文撰写和修改，并参与教学实施；许苑晶和邓迁负责论文撰写修改和教学实施。于文强和任富超负责论文撰写。王金武负责教学设计、实施和论文审校。戴魁戎负责教学设计和指导，并负责论文审阅。

经费支持：该文章接受了“上海交通大学医学院地高大双百人计划(20152224)和上海交通大学医学院附属第九人民医院临床研究型MDT项目(201914)”的基金资助。所有作者声明，经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程不存在利益冲突。

机构伦理问题：该研究实施符合《赫尔辛基宣言》，经过上海交通大学医学院附属第九人民医院伦理委员会批准，批准号：沪九院伦审2016-124-T73号。

写作指南：该研究遵守国际医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。

文章查重：文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审：文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

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。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] 许苑晶, 万克明, 王金武, 等. 数字医学多元化教学方式的探讨及思考[J]. 中国校外教育, 2019, 8(24): 55-56.
- [2] OBEROI G, NITSCH S, EDELMAYER M, et al. 3D printing-encompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng Biotechnol.* 2018;6:172.
- [3] HANAFAI A, DONNERMEYER D, SCHÄFER E, et al. Perception of a modular 3D print model in undergraduate endodontic education. *Int Endod J.* 2020;53(7):1007-1016.
- [4] REYMUS M, FOTIADOU C, KESSLER A, et al. 3D printed replicas for endodontic education. *Int Endod J.* 2019;52(1):123-130.

- [5] WEIDERT S, ANDRESS S, SUERO E, et al. 3D-Druck in der unfallchirurgischen Fort- und Weiterbildung: Möglichkeiten und Anwendungsbereiche [3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training: Possibilities and fields of application]. Unfallchirurg. 2019;122(6):444-451.
- [6] 郭占鹏, 黄米娜, 李秀华, 等. 3D 打印技术在骨科 PBL 临床教学中的应用 [J]. 中国继续医学教育, 2017,9(9):19-21.
- [7] MCMENAMIN PG, HUSSEY D, CHIN D, et al. The reproduction of human pathology specimens using three-dimensional (3D) printing technology for teaching purposes. Med Teach. 2021;43(2):189-197.
- [8] SHAH P, CHONG BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. Clin Oral Investig. 2018;22(2):641-654.
- [9] GUPTA A, ARYA V, BHARSHANKAR R, et al. The Resurgence of 3D printing: As a tool in advance medical education: 3D printing tool in advance medical education. Int J Health Clin Res. 2020;3(8):71-77.
- [10] MORETA-MARTINEZ R, GARCÍA-MATO D, GARCÍA-SEVILLA M, et al. Combining augmented reality and 3D printing to display patient models on a smartphone. J Vis Exp. 2020. doi: 10.3791/60618.
- [11] FATIMA S, HALEEM A, BAH L S, et al. Exploring the significant applications of Internet of Things (IoT) with 3D printing using advanced materials in medical field. Mater Today. 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.305.
- [12] RECKER F, JIN L, VEITH P, et al. Development and proof of concept of a low-cost ultrasound training model for diagnosis of giant cell arteritis using 3D printing. Diagnostics. 2021;11(6):1106.
- [13] INOUE M, FREEL T, VAN AVERMAETE A, et al. Color Enhancement Strategies for 3D Printing of X-ray Computed Tomography Bone Data for Advanced Anatomy Teaching Models. App Sci. 2020;10(5):1571.
- [14] ROUGHLEY M. PORES, Pimples and Pathologies: 3D Capture and Detailing of the Human Skin for 3D Medical Visualisation and Fabrication. Adv Exp Med Biol. 2020;1260:141-160.
- [15] BEZEK LB, CAUCHI MP, DE VITA R, et al. 3D printing tissue-mimicking materials for realistic transseptal puncture models. J Mech Behav Biomed Mater. 2020;110:103971.
- [16] 宋艳, 郑坤, 魏浩馨, 等. 足姿指数评估扁平足信度及在 3D 打印鞋垫中的应用 [J]. 中国组织工程研究, 2022,26(3):360-365
- [17] 魏浩馨, 王彩萍, 邓迁, 等. 3D 打印个性化颈椎矫治枕的设计与临床应用 [J]. 中国组织工程研究, 2021,25(36):5741-5746.
- [18] 鲁德志, 梅钊, 李向磊, 等. 3D 打印脊柱侧凸矫形器的数字化设计及效果评估 [J]. 中国组织工程研究, 2021,25(9):1329-1334.
- [19] 王金武, 王黎明, 左建强, 等. 3D 打印矫形器设计、制造、使用标准与全流程监管的专家共识 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2018,20(1):5-9.
- [20] 杨涵, 杨晓晓, 许苑晶, 等. 医学研究生“产学研医用”一体化教学方式的探索 [J]. 中华医学教育杂志, 2019,39(5):379-381.
- [21] 谭海涛, 黄国秀, 张其标. 数字医学与 3D 打印技术在外科临床教学中的应用进展 [J]. 中国医学创新, 2020,17(24):165-168.
- [22] 黄帅, 黄彦, 范子文, 等. 案例教学法结合 3D 打印技术在骨外科临床教学中的应用 [J]. 现代医院, 2018,18(12):1740-1742, 1745.
- [23] THOMAS DB, HISCOX JD, DIXON BJ, et al. 3D scanning and printing skeletal tissues for anatomy education. J Anat. 2016;229(3):473-481.
- [24] MATSUMOTO JS, MORRIS JM, FOLEY TA, et al. Three-dimensional physical modeling: applications and experience at mayo clinic. Radiographics. 2015;35(7):1989-2006.
- [25] 王峻峰, 孙志为, 王罡, 等. 3D 打印模型在肝脏肿瘤切除手术中的应用 [J]. 中国现代医学杂志, 2017,27(3):136-138.
- [26] CUCCHETTI A, QIAO GL, CESCONE M, et al. Anatomic versus nonanatomic resection in cirrhotic patients with early hepatocellular carcinoma. Surgery. 2014;155(3):512-521.
- [27] DENG C, YANG J, HE H, et al. 3D bio-printed biphasic scaffolds with dual modification of silk fibroin for the integrated repair of osteochondral defects. Biomater Sci. 2021;9(14):4891-4903.
- [28] SUN X, MA Z, ZHAO X, et al. Three-dimensional bioprinting of
- [29] LI C, WANG K, LI T, et al. Patient-specific scaffolds with a biomimetic gradient environment for articular cartilage-subchondral bone regeneration. ACS Applied Bio Materials. 2020;3(8):4820-4831.
- [30] TAN H, HUANG E, DENG X, et al. Application of 3D printing technology combined with PBL teaching model in teaching clinical nursing in congenital heart surgery: a case-control study. Medicine (Baltimore). 2021;100(20):e25918.
- [31] GUO XY, HE ZQ, DUAN H, et al. The utility of 3-dimensional-printed models for skull base meningioma surgery. Ann Transl Med. 2020;8(6):370.
- [32] 阮敏, 季彤, 张陈平. 3D 打印技术在口腔颌面 - 头颈肿瘤外科教学中的应用 [J]. 上海口腔医学, 2016,25(6):762-765.
- [33] YUAN Q, CHEN X, ZHAI J, et al. Application of 3D modeling and fusion technology of medical image data in image teaching. BMC Med Educ. 2021;21(1):194.
- [34] LI X, DAI X, GUO J, et al. Application of 3D Printing and WebGL-Based 3D Visualisation Technology in Imaging Teaching of Ankle Joints. Journal of Shanghai Jiao tong University (Science). 2021;26(3):319-324.
- [35] BARRIOS-MURIEL J, ROMERO-SÁNCHEZ F, ALONSO-SÁNCHEZ FJ, et al. Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: a technology review. Materials (Basel). 2020;13(2):295.
- [36] WONG KC. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. Orthop Res Rev. 2016;8:57-66.
- [37] CAZON A, KELLY S, PATERSON AM, et al. Analysis and comparison of wrist splint designs using the finite element method: multi-material three-dimensional printing compared to typical existing practice with thermoplastics. Proc Inst Mech Eng H. 2017;231(9):881-897.
- [38] 熊宝林, 周大伟, 徐静, 等. 3D 打印在假肢矫形器技术领域的应用前景初探 [J]. 中国康复, 2018,33(6):523-525.
- [39] 向丽, 吕麟亚. 门诊教学模式在小儿外科临床实习中的作用研究 [J]. 现代医药卫生, 2020,36(6):945-947.
- [40] 黄秋, 闫冰, 王永才, 等. 3D 打印骨骼模型在基层医院骨科实习教学中的应用初探 [J]. 中华医学教育探索杂志, 2017,16(11):1159-1163.
- [41] 马丽娜, 李耘. 3D 打印技术在医学教学中的应用 [J]. 医学教育理, 2020,6(3):263-268.
- [42] 徐徕, 林森勇, 胡丽君, 等. 借鉴与创新: 医疗器械注册人制度构建研究 [J]. 中国医疗器械杂志, 2019,43(3):192-196.
- [43] 张进, 王佳婧, 汤琴. 推动科研单位成果转化工作研讨 [J]. 黑龙江科学, 2021,12(10):151-153.
- [44] 侯建林, 李吉云, 罗友晖, 等. 转化学习理论在英美医学教育中的应用与启示 [J]. 基础医学与临床, 2021,41(4):619-622.
- [45] 李帅, 张强. 浅谈医工交叉趋势下医疗器械市场投资与发展机遇 [J]. 科技与金融, 2020,12(12):82-84.
- [46] 周佳, 施展, 沈燕婉. 转化医学实验平台建设与共享机制探讨 [J]. 中国医院管理, 2021,41(4):79-82.

(责任编辑: WJ, ZN, ZH)