



doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2017.01.015
http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.1005-6947.2017.01.015
Chinese Journal of General Surgery, 2017, 26(1):90-95.

· 文献综述 ·

3D 打印技术在肝脏外科应用现状及展望

陈康, 熊力, 郑砚文 综述 邓小峰, 文宇, 苗雄鹰 审校

(中南大学湘雅二医院 肝胆外科, 湖南 长沙 410011)

摘要

随着 3D 打印技术在医学领域的蓬勃发展, 传统医学正向着数字化精准医学转换。精准肝脏外科的特点是通过术前精准评估和手术规划、术中精细解剖止血而使患者获得最佳康复。3D 技术通过影像学数据构建出肝脏仿真模型, 可以让外科医师从三维角度上充分认识肝脏, 从而更好完成术前评估与规划。生物 3D 打印作为近年新兴的学科, 未来有望解决肝移植手术供体短缺、肝脏切除术后残肝体积不足等问题。

关键词

肝 / 外科学; 打印, 三维; 肝移植; 综述文献
中图分类号: R657.3

3D printing technology in hepatic surgery: current status and perspectives

CHEN Kang, XIONG Li, ZHENG Yanwen, DENG Xiaofeng, WEN Yu, MIAO Xiongying

(Department of Hepatobiliary Surgery, the Second Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410011, China)

Abstract

With the vigorous development of 3D printing technology in medical field, the traditional medicine is now under transition towards digital precision medicine. Precision liver surgery is characterized by offering the utmost recovery for the patients through accurate preoperative assessments and surgical planning as well as meticulous intraoperative dissection and hemostasis. The 3D technology can construct a simulation model of liver through imaging data which allows surgeons to have a full knowledge of the liver from a three-dimensional perspective, and thereby to make a perfect preoperative evaluation and planning. As an emerging discipline in recent years, 3D bioprinting is expected to resolve the problems such as shortage of liver transplant donor and deficiency of residual liver volume after liver resection in the future.

Key words

Liver/surg; Printing, Three-Dimensional; Liver Transplantation; Review
CLC number: R657.3

3D 打印是一门正在快速发展的技术, 目前在机械工程、加工制造业、农业等。近年来, 3D

打印技术在医学中的发展尤为迅速^[1], 比如神经外科^[2], 矫形外科^[3], 颌面外科^[4]等。3D 打印技术在

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81472738; 81372628; 81402536); 科技部创新项目(X8C1Y0K9); 湖南省自然科学基金资助项目(12JJ5048)。

收稿日期: 2016-11-01; 修订日期: 2016-12-23。

作者简介: 陈康, 中南大学湘雅二医院硕士研究生, 主要从事肝胆胰肿瘤方面的研究。

通信作者: 苗雄鹰, Email: 4896142@qq.com

肝脏外科中的应用主要包括复杂手术前的评估与规划,肝脏生物模型的构建等,生物3D打印是3D打印技术中重要的分支。本文将从以下几个方面叙述3D打印技术在肝脏外科的发展现状。

1 3D打印技术在肝脏手术中的应用

面对复杂肝脏手术,手术安全是达到手术目标和治愈疾病的基础^[5],这与精准外科的理念不谋而合。精准肝脏外科与传统外科的主要区别在于其具有确定性、预见性、可控性、集成性、规范化和个体化的特征^[6]。3D技术在精准肝脏外科中主要通过确定性、预见性和个体化来体现。肝脏的精准评估技术可以分为3类,即肝脏储备功能的精确评估、肿瘤与肝脏解剖影像学评估和肝脏手术规划与虚拟肝切除^[7]。

在三维可视化技术问世之前,肝胆外科医生只能通过CT及MRI等二维模型来评估肿瘤的位置及与邻近血管的关系,从而在脑海里构建三维模型来实施手术。但是,二维模型在一定程度上是不够准确的:第一,在复杂肝脏手术中,往往存在肿瘤与肝动脉、肝静脉及门脉分支位置不清,CT及MRI不能完整显示其毗邻,导致在手术中行肝叶扩大切除术,术后残余肝体积不足,导致患者发生肝衰竭等并发症可能性大;第二,不同医生对二维影像学资料认识不同,甚至存在一定的偏差,从而一定程度上加大手术难度。所以,术前构建肝脏三维化模型意义重大。方驰华等^[8]利用自主研发像三维可视化系统(MI-3DVS)构建出肝癌三维可视化平台,将原发性肝癌患者的增强CT导入至软件中,可获得个体化肝动脉、肝静脉、门静脉分型,打印出肝癌患者的3D模型,真实的反馈给外科医生,成功指导手术进行。临床上原发性肝癌合并肝硬化较常见,肝脏由于正常生理功能减退,其能够耐受的肝切除量较不合并肝硬化的患者更低^[9],所以术前规划显得尤为重要。

肝脏切除术后最主要的并发症是肝衰竭,而术中门静脉、肝静脉解剖变异至扩大切除使残肝体积不足是发生肝衰的主要原因之一,如何提前发现变异属支、避免过多切除肝脏也是当今的热点问题。Xiang等^[10]报道了1例罕见的门静脉变异,他们在术前通过3D打印技术获得患者模型后

发现,患者S4段门静脉(S4PV)缺如,变异的S4段门静脉起源于门静脉右前支(RAPV)。如果在术中忽略了这一变异,行右半肝切除术,则残肝体积仅剩21.37%,而行保留门静脉右前支的右肝部分切除术后,残肝体积增加至57.25%,大大降低了发生肝衰的风险。另一方面,肝脏由于其复杂的动脉、静脉及胆管解剖走行和变异,使得肝切除术的风险增高。术前,从患者的CT或MRI中获得数据,评估肿瘤的分布、切除术后残肝体积及肿瘤与脉管的空间位置关系,以便于术前对手术进行预演,可以增加手术的安全性^[11]。

3D打印技术目前尚未普及的原因之一是其成本较高,Soon等^[12]报道了一种低成本的3D打印技术,他们将聚乳酸作为打印材料,使用Osirix软件(Version 4.1, Pixmeo, Geneva, Switzerland)及3D打印设备(MakerBot Replicator Z18, US),成功构建出肝脏三维模型。为了同时模型制作成本高及肝内结构可见度低的问题,Oshiro等^[13]利用高分子聚酰胺构建透明肝脏模型,他们将从前侧面的投影形成的多边形制成框架,构建出减体积肝脏模型(原体积的50%),肝脏内部结构没有使用材料,从而减少费用,并且能更清楚显示肝内结构。

在肝切除术中,外科医生较多使用术中B超识别肿瘤位置。然而,对于术中B超探测不到的肿瘤病灶,也可以使用3D打印技术构建模型进行定位。Igami等^[14]报道了2例结肠癌发生肝转移的病例,经过新辅助化疗后,肝脏转移灶缩小至超声无法探测,但是通过增强CT可以显示,他们随后利用3D打印技术构建出肿瘤的空间位置,设定预切除肝脏的分界线,从而顺利完成手术。因此,外科医生可以利用三维可视化技术,更加准确、直观的了解肝脏结构,同时3D模型也有助于医生与患者之间的交流^[15]。

2 3D打印技术在肝移植中的应用

作为治疗各种终末期肝病的唯一方法,肝移植在国内发展迅速^[16-18]。供肝的短缺是限制肝移植数量增长的最主要因素^[19],与此同时,越来越多的患者正在接受活体肝移植。活体肝移植的供体可能面临出血、损伤其他组织器官、甚至死亡

的风险,因此正确预测移植肝脏的体积,避免因体积不符所导致的并发症十分重要^[20]。Zein等^[21]首次报道了3D技术在肝移植领域中的应用,他将3例捐献者及患者的肝脏制成3D模型(图1),结果表明,利用3D技术打印出来的肝脏与实际肝脏大小相比,空间误差 $<4\text{ mm}$,血管直径误差 $<1.3\text{ mm}$,可以用于评估血管及胆道的解剖结构,减少手术及冷缺血时间。3D打印技术不仅在成人肝移植中有广泛的应用前景,在小儿亲体肝移植中也有所突破。在小儿亲体肝移植过程中,往往面临的主

要问题是将成人的供肝进行修整,在保留肝体积的前提下不损伤脉管系统。供肝体积过大,往往容易形成门静脉血栓,影响血流动力学,导致局部血流低灌注。Soejima等^[22]报道了1例小儿活体肝移植的病例,患儿是1例9个月患有先天性胆道闭锁,供体是患儿的父亲,他利用3D打印技术将供肝及患儿腹腔结构完整“复制”下来,从而对供肝体积及患儿腹腔容积进行精确测算,成功实施肝移植。

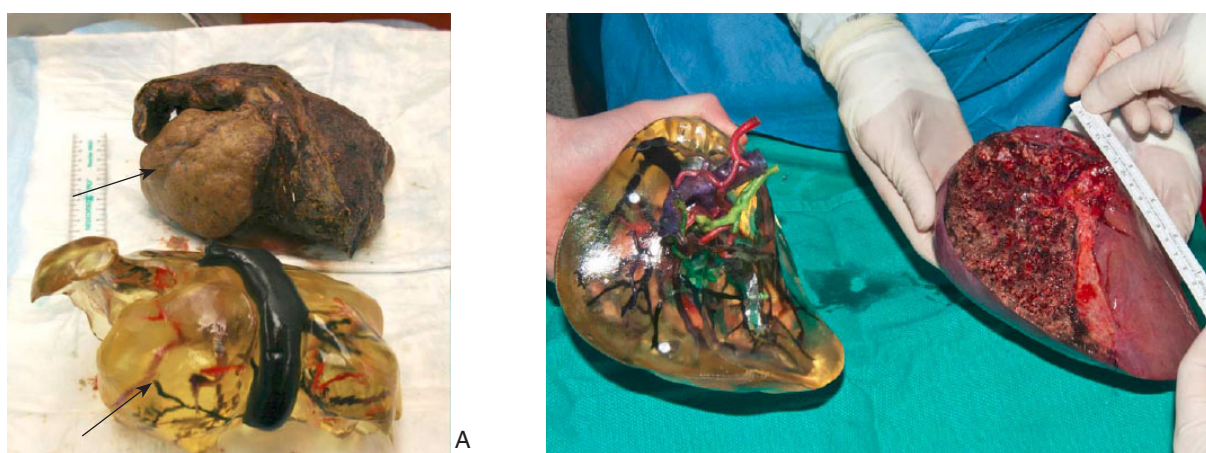


图1 3D打印与实际受体的肝脏比较 A: 术前3D打印构建的受体肝脏模型和实际受体的肝脏; B: 术前3D打印构建的捐献者肝右叶和实际肝右叶^[21]

Figure 1 Comparison between 3D-printed liver and actual liver A: Preoperatively 3D-printed liver and actual explanted liver of a recipient; B: Preoperatively 3D-printed right lobe and actual right lobe of a donor^[21]

3 生物3D打印技术在肝脏外科中的应用前景

3D生物打印技术又称生物增材制造技术,是3D打印技术的一个分支^[23]。3D生物打印可定义为以特制生物打印机为主要手段,以加工活性材料包括细胞、生长因子、生物材料等为主要内容,以重建人体组织和器官为主要目标的跨学科和领域的新型再生医学工程技术。生物3D打印技术的目的是重新构建有一定功能的组织或器官,并且具有相应的微环境,从而能辅助甚至替代器官。首先必须创造出适宜细胞生存的环境即细胞外基质(extracellular matrix, ECM),3D细胞外基质骨架可以通过使用清洗剂对同种异体或异种的组织器官进行灌洗,去细胞化获得仅有细胞外基质

的组织^[24],这种组织最大的优点是保留了脉管系统并且能提供氧气和营养物质,这项技术的生物3D打印技术在肝脏外科中的应用主要是构建体外真实肝脏模型,作为终末期肝病缺少肝源的替代选择^[17-19,25]。许多科学家在尝试使用肝细胞移植,然而肝细胞移植需要大量的肝细胞^[26]。在Jeon等^[27]利用3D生物技术构建3D肝脏模型,他将HepG2细胞系置于含藻酸盐的模型中培养,分别在1、7、14、21 d测定肝脏的生物标记物(ALB/AFP/Ki67/CK19/CYP1A2),结果他发现标记物已与正常肝组织相似,肝特异性基因表达增高。在2013年,Organovo公司成功打印出深 $500\ \mu\text{m}$ 的肝脏组织,能正常存活40 d,并且具有普通肝脏的功能^[28]。协和医院毛一雷^[29]成功再现天然肝组织中细胞—细胞和细胞—基质的生物学性能,实现了人体肝细

胞成熟和长期功能维持,并在3D打印细胞结构中实现胆管网广泛分布,提高了三维结构的物质交换能力,最终形成体外能长期存活的具有药物代谢功能的人体类肝组织。

虽然目前国内外还没有科学家报道利用3D打印技术构建的离体肝组织进行肝移植的案例,但是随着目前生物3D技术的快速发展,相信不久的将来有机会实现从细胞、组织到器官的飞跃。

4 3D打印技术在肝脏外科教学中的应用

自从1956年Couinaud^[30]提出肝脏分段解剖以后,以肝段、肝叶为解剖学基础的肝切除术应用逐渐增多。在肝脏手术教学中,对肝脏解剖清楚的认识是最基础的条件^[31]。然而,肝脏是一个非常复杂的结构,不同的脉管在肝脏中穿行,并且经常有解剖学变异,对医学生和年轻医生而言是不小的挑战^[32]。年轻外科医生通常是通过书籍和解剖图册,来记忆肝脏解剖结构。解剖铸型模型是一种非常直观的模型,肝内血管走行清晰可见,其在解剖教学、研究及临床中广泛应用^[33],铸型模型可以看清楚肝内血管分支及吻合情况^[34]。但是它的使用受到了限制,因为铸型模型需要根据真实的肝脏来构建,因此其中的伦理问题不可忽视,其次,生产高精度的铸型模型难度较大^[35]。因此,发展替代铸型模型的教学模具非常必要。3D打印技术可以将肝脏内脉管的复杂走行通过直观的方法表现出来^[36]。有学者^[37]通过3D打印技术构建出3种不同的肝脏模型,然后通过向医学生发放问卷调查的形式完成反馈,发现肝脏血管分段模型的教学效果要优于无肝实质的肝脏分段模型和有肝实质的肝脏分段模型。因为该模型将门静脉和肝静脉用不同的颜色区分出来,因此能够更好的辅助学习过程。3D打印模型不仅在临床应用上具有巨大优势,在促进医学生和年轻医生成长方面也有独特的优势,相信通过3D模型可以辅助他们对肝脏产生更直观的印象,加深对肝脏解剖的理解。

5 3D打印技术遇到的困境及未来

从理论上讲,3D打印技术可以应用到各

种学科,但是仍有几个问题需要面对:(1)费用问题,随着最近几年的快速发展,制作实体模型的费用较前有所降低,但费用仍然较高;(2)时效问题,制作3D模型需要经历从影像学检查到数据分析,再到模型打印数个步骤,期间可能经历1 d甚至1周的时间,对于急诊患者来说,时间可能会影响到它的有效性^[38];(3)利用生物3D打印技术构建组织器官时,细胞往往难以被精确打印出来,细胞因子等对细胞的影响也难以调控^[39];(4)目前3D打印技术的应用仅限于病例报道和综述,其在临床中尚缺乏随机对照实验来证明其优越性。因此还需要长期大量的临床研究来证实,3D打印模型的额外花费是否与其在缩短手术时间、减少并发症或缩短平均住院日等疗效评估中是有利的。

从21世纪开始,2D和3D打印技术在医学领域的影响逐渐增大,3D打印技术目前被广泛应用于“制造”细胞、组织、器官和医疗器械,用于构建术前模型,还有许多其他的生物医学领域方面的应用^[40]。3D打印技术在肝脏外科中的发展前景是巨大的,随着图像采集系统的不断提高,制作出来的肝脏模型将更加精确,使得从前被视为“禁区”的复杂肝脏手术变得可视化。相信在不久的将来,通过生物3D技术打印出来的肝脏能移植到人体,引领肝脏外科向更加精准的时代挺进。

参考文献

- [1] Koff W, Gustafson P. "3D Printing and the Future of Manufacturing," CSC Leading Edge Forum. 2012, [SD-008]. <http://lef.csc.com/assets/3705>
- [2] Waran V, Narayanan V, Karupiah R, et al. Injecting realism in surgical training-initial simulation experience with custom 3D models[J]. *J Surg Educ*, 2014, 71(2):193-197. doi: 10.1016/j.jsurg.2013.08.010.
- [3] He J, Li D, Lu B, et al. Custom fabrication of composite tibial hemi-knee joint combining CAD/CAE/CAM techniques[J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2006, 220(8):823-830.
- [4] Hrusak D, Bolek M, Bolek L. On site 3D printing in oral and maxillofacial surgery for trauma and oncological bone reconstruction[J]. *Int J Oral Max Surg*, 2015, 44:e225-226. doi: 10.1016/j.ijom.2015.08.128.
- [5] 王坚,陈炜.如何提高肝胆胰手术的安全性[J]. *世界华人消化杂志*, 2016, 24(34):4542-4548. doi: [http:// dx.doi.org/10.11569/wcjd.v24.i34.4542](http://dx.doi.org/10.11569/wcjd.v24.i34.4542).

- Wang J, Chen W. How to improve the safety of hepato-bilio-pancreatic surgery?[J]. *World Chinese Journal of Digestology* 2016, 24(34):4542-4548. doi: [http:// dx.doi.org/10.11569/wcjd.v24.i34.4542](http://dx.doi.org/10.11569/wcjd.v24.i34.4542).
- [6] 董家鸿. 精准肝脏外科[J]. *中华消化外科杂志*, 2014, 13(6):405-411. doi: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2014.06.002.
- Dong JH. Precision liver surgery[J]. *Chinese Journal of Digestive Surgery*, 2014, 13(6):405-411. doi: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2014.06.002.
- [7] 荚卫东. 精准肝切除治疗肝细胞癌关键技术[J]. *中国普通外科杂志*, 2014, 23(1):1-5. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2014.01.001.
- Jia WD. Key techniques in precise hepatectomy for hepatocellular carcinoma[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2014, 23(1):1-5. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2014.01.001.
- [8] 方驰华, 蔡伟, 范应方, 等. 从数字虚拟人到三维可视化肝脏3D打印[J]. *中国实用外科杂志*, 2016, 36(1):47-50.
- Fang CH, Cai W, Fan YF, et al. From visual human to three-dimensional visualization 3D printing of liver[J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2016, 36(1):47-50.
- [9] 谢威, 王志明, 康忠诚, 等. 原发性肝癌合并肝硬化手术方法的探讨[J]. *医学临床研究*, 2013, 30(4):759-760. doi:10.3969/j.issn.1671-7171.2013.04.046.
- Xie W, Wang ZM, Kang ZC, et al. Discussion on Surgical Method of Primary Liver Cancer with Liver Cirrhosis[J]. *Journal of Clinical Research*, 2013, 30(4):759-760. doi:10.3969/j.issn.1671-7171.2013.04.046.
- [10] Xiang N, Fang C, Fan Y, et al. Application of liver three-dimensional printing in hepatectomy for complex massive hepatocarcinoma with rare variations of portal vein: preliminary experience[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(10):18873-18878.
- [11] Yoo PS, Enestvedt CK, Kulkarni S. Anatomic considerations in the surgical resection of hepatocellular carcinoma[J]. *J Clin Gastroenterol*, 2013, 47(Suppl):S11-15. doi: 10.1097/MCG.0b013e318280ce5f.
- [12] Soon DS, Chae MP, Pilgrim CH, et al. 3D haptic modelling for preoperative planning of hepatic resection: A systematic review[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2016, 10:1-7. doi: 10.1016/j.amsu.2016.07.002.
- [13] Oshiro Y, Mitani J, Okada T, et al. A novel three-dimensional print of liver vessels and tumors in hepatectomy[J]. *Surgery Today*, 2016, [Epub ahead of print]
- [14] Igami T, Nakamura Y, Hirose T, et al. Application of a three-dimensional print of a liver in hepatectomy for small tumors invisible by intraoperative ultrasonography: preliminary experience[J]. *World J Surg*, 2014, 38(12):3163-3166. doi: 10.1007/s00268-014-2740-7.
- [15] Bernhard JC, Isotani S, Matsugami T, et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education[J]. *World J Urol*, 2016, 34(3):337-345. doi: 10.1007/s00345-015-1632-2.
- [16] 王志明, 汤恢焕, 黄云, 等. 成人间活体肝移植体会:附3例报告[J]. *中国普通外科杂志*, 2007, 16(8):730-734.
- Wang ZM, Tang HH, Huang Y, et al. Adult-to-adult living donor liver transplantation: report of 3 cases[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2007, 16(8):730-734.
- [17] 郑树森, 俞军, 张武. 肝移植在中国的发展现状[J]. *临床肝胆病杂志*, 2014, 30(1):2-4. doi: 10.3969/j.issn.1001-5256.2014.01.001.
- Zheng SS, Yu J, Zhang W. Current development of liver transplantation in China[J]. *Journal of Clinical Hepatology*, 2014, 30(1):2-4. doi: 10.3969/j.issn.1001-5256.2014.01.001.
- [18] 夏穗生. 我国肝移植发展沿革史[J]. *中国普通外科杂志*, 2009, 18(1):1-3.
- Xia SS. History of the progress and changes in liver transplantation in China[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2009, 18(1):1-3.
- [19] 霍枫, 李鹏. DCD肝移植过去、现状和未来[J]. *肝胆外科杂志*, 2014, 22(2):84-86.
- Huo F, Li P. Past developments, current status and future directions of DCD liver transplantation[J]. *Journal of Hepatobiliary Surgery*, 2014, 22(2):84-86.
- [20] Ikegami T, Maehara Y. Transplantation: 3D printing of the liver in living donor liver transplantation[J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2013, 10(12):697-698. doi: 10.1038/nrgastro.2013.195.
- [21] Zein NN, Hanouneh IA, Bishop PD, et al. Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation[J]. *Liver Transpl*, 2013, 19(12):1304-1310. doi: 10.1002/lt.23729.
- [22] Soejima Y, Taguchi T, Sugimoto M, et al. Three-dimensional printing and biotexture modeling for preoperative simulation in living donor liver transplantation for small infants[J]. *Liver Transpl*, 2016, 22(11):1610-1614. doi: 10.1002/lt.24516.
- [23] 王锦阳, 黄文华. 生物3D打印的研究进展[J]. *分子影像学杂志*, 2016, 39(1):44-46. doi: 10.3969/j.issn.1674-4500.2016.01.13.
- Wang JY, Huang WH. Research status and application of 3D bio-printing[J]. *Journal of Molecular Imaging*, 2016, 39(1):44-46. doi: 10.3969/j.issn.1674-4500.2016.01.13.
- [24] Munoz-Abraham AS, Rodriguez-Davalos MI, Bertacco A, et al. 3D Printing of Organs for Transplantation: Where Are We and Where Are We Heading?[J]. *Curr Transpl Rep*, 2016, 3(1):93-99. doi:10.1007/s40472-016-0089-6.
- [25] Alkhouri N, Zein NN. Three-dimensional printing and pediatric

- liver disease[J]. *Curr Opin Pediatr*, 2016, 28(5):626–630. doi: 10.1097/MOP.0000000000000395.
- [26] Dhawan A, Mitry RR, Hughes RD. Hepatocyte transplantation for liver-based metabolic disorders[J]. *J Inher Metab Dis*, 2006, 29(2/3):431–435.
- [27] Jeon H, Kang K, Park SA, et al. Generation of Multilayered 3D Structures of HepG2 Cells Using a Bio-printing Technique[J]. *Gut Liver*, 2017, 11(1):121–128. doi: 10.5009/gnl16010.
- [28] 武涛, 张兴凯, 范德增. 3D生物打印技术及其外科临床应用[J]. *中国实用外科杂志*, 2015, 35(5):570–572.
- Wu T, Zhang XK, Fan DZ. 3D bioprinting technology and its application in clinical surgery[J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2015, 35(5):570–572.
- [29] 毛一雷, 杨华瑜, 廖雯俊, 等. 基于细胞3D打印技术构建人体肝组织研究[C]//第十五届全国肝癌学术会议资料汇编. 郑州: 第十五届全国肝癌学术会议委员会, 2015:54.
- Mao YL, Yang HY, Liao WJ, et al. Study of creation of human hepatic tissue based on 3D printing technology[C]//Proceedings of the 15th national conference of liver cancer. Zhengzhou: Committee of the 15th national conference of liver cancer, 2015:54.
- [30] Couinaud C. Contribution of anatomical research to liver surgery[J]. *Fr Med*, 1956, 19(5):5–12.
- [31] Nickel F, Hendrie JD, Bruckner T, et al. Successful learning of surgical liver anatomy in a computer-based teaching module[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2016, 11(12):2295–2301.
- [32] Jurgaitis J, Paskonis M, Pivori ū nas J, et al. The comparison of 2-dimensional with 3-dimensional hepatic visualization in the clinical hepatic anatomy education[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2008, 44(6):428–438.
- [33] Uršič I M, Vrecl M, Fazarinc G. Corrosion cast study of the canine hepatic veins[J]. *Folia Morphol (Warsz)*, 2014, 73(4):475–481. doi: 10.5603/FM.2014.0071.
- [34] De Cecchis L, Hribernik M, Ravnik D, et al. Anatomical variations in the pattern of the right hepatic veins: possibilities for type classification[J]. *J Anat*, 2000, 197(Pt 3):487–493.
- [35] Li J, Nie L, Li Z, et al. Maximizing modern distribution of complex anatomical spatial information: 3D reconstruction and rapid prototype production of anatomical corrosion casts of human specimens[J]. *Anat Sci Educ*, 2012, 5(6):330–339. doi: 10.1002/ase.1287.
- [36] Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, et al. Accuracy of medical models made by additive manufacturing (rapid manufacturing)[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2013, 41(7):603–609. doi: 10.1016/j.jcms.2012.11.041.
- [37] Kong X, Nie L, Zhang H, et al. Do 3D Printing Models Improve Anatomical Teaching About Hepatic Segments to Medical Students? A Randomized Controlled Study[J]. *World J Surg*, 2016, 40(8):1969–1976. doi: 10.1007/s00268–016-3541-y.
- [38] Lambrecht JT, Berndt DC, Schumacher R, et al. Generation of three-dimensional prototype models based on cone beam computed tomography[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2009, 4(2):175–180. doi: 10.1007/s11548–008-0275–9.
- [39] 杨新宇. 3D打印技术在医学中的应用进展[J]. *复旦学报:医学版*, 2016, 43(4):490–494. doi:10.3969/j.issn.1672–8467.2016.04.020.
- Yang XY. Application progress of 3D printing in medical field[J]. *Fudan University Journal of Medical Sciences* 2016, 43(4):490–494. doi:10.3969/j.issn.1672–8467.2016.04.020.
- [40] Shafiee A, Atala A. Printing Technologies for Medical Applications[J]. *Trends Mol Med*, 2016, 22(3):254–265. doi: 10.1016/j.molmed.2016.01.003.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 陈康, 熊力, 郑砚文, 等. 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. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2017.01.015

Cite this article as: Chen K, Xiong L, Zheng YW, et al. 3D printing technology in hepatic surgery: current status and perspectives[J]. *Chin J Gen Surg*, 2017, 26(1):90–95. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2017.01.015