

DOI:10.16781/j.0258-879x.2018.02.0199

• 综述 •

3D 打印技术在泌尿外科的应用进展

王志向^{1,2}, 王林辉^{1*}

1. 第二军医大学长征医院泌尿外科, 上海 200003

2. 解放军 458 医院泌尿外科, 广州 510602

[摘要] 近些年, 3D 打印技术因其低成本和个性化设计的优势在医疗领域的应用取得了重要进展。在临床, 3D 打印模型可用于术前评估决策、手术培训和医疗设备研发等。目前已有许多关于 3D 打印技术或者 3D 打印材料等在泌尿外科领域应用的报道。在未来, 3D 打印技术将在泌尿外科领域中发挥越来越重要的作用。本文综述了国内外 3D 打印技术在泌尿外科的应用进展, 并展望了 3D 打印技术在泌尿外科领域的应用前景。

[关键词] 三维打印; 泌尿外科学; 解剖模型; 医疗设备

[中图分类号] R 69 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2018)02-0199-04

Application of three-dimensional printing in urology: a recent progress

WANG Zhi-xiang^{1,2}, WANG Lin-hui^{1*}

1. Department of Urology, Changzheng Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200003, China

2. Department of Urology, No. 458 Hospital of PLA, Guangzhou 510602, Guangdong, China

[Abstract] Recently, three-dimensional (3D) printing gains a lot of attention in the medical field for its potential benefits in manufacturing low-cost and personalized surgical devices. 3D printing models can be applied in pre-operative planning, surgical training and medical equipment development. Many researches have reported that 3D printing technology and 3D printing materials had been used in the field of urology. 3D printing may be a useful and cost-effective tool in the field of urology in the future. Herein, we reviewed the current applications of 3D printing and outlooked the application prospect of 3D printing technology in the field of urology.

[Key words] three dimensional printing; urology; anatomy model; medical device

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2018, 39(2): 199-202]

早在 30 多年前就已提出通过层层叠加的方法打印三维物体。近 10 年来, 随着 3D 打印技术的进步, 用于 3D 打印的材料研究迅速发展, 三维影像信息采集和三维立体重建技术也取得了长足的进步。3D 打印技术结合医疗现实的需要进行技术的整合, 在临床及基础研究中颇具优势, 已取得很大进展^[1]。

传统工业生产需要定制模具和生产线, 耗费巨大; 而纯手工制作虽无需特定的生产线和模具, 但无法批量生产。3D 打印技术兼顾两者的优点, 既成本相对较低, 又能够形成一定规模的量产, 并保证质量的统一性。随着医学影像学的发展, 三维信息采集越来越方便, 实现个性化定制的难度大大降低, 所需人力、物力和时间也大为减少, 特别适

合器械、设备的初期研发和效果评估阶段, 也特别适合临床有针对性地个性化定制医疗装置。本文主要对 3D 打印技术在泌尿外科的应用作一综述, 并对其应用前景进行展望。

1 3D 打印的实施步骤和医学图像采集特点

和医学相关的 3D 打印技术通常涉及医学影像图像的采集、数据的处理等。其主要过程分为 5 步: 通过医学影像学检查获得的初期数据、进行数据的编辑整理、进行三维重建、转化为 STL 文件、数据输入 3D 打印机进行 3D 打印^[2]。当然也可以直接通过计算机软件设计出产品的数据文件进行 3D 打印。

目前, 临床上已经报道的用于 3D 打印技术的

[收稿日期] 2017-06-15 **[接受日期]** 2017-09-17

[作者简介] 王志向, 博士, 主治医师。E-mail: wangzhixiangsmmu@hotmail.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81885721, E-mail: wanglinhuicz@163.com

图像信息采集主要包括 CT^[3]、MRI^[4]、B 超^[5-6]等。这些图像采集方法各有其优缺点。

目前最新的多螺旋 CT 技术可以做到薄层扫描,能方便地获取目标区域的横断面、矢状面、冠状面的图像信息,再通过数据处理、三维重建转换成 3D 打印所需的数据格式。在医学相关的 3D 打印技术领域,CT 采集图像目前是和患者相关应用得最广泛的图像采集方法。但由于 CT 成像只能区分不同 CT 值,即使通过造影剂等可以突出相应的部位,但在显示某些特殊组织部位时仍存在辨别不清等缺点。

MRI 技术由于选择的波谱较多,对软组织病变有明显的优势。因此临床上采集 MRI 图像进行三维重建也是较为常见,但由于 MRI 图像分辨率较低,因此 3D 打印效果往往不够精细。

B 超可以方便地在各个切面进行转换,能从多个角度进行目标区域图像的采集。但由于采集过程中人为因素影响较大,后期图像数据合成存在一定困难。虽然如此,三维 B 超技术的出现仍为采集三维图像数据提供了便利。

2 3D 打印技术的进展

打印技术的发展主要体现在打印材质的多样化、各种特性填充材料迅速发展以及冲洗技术的成熟等方面。塑料是 3D 打印领域最广泛的目标打印物材质,但目前打印的材质已经不局限于塑料。常用的其他材料包括玻璃、树脂、硅胶、各种光敏材料,甚至各种金属如钢、不锈钢、钛、金属液滴等都已经应用到 3D 打印中。而且部分材质还可以设计出不同颜色、不同透明度、不同的硬度和质感等,以配合打印目标物的要求。随着技术的进步,近几年出现了一些更新型的 3D 打印材料,如软材质、纳米材料、半导体纳米材料、水凝胶、药品等^[7]。已经有学者以细胞为“喷墨滴”、明胶为基质,用细胞进行 3D 打印的组织能够保持细胞良好活力^[8-9]。

3 3D 打印技术在泌尿外科中的应用

3D 打印技术可以被融合到几乎所有的临床诊疗过程中,如组织器官解剖和功能的替代、个体化医疗器械的开发、制造和置入以及新的医疗设备的研究。目前 3D 打印技术已经应用于解剖模型打印、组织工程组织重建、定制药片等领域^[7,10-12]。3D 打印技术在泌尿外科的应用主要包括以下几个

方面:解剖模型、医疗器械研发、组织工程及相关基础研究。

3.1 3D 打印解剖模型 解剖模型的 3D 打印是通过收集患者特定部位组织和器官的影像学信息,将数据处理后进行 3D 打印,打印物能达到和目标组织器官一致的三维立体效果。目前此项技术主要用于术前医患沟通、手术规划、临床教学等目的。

3.1.1 术前医患沟通 通常患者由于医疗知识有限无法对连续的二维图像产生立体的印象,但依靠 3D 打印模型可以很直观地了解病变部位、大小以及相关组织解剖毗邻关系等,更有利于医患沟通。Bernhard 等^[13]通过术前 3D 打印个体化的肾脏肿瘤模型与患者沟通,结果通过配合 3D 打印模型的有效讲解,患者对肾脏生理、解剖、肿瘤及手术相关知识的理解得到明显提升。Silberstein 等^[14]认为通过术前 3D 打印肾脏肿瘤模型可以让术者更好地了解手术部位的情况,包括肿瘤的深度、大小以及与周围器官组织的关系等,同时更好地理解肾脏部分切除术。王东文等^[15]也认为,术前打印肾脏肿瘤模型进行医患沟通有效提升了患者及其家属对疾病和手术的认识。

3.1.2 手术规划 肾癌领域:2014 年 Silberstein 等^[16]对 5 例肾脏肿瘤患者术前数据进行 3D 打印,触手可及的 3D 模型远远要比连续的二维影像更直观。他们认为 3D 模型如果能够在术前进行“模拟手术”,理论上可以对复杂高难度手术进行针对性练习,以达到减少手术并发症、改善患者预后的目的。国内多位学者也在肾癌相关领域进行了初步研究,葛宏伟等^[17]于 2014 年开展了 3D 打印技术在肾肿瘤手术规划中的应用研究,他们认为 3D 打印有助于医师进行手术规划及与患者沟通病情;刘溪等^[18]研究了 3D 打印联合术中超声定位内生型肾肿瘤在腹腔镜下保留肾单位手术中的应用,认为 3D 打印模型可以指导术中切除范围,对手术规划具有一定帮助。

前列腺癌领域:Shin 等^[14]收集了 5 例前列腺患者的 MRI 图像进行 3D 打印,用于了解患者前列腺包膜、性神经及与病变区域的关系,以帮助制定保留性神经手术方案。他们认为,3D 打印的前列腺肿瘤模型可以较好地反映肿瘤和前列腺外后方性神经之间的关系,对保留性神经的前列腺根治术能起到很好的提示作用。王燕等^[19]研究了 3D 打印技术辅助认知融合在前列腺穿刺活检组织检查术中的应用,认为 3D 打印可以提高穿刺阳性率。

泌尿系结石领域:魏晓松等^[20]认为,术前 3D

打印出肾脏和周围解剖模型, 以及了解结石大小、形状及与第 12 肋的关系在经皮肾穿刺的术前规划和医患沟通中起到了积极作用。汤润等^[21]在经皮肾镜碎石术前进行 3D 打印, 认为 3D 打印出的肾脏真实还原了患者肾脏及结石的解剖细节, 为医师提供了立体、直观的器官解剖模型, 对手术规划和教学模拟穿刺有积极意义。

其他的应用报道还包括: 骶丛神经穿刺和重复肾部分切除等。顾寅珺等^[22]通过术前 3D 打印出个性化的穿刺导航模板, 辅助进行骶神经调控术的精确穿刺, 结果穿刺的次数明显减少、穿刺时间缩短、术中调控测试的效率提高。胡立伟等^[23]报道了 1 例 3D 打印模型在重复肾手术中的应用, 他们认为此方法对手术方案制定、术中预判等有重要的意义。

3.1.3 临床教学 Cheung 等^[24]在 2014 年通过 3D 打印进行肾盂成形术的教学取得了预期效果。3D 打印模型临床教学被证实是一种效果良好的教学手段^[25]。

3.2 3D 打印在泌尿外科医疗器械研发中的应用 3D 打印和其他技术融合后衍生出很多产品, 其中利用 3D 打印技术进行外科医疗器械的研发就是重要的一项。由于 3D 打印技术具有相对廉价并可个性化定制的优势, 3D 打印技术在医疗器械的个性化定制、产品初期评估、生产等方面均具有优势。

在泌尿外科领域, 3D 打印技术已被应用于腹腔镜 Trocar、输尿管支架管和肾脏模型的研发^[26-27]。Priester 等^[28]用 3D 打印技术制作切片装置, 达到了前列腺癌 MRI 图像和病理切片精确对合的目的。Del Junco 等^[29]通过电脑软件自行设计并 3D 打印出与传统输尿管支架管进行流体动力学无差别的输尿管支架管, 并认为 3D 打印的输尿管支架管由于材质和个体化设计在功能上比传统支架管更具优势。Park 等^[30]通过 3D 打印设计出了抗反流的输尿管支架管。研究表明, 3D 打印技术是一种有效的设计制造医疗器械方法。

3.3 3D 打印仿生支架材料、组织工程在泌尿外科的应用 骨科的骨支架和骨组织工程中 3D 打印技术的应用起步早, 也在多个支架材料和骨组织工程构建中取得了良好的效果。2003 年, Boland 等^[31]提出了以细胞和凝胶作为“喷墨滴”进行 3D 打印, 用活细胞打印组织器官。Partridge 等^[32]在 2012 年对肾脏的 3D 打印进行了初步探索, 虽然他们没有制备出具有生理功能的肾脏, 但为其后 3D

打印肾脏积累了重要经验。目前在泌尿外科领域还没有组织工程方面的报道, 由于尿道、输尿管组织结构相对简单, 进行组织工程、替代治疗等研究已有报道, 相信尿道、输尿管及膀胱将可能是未来泌尿外科 3D 打印技术和组织工程融合发展的前沿阵地。

4 展 望

3D 打印是一种有效的手段, 为制造个性化定制产品提供了一种可选择的方式。随着 3D 打印技术与新型材料和其他各种技术的融合, 可以衍生出各种新的产品如支架、培训器具、解剖模型、手术器械等, 在泌尿外科具有良好的发展前景。3D 打印技术在泌尿外科领域的应用中, 最期待的是选取患者自身细胞培养后进行组织、器官的 3D 打印, 然后进行器官移植, 这将对泌尿外科现有的治疗理念产生颠覆, 为临床治疗带来崭新的未来。

[参考文献]

- [1] FULLERTON J N, FRODSHAM G C, DAY R M. 3D printing for the many, not the few[J]. *Nat Biotechnol*, 2014, 32: 1086-1087.
- [2] MARRO A, BANDUKWALA T, MAK W. Three-dimensional printing and medical imaging: a review of the methods and applications[J]. *Curr Probl Diagn Radiol*, 2016, 45: 2-9.
- [3] VELEZ E, BOYER N, ACEVEDO-BOLTON G, HOPE M D, BOYLE A. CT-reconstructed three-dimensional printed models of the right subclavian artery and aorta define age-related changes and facilitate benchtop catheter testing[J]. *J Invasive Cardiol*, 2014, 26: E141-E144.
- [4] SHIN T, UKIMURA O, GILL I S. Three-dimensional printed model of prostate anatomy and targeted biopsy-proven index tumor to facilitate nerve-sparing prostatectomy[J]. *Eur Urol*, 2016, 69: 377-379.
- [5] MAHMOOD F, OWAIS K, MONTEALEGRE-GALLEGOS M, MATYAL R, PANZICA P, MASLOW A, et al. Echocardiography derived three-dimensional printing of normal and abnormal mitral annuli[J]. *Ann Card Anaesth*, 2014, 17: 279-283.
- [6] KAPUR K K, GARG N. Echocardiography derived three-dimensional printing of normal and abnormal mitral annuli[J]. *Ann Card Anaesth*, 2014, 17: 283-284.
- [7] First 3D-printed pill[J/OL]. *Nat Biotechnol*, 2015, 33: 1014. doi: 10.1038/nbt1015-1014a.
- [8] MULLER M, BECHER J, SCHNABELRAUCH M, ZENOBI-WONG M. Printing thermoresponsive reverse molds for the creation of patterned two-component hydrogels for 3D cell culture[J/OL]. *J Vis Exp*, 2013(77):

- e50632. doi: 10.3791/50632.
- [9] BILLIET T, GEVAERT E, DE SCHRYVER T, CORNELISSEN M, DUBRUEL P. The 3D printing of gelatin methacrylamide cell-laden tissue-engineered constructs with high cell viability[J]. *Biomaterials*, 2014, 35: 49-62.
- [10] O'BRIEN C M, HOLMES B, FAUCETT S, ZHANG L G. Three-dimensional printing of nanomaterial scaffolds for complex tissue regeneration[J]. *Tissue Eng Part B Rev*, 2015, 21: 103-114.
- [11] KATAKAM P, DEY B, ASSALEH F H, HWISA N T, ADIKI S K, CHANDU B R, et al. Top-down and bottom-up approaches in 3D printing technologies for drug delivery challenges[J]. *Crit Rev Ther Drug Carrier Syst*, 2015, 32: 61-87.
- [12] LEE J W, CHO D W. 3D Printing technology over a drug delivery for tissue engineering[J]. *Curr Pharm Des*, 2015, 21: 1606-1617.
- [13] BERNHARD J C, ISOTANI S, MATSUGASUMI T, DUDDALWAR V, HUNG A J, SUER E, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education[J]. *World J Urol*, 2016, 34: 337-345.
- [14] SILBERSTEIN J L, THOMAS R. Reply: to PMID 24962843[J/OL]. *Urology*, 2014, 84: 273. doi: 10.1016/j.urology.2014.03.048.
- [15] 王东文,张彬,原小斌,张旭辉,荆强. 3D打印联合3D虚拟技术提高患者对肾部分切除术认知理解的临床分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2017, 38: 127-130.
- [16] SILBERSTEIN J L, MADDOX M M, DORSEY P, FEIBUS A, THOMAS R, LEE B R. Physical models of renal malignancies using standard cross-sectional imaging and 3-dimensional printers: a pilot study[J]. *Urology*, 2014, 84: 268-272.
- [17] 葛宏伟,张弋,李宁忱,于澄飏,果宏锋,柳金顺,等. 3D打印技术在肾肿瘤手术规划中的应用研究初探[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2014, 35: 659-663.
- [18] 刘溪,黄海,潘秀武,干思舜,李霖,吕建敏,等. 3D打印联合术中超声定位内生型肾肿瘤在腹腔镜下保留肾单位手术中的应用[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2016, 37: 870.
- [19] 王燕,高旭,阳青松,王海峰,施挺,朱峰,等. 3D打印技术辅助认知融合在前列腺穿刺活检术中的应用[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2016, 31: 104-107.
- [20] 魏晓松,刘征,庄乾元,叶章群,胡志全. 3D打印技术在经皮肾镜取石术前规划及医患沟通中的应用研究[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2015, 36: 881-885.
- [21] 汤润,刘林,时湛,苗龙,孙晓青,朱海涛. 用于经皮肾镜取石术模拟的肾脏3D打印模型研究初探[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2015, 36: 886-890.
- [22] 顾寅珺,吕婷婷,方伟林,傅琦博,冷静,薛蔚,等. 3D打印技术在骶神经调控术中精准穿刺的应用评估研究[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2016, 31: 1057-1063.
- [23] 胡立伟,孙杰,钟玉敏,姚晓芬,刘金龙,邱海嵘,等. 基于CT多期图像融合构建3D打印重复肾模型的应用[J]. *中国医疗设备*, 2017, 32: 29-31.
- [24] CHEUNG C L, LOOI T, LENDVAY T S, DRAKE J M, FARHAT W A. Use of 3-dimensional printing technology and silicone modeling in surgical simulation: development and face validation in pediatric laparoscopic pyeloplasty[J]. *J Surg Educ*, 2014, 71: 762-767.
- [25] ABOUHASHEM Y, DAYAL M, SAVANAH S, STRKALJ G. The application of 3D printing in anatomy education[J/OL]. *Med Educ Online*, 2015, 20: 29847. doi: 10.3402/meo.v20.29847.
- [26] DEL JUNCO M, OKHUNOV Z, YOON R, KHANIPOUR R, JUNCAL S, ABEDI G, et al. Development and initial porcine and cadaver experience with three-dimensional printing of endoscopic and laparoscopic equipment[J]. *J Endourol*, 2015, 29: 58-62.
- [27] YOUSSEF R F, SPRADLING K, YOON R, DOLAN B, CHAMBERLIN J, OKHUNOV Z, et al. Applications of three-dimensional printing technology in urological practice[J]. *BJU Int*, 2015, 116: 697-702.
- [28] PRIESTER A, NATARAJAN S, LE J D, GARRITANO J, RADOSAVCEV B, GRUNDFEST W, et al. A system for evaluating magnetic resonance imaging of prostate cancer using patient-specific 3D printed molds[J]. *Am J Clin Exp Urol*, 2014, 2: 127-135.
- [29] DEL JUNCO M, YOON R, OKHUNOV Z, ABEDI G, HWANG C, DOLAN B, et al. Comparison of flow characteristics of novel three-dimensional printed ureteral stents versus standard ureteral stents in a porcine model[J]. *J Endourol*, 2015, 29: 1065-1069.
- [30] PARK C J, KIM H W, JEONG S, SEO S, PARK Y, MOON H S, et al. Anti-reflux ureteral stent with polymeric flap valve using three-dimensional printing: an *in vitro* study[J]. *J Endourol*, 2015, 29: 933-938.
- [31] BOLAND T, MIRONOV V, GUTOWSKA A, ROTH E A, MARKWALD R R. Cell and organ printing 2: fusion of cell aggregates in three-dimensional gels[J]. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol*, 2003, 272: 497-502.
- [32] PARTRIDGE R, CONLISK N, DAVIES J A. In-lab three-dimensional printing: an inexpensive tool for experimentation and visualization for the field of organogenesis[J]. *Organogenesis*, 2012, 8: 22-27.

[本文编辑] 魏学丽