

三维重建结合增强现实技术在机器人下精准肝切除术中的应用

邹浩¹, 朱呈瞻¹, 王畅², 田广野³, 张慧芳³, 孙传东¹

(1. 青岛大学附属医院肝胆胰外科 山东 青岛 266003; 2. 青岛大学附属医院妇科 山东 青岛 266003;
3. 青岛海信医疗设备股份有限公司 山东 青岛 266101)

摘要 达芬奇机器人在肝脏外科领域的应用已被证实是安全可行的, 但无法透视肝内重要管道和精准定位肝实质内肿瘤。虚拟现实和增强现实等技术的应用可使人体结构立体化、可视化, 术前三维模型的建立可以帮助医生制定完善的术前规划, 增强现实的应用可以实时进行术中指导, 从而避免损伤肝内重要管道, 减少出血, 并保证安全的手术切缘。本文报道了2例达芬奇机器人肝脏手术, 在三维重建结合增强现实技术的指导下进行了精准的肝切除。

关键词 机器人手术; 三维重建; 增强现实; 肝切除术; 配准

中图分类号 R657.3 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2020)02-0141-07

Application of three-dimensional reconstruction combined with augmented reality technology in precise hepatectomy performed by robot

ZOU Hao¹, ZHU Chengzhan¹, WANG Chang², TIAN Guangye³, ZHANG Huifang³, SUN Chuandong¹

(1. Department of Hepatobiliary and Pancreatic Surgery, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China; 2. Department of Gynecology, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China; 3. Qingdao Hisense Medical Co. Ltd., Qingdao 266101, China)

Abstract The Da Vinci robot surgical procedure has been proved to be safe and feasible in the field of liver surgery, but it still has the shortage of being unable to penetrate important hepatic ducts and accurately locate tumors in liver parenchyma. The

收稿日期: 2020-02-13 录用日期: 2020-05-15

Received Date: 2020-02-13 Accepted Date: 2020-05-15

基金项目: 山东省科技发展计划(2016GSF201221)

Foundation Item: The Research and Development Project of Shandong Province (2016GSF201221)

通讯作者: 孙传东, Email: sunchuandong@hotmail.com

Corresponding Author: SUN Chuandong, Email: sunchuandong@hotmail.com

引用格式: 邹浩, 朱呈瞻, 王畅, 等. 三维重建结合增强现实技术在机器人下精准肝切除术中的应用[J]. 机器人外科学杂志, 2020, 1(2): 141-147.

Citation: ZOU H, ZHU C Z, WANG C, et al. Application of three-dimensional reconstruction combined with augmented reality technology in precise hepatectomy performed by robot [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2020, 1 (2):141-147.

application of technologies such as virtual reality and augmented reality can make the human body structure three-dimensional and visualized. The establishment of a three-dimensional model before surgery can help us make better preoperative planning, the application of augmented reality can provide real-time intraoperative guidance to avoid damage to important intrahepatic ducts, reduce intraoperative hemorrhage, and ensure safe surgical margins. This article reports two cases of Da Vinci liver surgery, which was accurately performed under the guidance of 3D reconstruction combined with augmented reality technology.

Key words Robotic surgery; Three-dimensional reconstruction; Augmented reality; Hepatectomy; Registration

原发性肝癌严重危害我国人民的健康,我国的肝癌患者占全球的近 50%^[1]。手术切除仍是原发性肝癌的首选治疗手段。达芬奇手术机器人高清的 3D 成像和灵活的机械臂使微创外科技术再次变革。与此同时,达芬奇机器人在患者和外科医生之间建立了一个理想的计算机界面,这给手术中建立虚拟环境创造了条件^[2]。若能够将患者术前肝内重要信息的三维立体图像完美融合至达芬奇机器人的立体视野内,使肝脏实质内重要结构可视,实时指导手术的进行,将进一步提高手术的精准性和安全性。青岛大学附属医院肝胆胰外科于 2019 年使用三维重建结合增强现实技术实施了 2 例精准肝切除术,现将情况报道如下。

1 临床资料

病例 1: 男性, 56 岁, 因查体发现肝脏占

位入院, 上腹强化 CT 示肝脏右叶占位; 病例 2: 女性, 49 岁, 因查体发现肝脏占位入院, 上腹强化 CT 示肝左外叶占位; 上述 2 例患者术前肝功能评分均为 Child A 级 (5 分), ICG 15min 滞留率 <10% (日本光电肝功能分析系统 DDG-3000), 术中情况见表 1。术前均使用美国 GE 公司 64 排螺旋 CT 行上腹部三期增强薄层扫描, 扫描层厚 5mm, 间距 5mm。将薄层 CT 扫描三期图像的 Dicom 格式文件导入 Hisense CAS-Lvv3.01 系统, 进行三维重建。病例 1 的肿瘤位于肝脏 VI、VII 段交界处, 因患者较年轻, 一般情况良好, 肝脏硬化轻, 肝功能储备良好, 剩余肝体积充足, 决定行达芬奇机器人下右半肝切除术。病例 2 的肿瘤位于肝脏 III 段, 与门静脉矢状部关系密切, 因患者无肝脏硬化, 肝功能储备良好, 剩余肝体积充足, 决定行达芬奇机器人下左半肝切除术 (如图 1~2)。

表 1 病例术中情况

Table 1 Intraoperative conditions

	病例 1	病例 2
手术方式	右半肝切除术	左半肝切除术
手术时间 (min)	260	125
肝门阻断时间 (min)	110	40
中转开腹	无	无
术中并发症	无	无
标本取出方式	上腹正中切口约 8cm	上腹正中切口约 5cm
术中失血 (ml)	200	50
术中输血	无	无

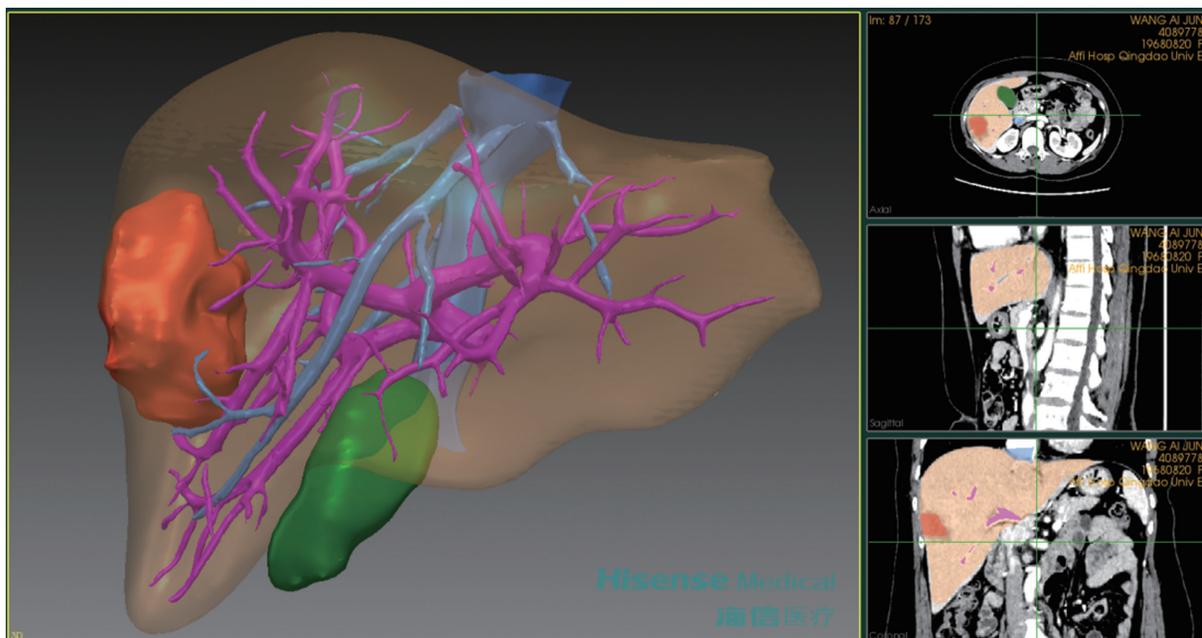


图1 病例1三维重建模型

Figure 1 Three-dimensional reconstruction model of case 1

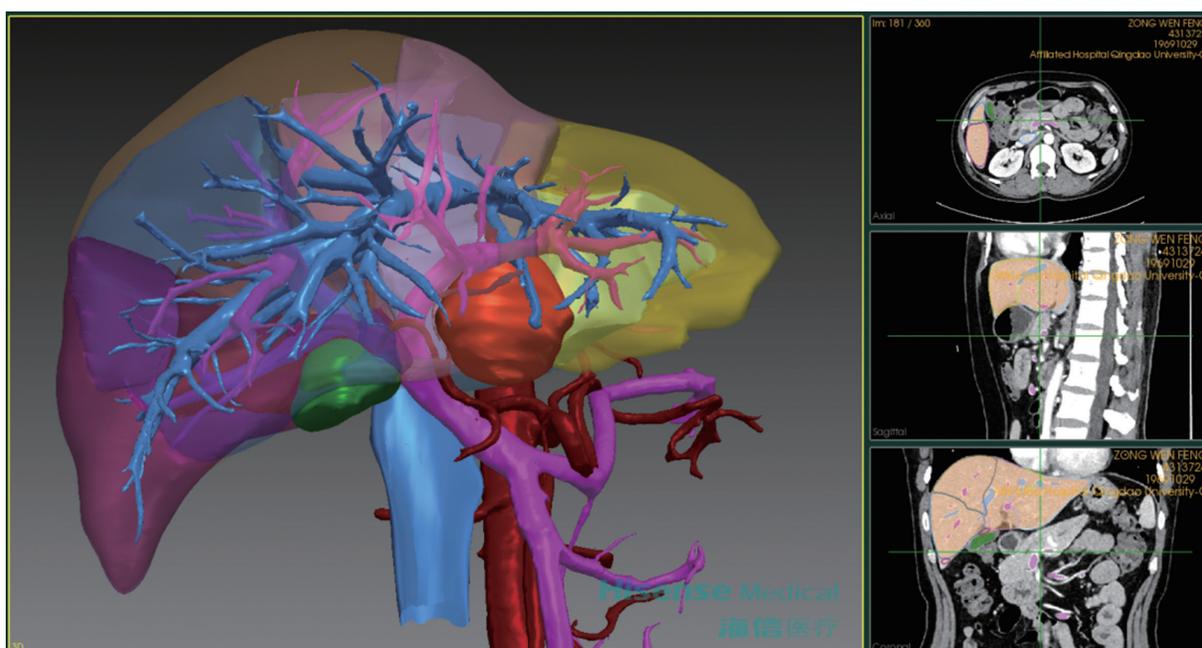


图2 病例2三维重建模型

Figure 2 Three-dimensional reconstruction model of case 2

病例1模拟右半肝切除术，肝脏体积为1 410.7ml，按照解剖性右半肝切除模拟手术，剩余肝体积为631.3ml，占总体积的44.8%

（如图3）。病例2模拟左半肝切除术，肝脏体积为1 223.9ml，按照解剖性左半肝切除模拟手术，剩余肝体积为762.5ml，占总体积的62.3%（如图4）。

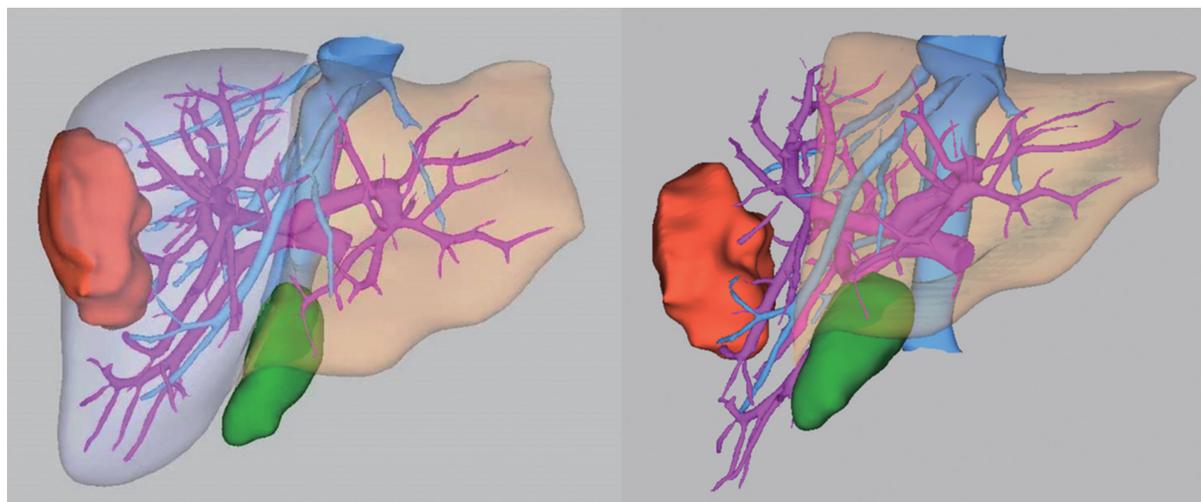


图3 病例1 模拟切除模型 (右半肝切除)

Figure 3 Simulated resection model of case 1 (right hemihepatectomy)

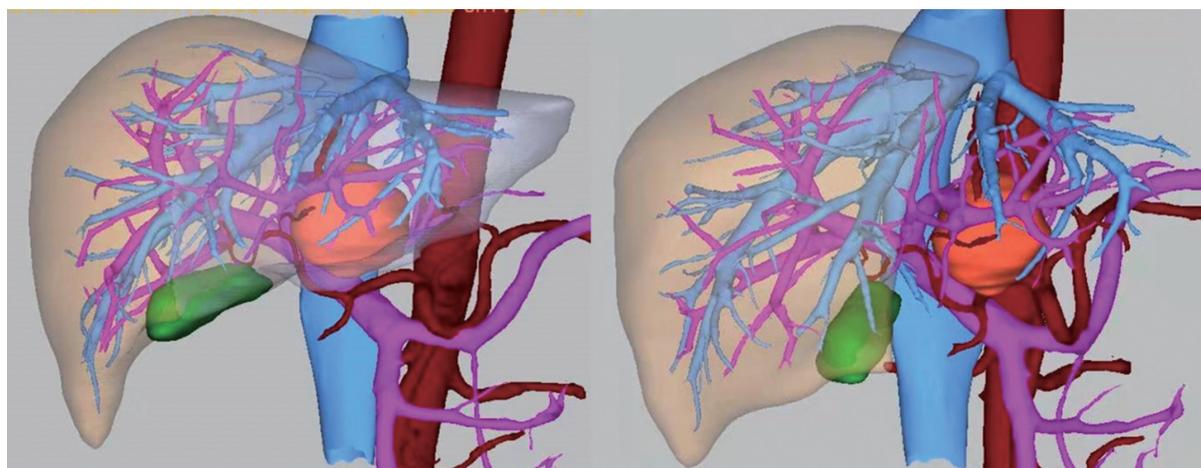


图4 病例2 模拟切除模型 (左半肝切除)

Figure 4 Simulated resection model of case 2 (left hemihepatectomy)

通过先行术中视频点云重建,然后将术中视频重建点云与术前三维重建表面模型配准,融合显示,实现增强现实手术导航。此配准基于SLAM (Simultaneous localization and mapping) 技术及点云配准算法而完成。将术前3D模型与术中图像配准后成功融合,通过肝内管道及肝肿瘤在肝表面的投影可更直观地了解肝内解剖结构(如图5~6)。在术前三维重建模型及术中融合影像的规划指导下,精准解剖第一肝门,

沿缺血线使用超声刀行肝脏断面离断,离断过程中增强现实影像可提示肝内重要管道位置。2例患者均顺利完成了手术,术中情况见表1,术后病例1出现少量胸腔积液,未予特殊处理,于术后7d出院。病例2术后未出现明显并发症,于术后6d出院。

2 讨论

达芬奇机器人在肝脏外科领域应用的可行

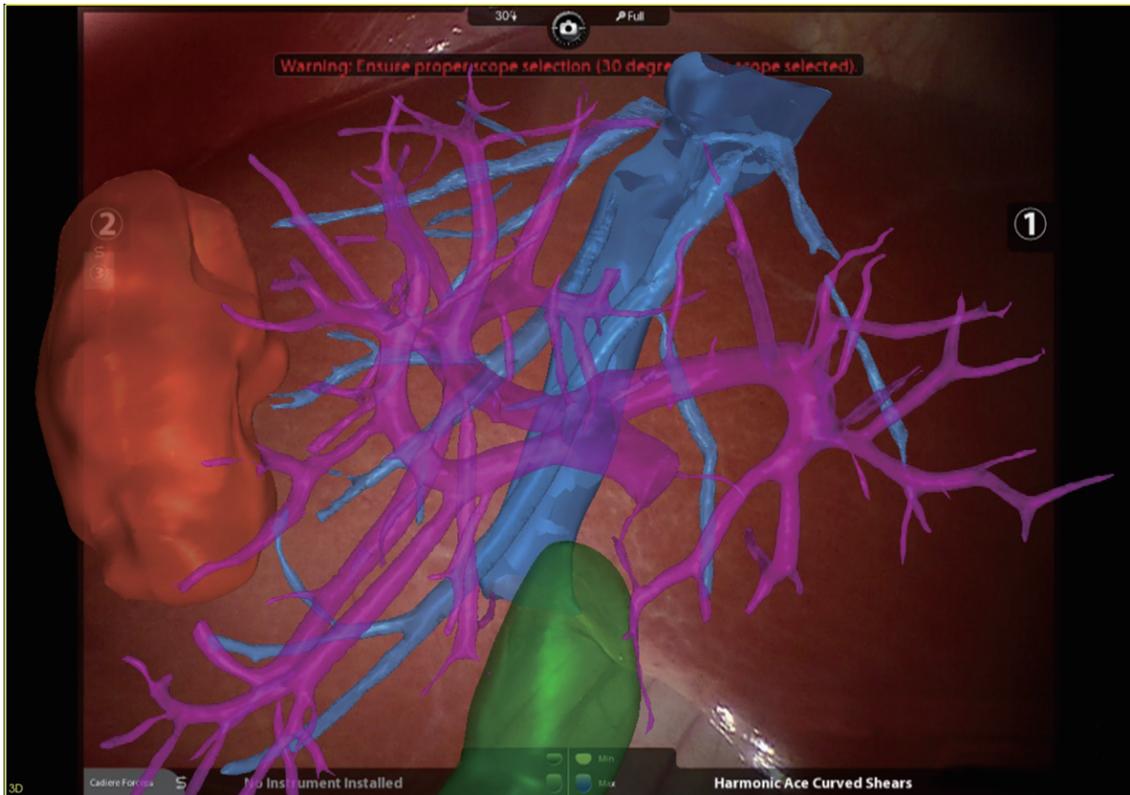


图5 病例1术中融合场景

Figure 5 Intraoperative fusion scene of case 1

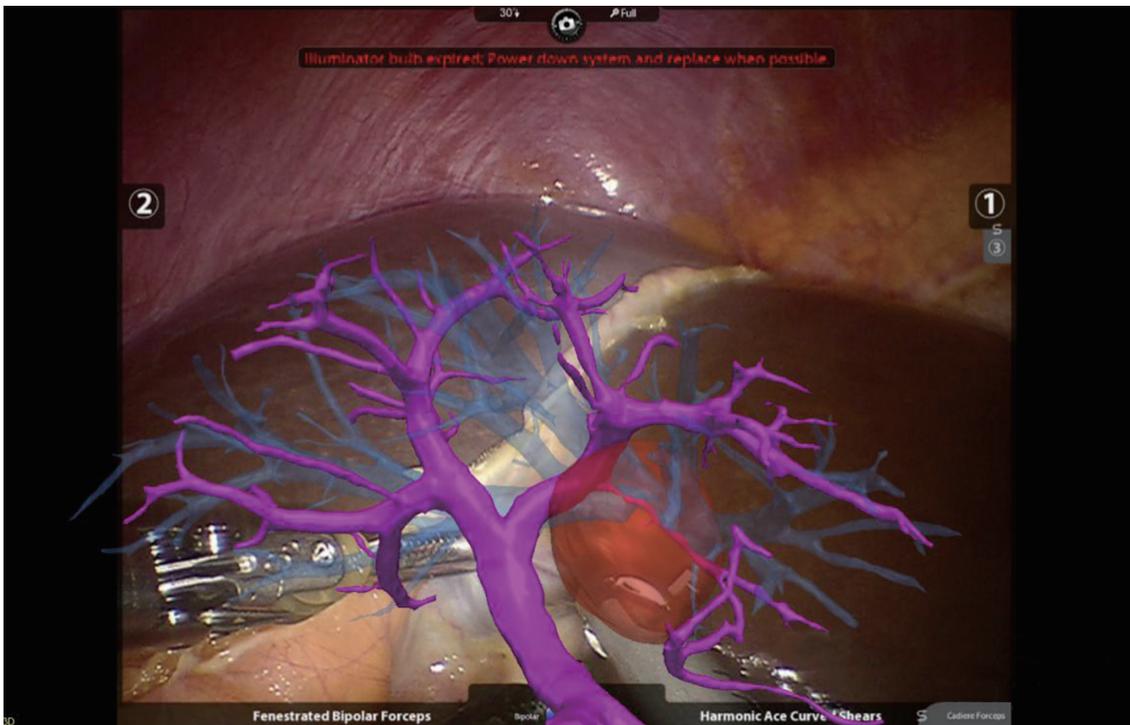


图6 病例2术中融合场景

Figure 6 Intraoperative fusion scene of case 2

性及安全性已得到证实^[3]，但其无法透视肝脏内部重要管道，触觉反馈的缺失使得肝脏内部肿瘤定位困难，尽管术中超声的应用可以帮助解决这些问题，但需要术中重复扫查和自行在大脑中构建三维图像。近年来，数字医学的发展可以帮助医生将复杂的人体解剖结构三维化、可视化，结合虚拟现实（Virtual reality, VR）、增强现实（Augmented reality, AR）技术的应用，可以帮助我们术前设计手术方案，术中精准定位肿瘤，实时监控并引导手术的进行。将AR技术应用于达芬奇机器人系统，可以在3D手术视野内透视人体结构，是“强强联合”，能够使手术更加安全、精准。

AR技术是发展于VR技术的，是将虚拟的场景融合到真实场景中，实现对现实世界的增强，是一种结合图像识别、虚实融合、人机交互、三维显示等关键技术实现对自然世界感知、交互、反映的混合技术^[4]。在达芬奇机器人手术中，通过寻找3D视野内校准点，建立视频点云，再将此视频点云与术前3D模型点云配准，将3D模型融入手术视频，实现“增强现实”。法国Marescaux等^[5]于2004年第1次提出了AR导航系统，应用于肾上腺手术中，他将标记点定位于皮肤，完成了术前模型与术中视频的融合。2009年，Su等^[6]在机器人肾脏部分切除术中，不使用外部导航跟踪系统或预先放置表面标记，使用迭代最近点和基于图像的表面跟踪技术，将重建的3D图像融合至术中实时视频，较好实现了增强现实技术在机器人肾脏手术中的应用。2015年Pessaux等^[7]报道了AR在机器人肝切除术中的应用，联合皮肤标记点和术中解剖结构标记点将3D模型叠加到手术区域。国内方驰华团队^[8]将AR导航联合吲哚酞青绿荧光影像指导肝脏切除手术。对比了导航组与常规组肝切除手术的观察指标和术后并发症情况，认为三维

腹腔镜肝切除术应用AR导航联合吲哚酞青绿荧光影像具有良好的治疗效果。

经过近几年的发展，结合AR的手术导航技术在骨科、神经外科、口腔颌面外科等学科的应用已经相对成熟^[2, 9-10]，因为这些手术的靶器官处在一个相对固定的刚性结构内，与标志性的解剖结构有恒定的空间关系，术前3D模型与骨性结构的配准为刚性配准，技术已经比较成熟。而肝脏组织为柔性组织，手术中，术者对肝脏的牵拉、挤压及患者的呼吸运动等都可以使肝脏变形，从而导致校准点发生变动，为非刚性配准，如何使融合图像内的3D模型随着肝脏变形而实时准确地再次融合，是现阶段的难题。我们也已经成功建立达芬奇3D视野下静态的融合场景，在此融合场景下，通过肝内管道及肝实质内肿瘤在肝脏表面的投影可直观的了解肝内解剖结构，弥补了无法透视肝内重要管道和肿瘤的不足。但是，若想实现在肝脏切除过程中动态、实时融合，尚需要对配准过程中的算法进行优化和更进一步的研究。柔性组织的实时配准即非刚性配准是当前研究的热点。Kim等^[11]的研究解决了器官表面变形后的配准，但未考虑器官内部结构的形变。Puerto-Souza等^[12]提出了一种新的特征匹配算法，能够准确地恢复图像特征在整个器官表面的位置，这个过程是全自动的，并且通过与其他配准方法对比并证实了此配准方法具有更高的准确性和鲁棒性。Nazim团队^[13]在非刚性配准领域的研究较为深入。他们建立了一个以图像为向导的生物力学模型，能够捕获复杂的术中肝脏变形，研究了肝脏内部结构的形变并模拟了多种有代表性的肝脏手术场景。Kenngott等^[14]在杂交手术室利用Siemens的Artis-Zeego系统，实时进行CT扫描，结合Siemens的AR导航，将图像叠加在显示屏上，因为CT图像是实时更新的，部分克服了肝

脏形变的影响。Buchs 等^[2]利用光学跟踪技术将 3D 虚拟模型与术中视频融合，实时评估手术器械与肿瘤及重要管道的距离和关系，从而保证安全切缘。上述学者对非刚性配准从多个角度提出了切实可行的解决方案，但均尚未达到理想的实时融合效果。

微创技术给肝脏外科带来了优势，但同时也面临更多的挑战。肝脏内部肿瘤的精准定位和手术规划仍是我们需要面对的难题。AR 技术在本文的病例中得到了初步应用，基于术前三维重建模型与增强现实的实时导航仍面临很多需要解决的问题。如何进行高精度、实时的非刚性配准是我们需要关注的关键技术。

参考文献

- [1] CHEN W, ZHENG R, Baade P D, et al. Cancer statistic in China, 2015[J]. *CA Cancer J Clin*, 2016, 66 (2): 115–132.
- [2] Buchs N C, Volonte F, François Pugin, et al. Augmented environments for the targeting of hepatic lesions during image-guided robotic liver surgery[J]. *Journal of Surgical Research*, 2013, 184 (2): 825–831.
- [3] 朱呈瞻, 董冰子, 席跃, 等. 机器人辅助与传统腹腔镜肝切除术的效果比较 [J]. *腹腔镜外科杂志*, 2018, 23 (12): 7–10.
- [4] 王壮雄, 李林容, 王芳元, 等. 虚拟和增强现实技术在肝脏外科中的应用 [J]. *实用医学杂志*, 2018, 34 (7): 172–174.
- [5] Marescaux J, Rubino F, Arenas M, et al. Augmented-reality-assisted laparoscopic adrenalectomy[J]. *Journal of the American Medical Association*, 2004, 292 (18): 2214–2215.
- [6] Su L M, Vagvolgyi B P, Agarwal R, et al. Augmented Reality During Robot-assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy: Toward Real-Time 3D-CT to Stereoscopic Video Registration[J]. *Urology*, 2009, 73 (4): 896–900.
- [7] Pessaux P, Diana M, Soler L, et al. Towards cybernetic surgery: Robotic and augmented reality-assisted liver segmentectomy[J]. *Langenbeck's Archives of Surgery*, 2015, 400 (3): 381–385.
- [8] 方驰华, 张鹏, 罗火灵, 等. 增强现实导航技术联合吖啶菁绿分子荧光影像在三维腹腔镜肝切除术中的应用 [J]. *中华外科杂志*, 2019, 57 (8): 578–584.
- [9] Ayoub A, Pulijala Y. The application of virtual reality and augmented reality in Oral and Maxillofacial Surgery[J]. *BMC Oral Health*, 2019, 19 (1): 238–246.
- [10] Kim Y, Kim H, Kim Y O. Virtual Reality and Augmented Reality in Plastic Surgery: A Review[J]. *Archives of Plastic Surgery*, 2017, 44 (3): 179–187.
- [11] Jae-Hak Kim, Adrien Bartoli, Toby Collins, et al. Tracking by detection for interactive image augmentation in laparoscopy. *Proceedings of the 5th International Conference on Biomedical Image Registration (WBIR 2012)* [M]. New York USA: Springer-Verlag, 2012: 246–255.
- [12] Puerto-Souza G A, Mariottini G L. Wide-Baseline Dense Feature Matching for Endoscopic Images [M]. *Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*: Springer, Berlin, Heidelberg, 2013: 48–59.
- [13] Haouchine N, Cotin S, Peterlik I, et al. Impact of Soft Tissue Heterogeneity on Augmented Reality for Liver Surgery[J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2015, 21 (5): 584–597.
- [14] Kenngott H G, Wagner M, Gondan M, et al. Real-time image guidance in laparoscopic liver surgery: first clinical experience with a guidance system based on intraoperative CT imaging[J]. *Surg Endosc*, 2014, 28 (3): 933–940.