

医学影像数据与3D打印技术

张亚茹¹, 陈焱君^{2,3}, 陈熙¹, 陈胜华¹, 黄文华^{1,2,3}

1. 南华大学医学院应用解剖与生殖医学研究所, 湖南 衡阳 421001; 2. 南方医科大学基础医学院人体解剖学国家重点学科, 广东省医学生物力学重点实验室, 广东省医学3D打印应用转化工程技术研究中心, 广东 广州 510515; 3. 南方医科大学第三附属医院, 广东省医学3D打印应用转化创新平台, 广东 广州 510630

【摘要】随着新材料和新技术的不断发展, 影像学数据和3D打印技术之间的联系越来越紧密。采集影像数据并进行三维数字化建模是实现医学3D打印的基础。本文综述了3D打印技术及基于影像学数据所生成的三维模型在临床领域的应用。最后, 对影像学技术和3D打印技术在未来的发展前景做了简要论述。

【关键词】3D打印; 影像诊断; 计算机辅助; 综述

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)05-0566-05

Medical imaging data and 3D printing technology

ZHANG Yaru¹, CHEN Yanjun^{2,3}, CHEN Xi¹, CHEN Shenghua¹, HUANG Wenhua^{1,2,3}

1. Clinical Anatomy & Reproductive Medicine Application Institute, School of Medicine, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Guangdong Engineering Research Center for Translation of Medical 3D Printing Application, Guangdong Provincial Key Laboratory of Medical Biomechanics, National Key Discipline of Human Anatomy, School of Basic Medical Sciences, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 3. Guangdong Innovation Platform for Translation of 3D Printing Application, the Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510630, China

Abstract: With the continuous development of new materials and new technology, the relationship between imaging data and 3D printing technology is getting closer than ever before. Image data acquisition and 3D digital modeling are the basis of medical 3D printing. Herein the clinical applications of 3D printing technology and 3D models generated based on imaging data are reviewed, and finally, the development prospects of imaging technology and 3D printing technology in the future are briefly discussed.

Keywords: 3D printing; imaging diagnosis; computer-aided; review

前言

3D打印以其独特的设计、高度的复杂性和精准性的制造方法, 已成为医学应用中广泛采用的制造技术。随着影像学技术的成像方法不断丰富, 数据采集的时间分辨率和空间分辨率不断提高, 让我们逐步进入了一个全新意义上的数字医学时代^[1]。3D

打印技术与医学影像技术的结合, 为现代临床医学的发展打开了一片新的领域, 也促进了3D打印进入一个新的发展方向。

1 3D打印简介

3D打印技术, 又称增材制造、快速成型技术, 作为一种创新技术, 3D打印技术通过分层铺设连续的液体、粉末或薄板材料层, 利用影像学数据和三维计算机模型重建三维触觉物理模型, 其优点是几乎可以创造出任何复杂的形态结构^[2]。

1.1 打印技术

目前主流的技术主要有熔融层积成型技术、激光照射固化、选择性激光烧结、电子束熔融技术、激光近净成型技术、激光成型技术、选择性激光熔化等, 可以直接或间接进行各种满足需求的材料的加工^[3]。

【收稿日期】2020-12-19

【基金项目】国家重点研发计划(2017YFC1103400); 广东省科技计划项目(2016B090917001, 2017B090912006); 深圳市医疗卫生“三名工程”高层次医学团队(SZSM201612019)

【作者简介】张亚茹, 主要研究方向: 骨关节病变影像学诊断、3D打印, E-mail: 2860081956@qq.com

【通信作者】黄文华, 教授, 主要研究方向: 人体解剖学、数字医学、医学3D打印, E-mail: huangwenhua2009@139.com

1.2 打印材料

在生物医疗领域,常用的3D打印材料大概分为4类:一是非金属材料,常用材料有塑料、陶瓷、橡胶等,其中以热塑性塑料最为常用,除了丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物、聚乳酸、尼龙等常见的塑料类型,目前聚砜、亚克力等也开始应用于3D打印;其二为金属材料,常用材料有钴铬合金、钛合金、不锈钢、铝合金等,目前应用较多的为钛合金打印的个性化假体植入物;其三为高分子材料,目前常用材料有聚四氟乙烯、聚ε-己内酯、非聚氯乙烯、聚丙烯腈,以及医用硅橡胶等天然高分子,具备良好的加工物理机械性能和生物相容性的特点,可作为直接接触人体组织、体液或植入物的打印材料,具有广阔的应用前景;第四为生物复合材料,如水凝胶材料、活体细胞-生物墨水、生物组织和细胞等,其用不同材料组合而成的复合材料,多用于人工器官、组织修复等领域,具有良好的生物相容性^[4]。

2 医学影像学数据在3D打印中的应用进展

2.1 心血管系统

影像数据在心血管领域主要涉及结构重建及对血管解剖的理解。3D打印建模技术对房间隔缺损、室间隔缺损、法洛四联症等先天性心脏病患者的帮助最大。张文卿等^[5]对2例主动脉疾病患者进行CT增强扫描,并生成复杂主脉瘤和主动脉夹层的3D打印模型(图1),准确复制了主动脉瘤和主动脉夹层的解剖结构细节,可以清晰观察到真假腔范围及内膜片,所以3D打印模型对主动脉夹层解剖细节是可行的;胡立伟等^[6]利用磁共振三维稳态自由进动序列构建的心脏3D模型与对比增强磁共振血管造影序列相比,更能清晰显示患儿右心房内膜增厚及卵圆孔房间隔缺损情况;黄佳等^[7]应用基于时间空间相关成像技术获取的超声容积数据进行胎儿心脏3D打印,可直观显示胎儿心脏腔室形态以及大血管走行。

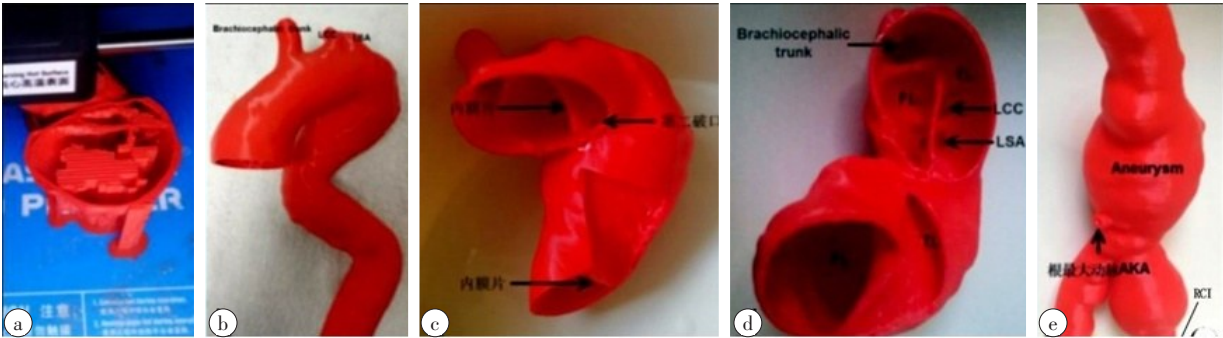


图1 主动脉夹层的3D打印模型

Fig.1 3D printed models of aortic dissection

a: 主动脉夹层的3D模型;b: B型主动脉夹层模型;c: 主动脉夹层真假腔、内膜片、小的第二突破口;d: 夹层内膜片走行改变及左颈总动脉(LCC)和左锁骨下动脉(LSA)受累的情况;e: 腹主动脉瘤模型背侧面观

2.2 骨关节系统

基于影像数据的3D打印模型主要用来呈现复杂骨折/肿瘤等病变的实体再现以及关节模型等。郝玉升等^[8]学者基于CT三维数字影像的3D打印技术打印出的1:1的胫骨平台骨折模型,并在此模型上模拟手术,缩短了医师手术时间,明显改善了术中出血量。但CT电离辐射的潜在风险仍然是一个令人担忧的问题,最好的替代方法是在可能的情况下使用非电离成像方法。Eley等^[9-11]用“黑骨”MRI骨成像序列(图2)作为CT的非电离的替代,利用小翻转角梯度回波3D容积序列,并抑制水和脂肪的信号,提高骨和其他组织之间的灰度对比(图2),在13例临床诊断为颅缝未闭的儿童中,利用“黑骨”MRI序列进行扫描,未闭颅缝显示为信号增强的区域^[10],结果与CT诊断一致(图3a~图3c)。Eley等^[11]在最新研究中开

发了一种全自动颅面骨骼分割算法应用于数据集,大大节省了模型生产时间,认为其在未来可能代替CT作为诊断颅缝早闭症、儿童颅骨骨折的手段。

2.3 神经系统

在神经外科领域,MRI则提供了更好的组织之间对比度及病灶与软组织之间的高精确度,除了常规序列提供的形态学信息之外,一些功能成像方法为3D打印建模提供了更加丰富的数据来源。Pacione等^[12]利用MRI T₁增强序列结合弥散加权成像(DWI)功能信息,制造了一个81岁女性的3D脑膜瘤模型(图4),用来术前评估;Wang等^[13]利用弥散张量成像(DTI),以CT或MRI T₁加权序列作为参考,从DTI生成纤维束并导出3D模型(图5),这个过程使纤维束与颅骨、脑表面、病灶或血管在同一三维模型中结合起来,可用来局灶性癫痫的术前计划,以尽量减少对皮质脊髓通路的损害。

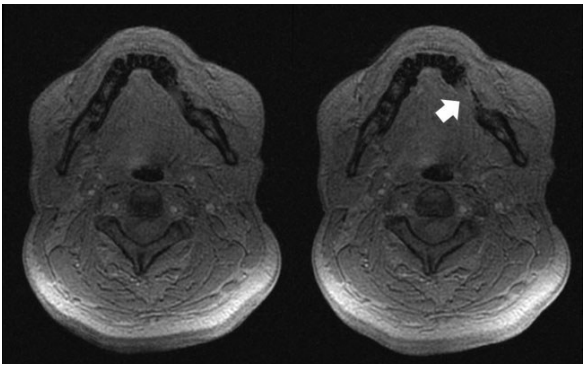


图2 某一患者的轴位“黑骨”图像,显示左下颌骨角化囊肿下缘内侧骨皮质变薄和缺失(箭头所示)

Fig.2 An axial "black bone" image of a patient, showing thinning and loss of cortical bone at the medial side of the lower margin of the keratocysts of the left mandible (arrow)

2.4 呼吸系统

3D 打印在呼吸系统的应用同样也有不同的文献报道。Dong 等^[14] 基于患者的胸部 CT 数据,使用 FDM 技术制作了肺 3D 打印模型,有助于提取病人的解剖细节;李冠等^[15] 用低辐射剂量、低浓度对比剂来获得相同质量肺静脉 3D 打印模型(图 6),该血管模型光滑平整,结构清楚,符合临床需求,并且减少了对患者的辐射伤害,可以帮助临床医生对房颤患者更好地实施射频消融肺静脉电隔离术。

2.5 泌尿生殖系统

在传统临床手术中,外科医生主要根据基本影像数据对肾肿瘤评分,从而来制定手术方案,很难迅速对不同肿瘤产生感性认识,而 3D 打印技术可以直观显示

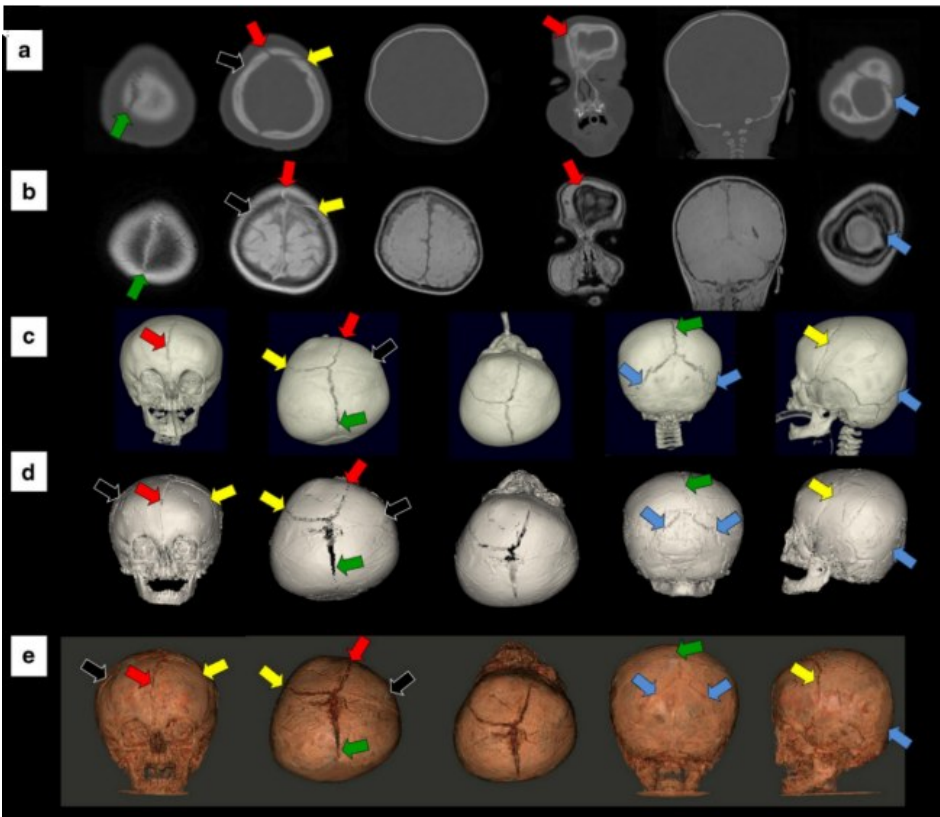


图3 1例伴有右侧滑膜病变的儿童轴位及冠状面 CT(a),轴位及冠状面“黑骨”MRI(b)、3D CT(c)、使用 Mimics 的 3D“黑骨”成像(d)和 Fovia 成像(e),缝合处以箭头表示(矢状缝=绿色;冠状缝=黄色;人字缝=蓝色;额骨缝合=红色)而滑膜病变部位用黑箭头表示

Fig.3 The axial and coronal CT (a), axial and coronal "black bone" MRI (b), 3D CT (c), 3D "black bone" imaging using Mimics (d) and Fovia imaging (e) of a child with right synovial lesion. The suture lines were indicated by arrows (sagittal suture=green; coronal suture=yellow; Herringbone=blue; frontal suture=red) and synovial lesions were shown by black arrows

肾肿瘤的位置关系。Wake 等^[16] 利用 CT 图像和脂肪抑制梯度回波 T₁ 加权成像,成功制造出包含肾、肾肿瘤、肾动静脉和集合系统的肾脏模型,加强外科医生术前对肾脏肿瘤的准确认知定位,增加外科医生对手术入路的熟练程度;Rutkowski 等^[17] 对前列腺癌患者进行 PET-MRI 检查,成功打印出前列腺模型(图 7),此模型被用来判断特定病人的切割指南。

2.6 颌面外科系统

3D 打印技术在颌面部领域的应用时间较早,主要涉及整形外科,但颌面部修复重建要求高、难度大,为解决这样的临床问题,利用影像数据所制作的 3D 打印模型^[18] 可以更好地帮助外科医生进行诊断和治疗。汤轶强等^[19] 通过 CT 数据所制作的一种个体化腔内施源器,置入鼻咽腔后可以完全与鼻咽壁完

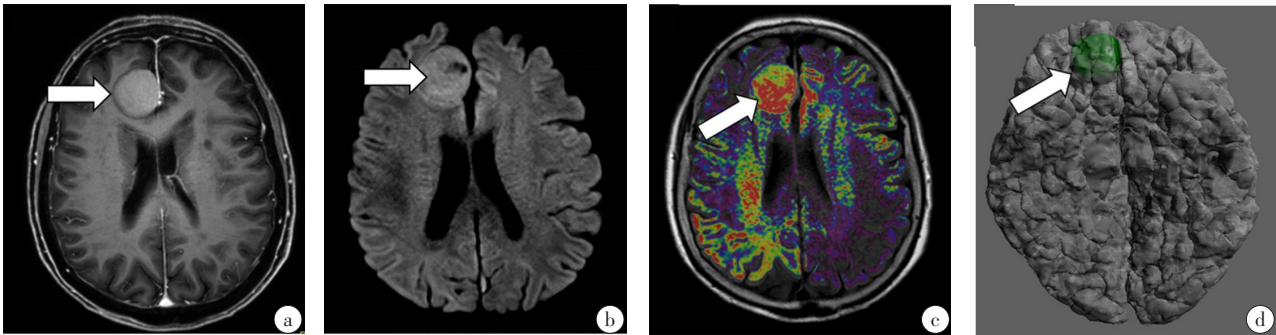


图4 右额叶脑膜瘤

Fig.4 Right frontal meningioma

a:轴位T₁增强图像显示右侧矢状窦旁额叶病变(箭头所示);b:轴位DWI显示脑膜瘤内水分扩散严重受限(如箭头所示),提示了高细胞病变;
c:DWI的功能图像和T₁WI图像的融合图像与脑膜瘤后部细胞增生(箭头)的高相关性;d:3D模型融合了来自形态学MRI的解剖信息和来自DWI的功能信息

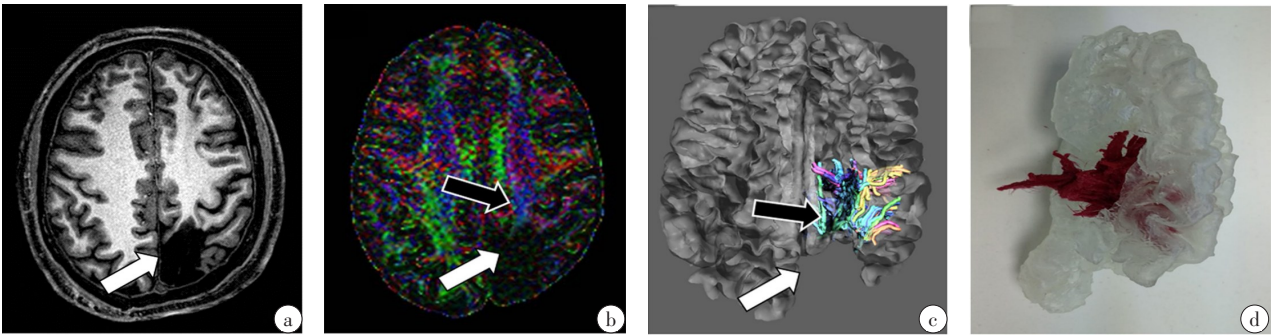


图5 左枕区大脑软化症

Fig.5 Left occipital encephalomalacia

a:轴位T₁加权显示大脑软化症的左顶枕区(箭头所示);b:由DTI采集得到的彩色编码分数各向异性图,表明左放射冠后束受累(白色箭头),皮质脊髓束明显保留(黑色箭头);c:形态学MRI和DTI图像的融合,白质束(黑箭头)和术后腔(白色箭头);d:3D打印模型



a:A组(低剂量组)肺静脉3D打印结果图



b:B组(常规剂量组)肺静脉3D打印结果图

图6 肺静脉3D打印模型

Fig.6 3D printed models of pulmonary veins

全贴合,并且可以自行固定、重复使用,有助于鼻咽癌患者的治疗;Sirin等^[20]发现依据锥形束计算机断层扫描数据所制作的3D模型可以为颌面外科医生诊断颧骨、眶部骨折提供有效和可靠的诊断鉴别方法。

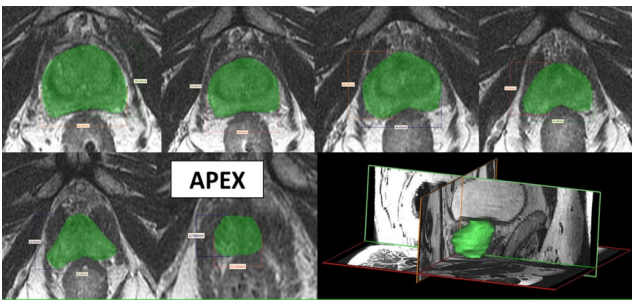


图7 轴斜位MRI T₂加权像化学激素治疗后的前列腺

Fig.7 Axial oblique MRI T₂-weighted image of the prostate after chemo-hormone therapy

3 影像技术和3D打印技术的不足与展望

基于影像数据所制作的3D打印模型在医学领域具有明显的优势,但同时也存在不足之处:首先,基于CT和磁共振扫描数据,其分辨率并非完全达到医学建模的要求,需要选择最佳的成像参数,因此其质量可能会未达到临床要求;其次,目前大部分3D建模还是采用单一模态的影像学数据,而组织器官结构复杂,单一模态

的数据往往难以将组织结构信息完整再现;再次,一个简单的模型耗时较长,打印机成本高,不适于作为急诊手术的辅助诊断;最后,缺乏成熟的法律制度来规范3D打印产品的专利权及著作权。

就目前来看,医学3D打印技术方面的研究成果正如雨后春笋般不断出现。医用3D打印材料,特别是生物高分子材料有很大的发展前景。据了解,目前利用高分子材料已经成功制作出人造假体、人造皮肤、宫内节育器、人造耳朵等^[21]。英国纽卡斯尔大学遗传医学研究所研究人员利用3D打印技术打印出成型的人体角膜,但其尚未经人体试验,一旦打印出的角膜被证明能用于人体移植,这一技术将造福于人类^[22]。基于常规影像技术发展起来的新技术,如能谱CT、CT灌注、DWI、磁共振神经成像、ASL、PET-CT、PET-MRI以及新的图像分割配准方法,也在不断拓展数据获取的途径和方法。如何选择最佳的成像方法或参数和图像重建后处理技术关乎模型的成败,如何提高成像数据采集、图像后处理以及合理利用各种技术是以后要关注的方向。

综上所述,医学影像、三维建模、3D打印无缝衔接是大势所趋,鉴于其巨大潜力,3D打印机和打印材料种类的增加将导致更快速和简化的软件分割和更先进的计算分析,将会对医疗领域的发展产生深远影响。

【参考文献】

- [1] 钟世镇, 欧阳钧. 我国数字医学概况[J]. 中华烧伤杂志, 2016, 32(1): 3-5.
- [2] ZHONG S Z, OU Y J. Overview of digital medicine in China[J]. Chinese Journal of Burns, 2016, 32(1): 3-5.
- [3] MACDONALD E, WICKER R. Multiprocess 3D printing for increasing component functionality[J]. Science, 2016, 353(6307): aaf2093.
- [4] 李客楼, 李宗安, 朱莉娅, 等. 3D打印技术在医疗领域的应用进展[J]. 机械设计与制造工程, 2016, 45(9): 11-16.
- [5] LI K L, LI Z A, ZHU L Y, et al. The application progress of 3D printing technology in the medical field[J]. Mechanical Design and Manufacturing Engineering, 2016, 45(9): 11-16.
- [6] SALARIS F, COLOSI C, BRIGHI C, et al. 3D bioprinted human cortical neural constructs derived from induced pluripotent stem cells[J]. J Clin Med, 2019, 8(10): 1595.
- [7] 张文卿, 杨航, 夏洪涛, 等. 基于CT增强3D打印技术在腹主动脉瘤和B型主动脉夹层中的应用(附2例报道)[J]. 放射学实践, 2020, 35(4): 560-563.
- [8] ZHANG W Q, YANG H, XIA H T, et al. Application of CT enhanced 3D printing in abdominal aortic aneurysm and B-type aortic dissection (report of 2 cases)[J]. Radiology Practice, 2020, 35(4): 560-563.
- [9] 胡立伟, 白凯, 钟玉敏, 等. 磁共振成像技术在3D打印先天性心脏病建模中的应用[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2016, 22(4): 356-360.
- [10] HU L W, BAI K, ZHONG Y M, et al. Application of magnetic resonance imaging in 3D printing of congenital heart disease modeling[J]. Chinese Journal of Medical Computer Imaging, 2016, 22(4): 356-360.
- [11] 黄佳, 石华, 陈茜, 等. 基于时间空间相关成像技术容积数据3D打印胎儿心脏模型的可行性研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2020, 29(2): 110-117.
- [12] HUANG J, SHI H, CHEN X, et al. Feasibility study of 3D printing fetal heart model based on volume data of time-space related imaging technology[J]. Chinese Journal of Ultrasound Imaging, 2020, 29(2): 110-117.
- [13] 郝玉升, 刘巍, 王臣, 等. 3D打印技术在复杂胫骨平台骨折临床诊治中的应用[J]. 临床和实验医学杂志, 2019, 18(1): 108-111.
- [14] HAO Y S, LIU W, WANG C, et al. Application of 3D printing in clinical diagnosis and treatment of complex tibial plateau fractures[J]. Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2019, 18(1): 108-111.
- [15] ELEY K A, WATT-SMITH S R, GOLDING S J. 'Black bone' MRI: a potential alternative to CT when imaging the head and neck: report of eight clinical cases and review of the Oxford experience[J]. Br J Radiol, 2012, 85(1019): 1457-1464.
- [16] ELEY K A, WATT-SMITH S R, SHEERIN F, et al. 'Black Bone' MRI: a potential alternative to CT with three-dimensional reconstruction of the craniofacial skeleton in the diagnosis of craniosynostosis[J]. Eur Radiol, 2014, 24(10): 2417-2426.
- [17] ELEY K A, DELSO G. Automated segmentation of the craniofacial skeleton with 'Black Bone' magnetic resonance imaging[J]. Craniofac Surg, 2020, 31(4): 1015-1017.
- [18] PACIONE D, TANWEER O, BERMAN P, et al. The utility of a multimaterial 3D printed model for surgical planning of complex deformity of the skull base and craniovertebral junction[J]. Neurosurgery, 2016, 125: 1194-1197.
- [19] WANG D, MA D, WONG M L, et al. Recent advances in surgical planning and navigation for tumor biopsy and resection[J]. Quant Imaging Med Surg, 2015, 5: 640-648.
- [20] DONG D, LEE S, KIM G B, et al. Development of a CT imaging phantom of anthropomorphic lung using fused deposition modeling 3D printing[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(1): e18617.
- [21] 李冠, 黄伟, 曹东兵, 等. 双低剂量CT引导的肺静脉3D建模打印的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(12): 2104-2107.
- [22] LI G, HUANG W, CAO D B, et al. Feasibility study of 3D modeling and printing of pulmonary vein guided by dual low-dose CT[J]. Journal of Clinical Radiology, 2018, 37(12): 2104-2107.
- [23] WAKE N, WYsock J S, BJURLIN M A, et al. 'Pin the tumor on the kidney:' an evaluation of how surgeons translate CT and MRI data to 3D models[J]. Urology, 2019, 131: 255-261.
- [24] RUTKOWSKI D R, WELLS S A, JOHNSON B, et al. MRI-based cancer lesion analysis with 3D printed patient specific prostate cutting guides[J]. Am J Clin Exp Urol, 2019, 7(4): 215-222.
- [25] 王见, 张晓东. 基于MRI的3D打印技术: 临床应用中的优势与前景[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(30): 4897-4904.
- [26] WANG J, ZHANG X D. Magnetic resonance imaging-based 3D printing technology: advantages and prospects in clinical application[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2019, 23(30): 4897-4904.
- [27] 汤轶强, 曾雷, 教帆, 等. 3D打印个体化施源器鼻咽癌腔内后装治疗应用初探[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(3): 211-214.
- [28] TANG Y Q, ZENG L, AO F, et al. Preliminary exploration of 3D printed individualized applicator for 3D-image-guided intracavitary HDR-brachytherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(3): 211-214.
- [29] SIRIN Y, YILDIRIMTURK S, HORASAN S, et al. Direct three-dimensional diagnosis of *ex vivo* facial fractures[J]. J Craniofac Surg, 2019, 30(5): e420-e424.
- [30] GHILAN A, CHIRIAC A P, NITA L E, et al. Trends in 3D printing processes for biomedical field: opportunities and challenges[J]. J Polym Environ, 2020, 28(5): 1345-1367.
- [31] 陈红. 英国研究出3D打印人类眼角膜新材料[J]. 计算机与网络, 2018, 44(12): 10.
- [32] CHEN H. England has developed a new 3D printing material for human corneas[J]. Computer and Network, 2018, 44(12): 10.

(编辑:陈丽霞)