

# 3D 虚拟手术规划系统在精准肝脏外科中的应用

孙 逊 综述 许戈良 审校

**摘要** 在肝切除术中,术前重建肝脏与肝内血管、胆管解剖关系及详细评估有功能的残肝体积对手术预后有着重要的意义。近年现代影像技术和手术技术的飞速发展,使得数字化三维(3D)成像开始在术前规划中广泛应用。3D 虚拟肝切除系统可以在 3D 的空间里直观地提供传统二维(2D)成像难以显示的信息以及进行模拟肝切除操作。术中导航系统的应用将术前计算机规划的数据用于术中实时操作,从而让精准肝切除手术的开展更加安全和标准。该文综述 3D 技术在肝脏外科中的临床应用,并讨论实际存在的问题以及发展前景。

**关键词** 虚拟肝切除;计算机辅助手术;三维重建

**中图分类号** R 656

**文献标志码** A **文章编号** 1000-1492(2014)05-0698-03

在肝脏手术中,充分了解肝脏解剖结构及详细评估有功能的残肝体积对肝切除术后的预后有着重要的指导意义。近年来,随着现代影像技术和手术技术的发展,数字化三维(three dimensional, 3D)成像系统开始在包括肝切除术等手术前规划中广泛应用。该系统可帮助临床医师在计算机上重建肝脏解剖结构,在 3D 的空间里直观地了解肿瘤的位置及其与周围血管、胆管的解剖关系<sup>[1-2]</sup>,设计不同的肝切除线进行虚拟肝脏切除手术,从而协助外科医师制定出最佳的手术方案。现就 3D 技术在肝脏外科中的应用做一综述。

## 1 肝脏结构的 3D 可视化

在传统肝脏手术规划中,外科医师只能通过二维(two dimensional, 2D)影像(CT/MRI/超声检查等)观察肝脏,可视化效果差,对于肿瘤边缘显影模糊<sup>[3]</sup>,其对于小肝癌(hepatocellular carcinoma, HCC)的检测较差<sup>[4]</sup>。这种通过 2D 影像在医师脑海中重

建肝脏解剖结构的方法存在个人主观性,并且受到肝脏外科医师的经验及专业知识水平的影响较大<sup>[5]</sup>,造成缺乏临床经验的年轻肝脏外科医师难以正确理解肝脏的立体解剖结构,并且无法共享那些拥有丰富临床经验的高年资医师脑海中成熟的图像。

现可以利用计算机 3D 重建软件以及图像处理技术对采集到的 2D 图像进行 3D 重建,从而实现肝脏结构的 3D 可视化,形成之后的 3D 立体肝脏结构图像可以提供 2D 图像难以显示的区域<sup>[6]</sup>并得到客观的、可以共享的肝脏解剖信息,其图像具有精确、生动、逼真的特点。

目前,64 排螺旋 CT 3D 成像系统已经开始广泛应用于临床,其能够精确地显示肝脏病灶与肝内管道系统的立体结构空间位置以及毗邻关系,不仅解决了传统解剖学定位不清晰的难题,还可以用于全方位、整体、清晰显示门静脉属支及其侧枝循环,对于门脉高压症(portal hypertension, PHT)病因诊断及制定外科手术方案有重要指导价值<sup>[7]</sup>。

肝脏 3D 图像为制定下一步手术计划提供最真实、可靠的决策依据,并可用于临床模拟与教学工作<sup>[8]</sup>。该图像还可满足医师与患者家属沟通病情的需要,为患者家属提供个体化、易懂的影像资料,让患者及其家属对疾病有初步的视觉认知,并对即将进行的手术中的风险有较直观的了解,避免因沟通不足、理解错误而造成医患纠纷。

## 2 肝脏体积 3D 数字化测算

肝脏具有强大的代偿和再生潜能,正常肝脏可以耐受 70%~80% 体积的肝切除<sup>[9]</sup>,然而当患者患有活动性肝炎、肝硬化等急慢性肝损害时,肝脏所能耐受的切除范围也相应降低。黄志强<sup>[10]</sup>曾提出肝脏手术中残肝百分比在不同肝功能 Child 分级的标准:术前肝功能与残肝百分比对应 Child A > 50%, Child B > 75%, Child C 的患者只能局部切除不能耐受大手术。Shirabe et al<sup>[11]</sup>回顾性分析 284 例患者行肝癌切除手术,结果提示残肝体积的大小与肝切除术后发生肝功能不全及肝衰竭有着密切的关系。

2014-02-24 接收

基金项目:安徽省 2011 年科技攻关项目(编号:11010402163)

作者单位:安徽医科大学附属省立医院肝脏外科,肝胆胰外科安徽省重点实验室,合肥 230001

作者简介:孙 逊,男,硕士研究生;

许戈良,男,主任医师,博士生导师,责任作者, E-mail:

xugeliang2007@163.com

过去,残肝体积的评估主要依据 2D(CT/MRI)影像模糊估算及术中对实体肝脏的大致目测,无法满足现代肝脏外科对于“精准”的需求。如今,将 2D 影像数据输入 3D 重建软件中,经过计算机的自动累加和外科医师的手工勾画,最后得到精确的全肝体积、预切肝脏体积以及残肝体积的数据<sup>[12]</sup>。林科灿等<sup>[13]</sup>对 127 例肝癌患者进行虚拟肝切除手术,通过软件测得预切除肝脏体积为 $(477 \pm 223)$  ml,实际切除肝脏体积为 $(451 \pm 209)$  ml,误差率为 6.1%。Lang et al<sup>[14]</sup>对 21 例同时使用 2D 手术规划以及 3D 重建并虚拟手术的肝癌病例进行分析,对余肝有功能肝体积估计差异:其中 <20% 占 14 例,20% 和 30% 之间 3 例,30% 和 40% 之间 2 例,40% 和 50% 之间 2 例,其中差别最大的为扩大左肝切除。因此与传统方法比较,虚拟手术系统对预测的肝切除体积更加精确<sup>[15]</sup>。

基于 3D 数字化模拟系统,Saito et al<sup>[16]</sup>通过虚拟静脉灌注,将肝体积按比例划分区域,得到每根血管的供血(引流)区域,在术前对模拟切除静脉后残肝的缺血(淤血)进行量化分析,进一步提高精准肝切除手术的安全性和精准性。在术前通过使用 3D 重建软件精确测算血管所支配的功能体积,是进行精准肝切除的必要工具<sup>[17]</sup>,并且对精准肝切除计划的制定起到一定的指导作用。

### 3 计算机模拟 3D 肝切除

3D 数字化计算机辅助规划系统的应用能够客观精确地展示病灶以及病灶周围受累情况,并且可以进行功能性残肝体积评估,为下一步手术医师设计和优化肝切除线路提供客观的依据,从而降低手术风险及术后并发症。术前对病灶的 3D 评估和手术计划将成为当前肝脏外科的常规准备<sup>[18]</sup>。

计算机 3D 肝切除系统可以在术前准确的定位肝内血管管道的关系,避免术中不必要的出血<sup>[19]</sup>,在对术前有肝功能代偿问题或须行广泛肝切除的患者进行 3D 评估有实用价值。3D 虚拟手术设计对于活体肝移植术前详细了解肝动静脉、门静脉血管变异情况有很大帮助,依此判断供体肝脏与受体血管匹配度,从而减少肝移植术后的并发症<sup>[20]</sup>,准确了解供肝血管解剖及正确的手术设计是保证活体肝移植供、受者手术成功的先决条件<sup>[21]</sup>。

应用 3D 数字化计算机辅助手术规划系统,能够在术前提供清晰的肝内肝动脉、门静脉和肝静脉

等血管结构的分布情况,对病灶与毗邻血管的空间解剖关系进行量化分析,尤其对于评估复杂的尾状叶肿瘤与血管的关系明显优于传统 2D 影像<sup>[22]</sup>,增加复杂性肝切除手术规划的准确率及手术安全性<sup>[23]</sup>。其具有可以任意移动、旋转、切割等多种功能,虚拟肝切除手术的直观性、可修改、可重复性是 3D 技术应用的最大优点。

计算机模拟 3D 肝切除技术应用于腹腔镜手术的术前规划<sup>[24]</sup>能够在术前更加精确地分析手术创伤大小,制定最佳手术方案减少手术对患者的创伤,旨在追求“最小创伤侵袭、最大脏器保护和最佳康复效果<sup>[9]</sup>”。未来 3D 技术将成为推动腹腔镜微创外科发展的重要辅助工具。

实施计算机模拟 3D 肝切除能够在术前制定出详细的肝切除线路图,对现实手术中可能出现的复杂和危险进行预判,在设计手术切割面时对可能损伤到周围重要血管或胆管时需进行方案调整,比较不同的手术方案的优缺点,便于手术医师应对术中突发情况随时改变手术方案,增加手术医师对手术过程的理解和信心,从而提高手术的精确性及安全性<sup>[25]</sup>。

### 4 计算机 3D 技术的不足

3D 数字化技术在精准肝切除中的实际应用仍存在一些问题,3D 计算机辅助肝切除手术线路的设计及修改过程中需要手动操作,这一过程将耗费外科医师大量时间。由于肿瘤压迫等原因造成血管显影不清或患者因过敏体质无法采集 2D 增强数据等都会影响 3D 重建软件的正常使用。

3D 计算机辅助肝切除是在虚拟空间中进行的手术操作,而现实肝脏手术中肝脏会因手术医师的操作而改变形状,被手术者的呼吸运动还可以造成肝脏位置的不断变化,这些原因都会导致无法将术前影像资料与手术中实时情况进行精准的配对<sup>[26-27]</sup>。因此 3D 虚拟肝切除技术目前只能用于术前 3D 成像及模拟肝切除等步骤,尚不能完成对实时手术中的导航。

### 5 计算机 3D 技术未来展望

目前,术中导航系统已经在神经外科、颌面外科、整形外科等拥有骨性框架的专科中广泛应用。有研究者已经开始研究导航系统在肝脏外科中的应用<sup>[26]</sup>,导航系统联合术中超声在实时开放手术中的

使用已有报道<sup>[27]</sup>,术中导航系统的应用可以将术前规划的数据用于实时操作,从而让精准肝切除手术的开展更加安全和标准<sup>[28]</sup>,可以预见,3D计算机技术将在精准肝脏外科发展中发挥越来越大的作用。在未来,还能够将术中实时3D可视化手术导航系统与达芬奇机器人手术系统相结合,可以让机器人独立手术得以实现。

### 参考文献

- [1] Nanashima A, Abo T, Sakamoto I, et al. Three-dimensional fusion images of hepatic vasculature and bile duct used for preoperative simulation before hepatic surgery [J]. *Hepatogastroenterology*, 2012, 59(118):1748-57.
- [2] Shen X Y, Chai C H, Xiao W B, et al. Diagnostic value of the fluoroscopic triggering 3D LAVA technique for primary liver cancer [J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int* 2010, 9(2):159-63.
- [3] Fukuda H, Numata K, Nozaki A, et al. Usefulness of US-CT 3D dual imaging for the planning and monitoring of hepatocellular carcinoma treatment using HIFU [J]. *Eur J Radiol*, 2011, 80(3):e306-10.
- [4] Fukuda H, Ito R, Ohto M, et al. US-CT 3D dual imaging by mutual display of the same sections for depicting minor changes in hepatocellular carcinoma [J]. *Eur J Radiol* 2012, 81(9):2014-9.
- [5] Lamade W, Glombitza G, Hscher L, et al. The impact of 3-dimensional reconstructions on operation planning in liver surgery [J]. *Arch Surg* 2000, 135(11):1256-61.
- [6] Mise Y, Tani K, Aoki T, et al. Virtual liver resection: computer-assisted operation planning using a three-dimensional liver representation [J]. *J Hepatobiliary Pancreat* 2013, 20(2):157-64.
- [7] 方驰华, 项楠, 范应方, 等. 64层螺旋CT门静脉三维成像在门静脉高压症中的应用价值[J]. *第四军医大学学报* 2007, 28(10):919-21.
- [8] 陈刚, 张绍祥, 谭立文, 等. 中国人三维数字化肝脏模型系统的建立[J]. *中华肝胆外科杂志*. 2010, 16(10):734-7.
- [9] 董家鸿, 黄志强. 精准肝切除——21世纪肝脏外科新理念[J]. *中华外科杂志* 2009, 47(21):1601-5.
- [10] 黄志强. *腹部外科手术学*[M]. 3版. 长沙:湖南科学技术出版社 2002:517-8.
- [11] Shirabe K, Shimada M, Gion T, et al. Postoperative liver failure after major hepatic resection for hepatocellular carcinoma in the modern era with special reference to remnant liver volume [J]. *J Am Coll Surg* 1999, 188(3):304-9.
- [12] 方驰华, 冯石坚, 范应方, 等. 三维可视化技术在评估残肝体积及指导肝切除中的应用研究[J]. *肝胆外科杂志* 2012, 20(2):95-8.
- [13] 林科灿, 刘景丰, 曾金华, 等. 虚拟肝脏手术规划应用于肝切除术的研究[J]. *中华外科杂志* 2010, 48(3):185-8.
- [14] Lang H, Radtke A, Hindennach M, et al. Impact of virtual tumor resection and computer-assisted risk analysis on operation planning and intraoperative strategy in major hepatic resection [J]. *Arch Surg* 2005, 140(7):629-38.
- [15] Yamanaka J, Saito S, Iimuro Y, et al. The impact of 3-D virtual hepatectomy simulation in living-donor liver transplantation [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Surg* 2006, 13(5):363-9.
- [16] Saito S, Yamanaka J, Miura K, et al. A novel 3D hepatectomy simulation based on liver circulation: application to liver resection and transplantation [J]. *Hepatology* 2005, 41(6):1297-304.
- [17] 杨世忠, 张文智, 蔡守旺, 等. 计算机辅助手术规划系统在精准肝切除中的应用价值[J]. *中华消化外科杂志* 2010, 9(1):31-4.
- [18] Yamanaka J, Saito S, Fujimoto J, et al. Impact of preoperative planning using virtual segmental volumetry on liver resection for hepatocellular carcinoma [J]. *World J Surg* 2007, 31(6):1249-55.
- [19] Mutter D, Dallemagne B, Bailey C H, et al. 3D virtual reality and selective vascular control for laparoscopic left hepatic lobectomy [J]. *Surg Endosc* 2009, 23(2):432-5.
- [20] Zein N N, Hanounch I A, Bishop P D, et al. 3-dimensional (3D) print of liver for preoperative planning in live donor liver transplantation [J]. *Liver Transpl* 2013, 19(12):1304-10.
- [21] 朱志军, 李俊杰, 张建军, 等. 肝脏血管解剖与活体肝移植供者选择[J]. *中华器官移植杂志* 2010, 31(3):167-9.
- [22] Kamiyama T, Nakagawa T, Nakanishi K, et al. Preoperative evaluation of hepatic vasculature by three-dimensional computed tomography in patients undergoing hepatectomy [J]. *World J Surg*, 2006, 30(3):400-9.
- [23] 方驰华, 刘星星, 范应方, 等. 3D技术在复杂性肝切除术中的安全性评价[J]. *南方医科大学学报* 2012, 32(8):1116-21.
- [24] Yamanaka J, Okada T, Saito S, et al. Minimally invasive laparoscopic liver resection: 3D MDCT simulation for preoperative planning [J]. *Hepatobiliary Pancreat Surg* 2009, 16(6):808-15.
- [25] Lamata P, Lamata F, Sojar V, et al. Use of the resection map system as guidance during hepatectomy [J]. *Surg Endosc* 2010, 24(9):2327-37.
- [26] Markert M, Koschany A, Lueth T. Tracking of the liver for navigation in open surgery [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2010, 5(3):229-35.
- [27] Srimathveeravalli G, Leger J, Ezell P, et al. A study of porcine liver motion during respiration for improving targeting in image-guided needle placements [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2013, 8(1):15-27.
- [28] Mise Y, Tani K, Aoki T, et al. Virtual liver resection: computer-assisted operation planning using a three-dimensional liver representation [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci* 2013, 20(2):157-64.