

多排螺旋CT三维重建技术在肝癌切除术中的应用

席江伟, 梅铭惠

■背景资料

外科手术是肝癌最佳的治疗手段, 目前精准肝脏外科时代在完全切除病灶的同时, 需确保残肝解剖结构完整和功能体积最大化, 并最大限度控制术中出血, 从而使手术患者获得最佳康复效果。

席江伟, 梅铭惠, 桂林医学院附属医院肝胆胰外科 广西壮族自治区桂林市 541001

作者贡献分布: 本文综述由席江伟完成; 梅铭惠审校。

通讯作者: 梅铭惠, 教授, 主任医师, 541001, 广西壮族自治区桂林市, 桂林医学院附属医院肝胆胰外科。

mhmei616@yahoo.com.cn

电话: 0773-2824373

收稿日期: 2011-07-28 修回日期: 2011-09-15

接受日期: 2011-09-19 在线出版日期: 2011-09-28

Application of multi-slice spiral CT three-dimensional reconstruction technique in liver resection for hepatic carcinoma

Jiang-Wei Xi, Ming-Hui Mei

Jiang-Wei Xi, Ming-Hui Mei, Department of Hepatobiliary Surgery, Affiliated Hospital of Guilin Medical College, Guilin 541001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Correspondence to: Professor Ming-Hui Mei, Department of Hepatobiliary Surgery, Affiliated Hospital of Guilin Medical College, Guilin 541001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. mhmei616@yahoo.com.cn

Received: 2011-07-28 Revised: 2011-09-15

Accepted: 2011-09-19 Published online: 2011-09-28

Abstract

Hepatic carcinoma is a very common disease across the world, and hepatic resection is still the best treatment. As the liver has complex anatomy and frequent vascular variations, it is of great importance to obtain some preoperative data, such as the position of liver cancer and its relationship with liver vessels and adjacent structures. Now, three-dimensional reconstruction technique allows to clearly show the relationship of the hepatic artery, portal vein, hepatic vein and tumor with surrounding structures and accurately calculate the remnant liver volume, providing valuable preoperative imaging data for liver resection. This article will give an overview of three-dimensional reconstruction technique and discuss its ability to display liver vascularity, show the relationship between tumors and liver blood vessels, and predict liver resection volume.

■同行评议者

李胜, 研究员, 山东省肿瘤防治研究院 肝胆外科; 黄志勇, 教授, 华中科技大学同济医院普外科; 金山, 副主任医师, 内蒙古医学院附属医院普外科

Key Words: Three-dimensional reconstruction; Hepatic carcinoma; Liver vascularity; Liver volume

Xi JW, Mei MH. Application of multi-slice spiral CT three-dimensional reconstruction technique in liver resection for hepatic carcinoma. *Shijie Huaren Xiaohua Zazhi* 2011; 19(27): 2852-2856

摘要

肝癌发病率较高, 目前外科手术切除仍是其最佳的治疗手段, 但肝内解剖结构复杂, 血管变异较多, 故术前了解肝内肿瘤及其侵犯的部位, 以及肿瘤与肝内血管的毗邻关系对肝肿瘤切除具有重要意义。如今随着CT三维成像技术的应用术前可清楚直观地显示肝动脉、肝门静脉、肝静脉的解剖结构和病灶与周围组织的解剖毗邻关系以及精确计算残肝体积, 为肝肿瘤切除的安全性和可行性提供有价值的影像学资料。本文就三维重建技术的常用方法及其在显示肝脏内血管、肝脏肿瘤与周边血管解剖关系、肝脏体积测定等方面的能力作一详细介绍。

关键词: 三维重建; 肝癌; 肝脏血管; 肝脏体积

席江伟, 梅铭惠. 多排螺旋CT三维重建技术在肝癌切除术中的应用. *世界华人消化杂志* 2011; 19(27): 2852-2856

<http://www.wjgnet.com/1009-3079/19/2852.asp>

0 引言

外科手术是肝癌最佳的治疗手段, 目前精准肝脏外科时代在完全切除病灶的同时, 需确保残肝解剖结构完整和功能体积最大化, 并最大限度控制术中出血, 从而使手术患者获得最佳康复效果^[1]。因此术前了解肝内肿瘤及其侵犯的部位以及肿瘤与肝内血管的毗邻关系对肝癌切除具有重要意义。本文就CT三维重建技术在肝癌手术中的应用进行综述。

1 三维重建技术

三维重建技术是指在螺旋CT扫描的原始二维图像基础上利用其3D工作站提供的图像后处理

技术重建出的立体图像。目前在肝脏外科最常使用的方法有多层面重组(multi-planar reformation, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、表面遮盖显示(shaded surface display, SSD)和容积再现技术(volume rendering, VR)。(1)MPR以横断面图像为基础,可快速重建任何平面图像,清晰显示该平面内血管走行及器官实质和病灶的信息,但所选平面之外组织皆不能重建,故不利于呈现弯曲血管的全部走行^[2-4];(2)MIP是根据不同角度方向上投射射线通过容积图像后将各条射线上最大像素通过图像重建后形成的投影图。他重建的血管空间感强,可直观显示血管的狭窄和中断、但因重组时大量信息的丢失不利于血管腔内病变的显示,且不能在一张图像上清晰地显示血管和肿瘤的解剖关系^[2-4];(3)SSD通过阈值设定重组表面图像,可很好地显示血管和癌灶的解剖关系,直观空间感强,尤其能更好地显示血管互相交叠或弯曲的复杂解剖部位,但影像信息与操作员重建图像时设定的阈值关系密切,高阈值可使重建图像血管腔产生假性狭窄、相反低阈值则血管腔显示增宽,并且较小血管易出现逼真的狭窄或堵塞的伪像^[2-4];(4)VR可综合利用物体的每一个像素,沿着某一特定投射射线对全部像素总合后利用容积数据处理后显示图像信息。他可将肝脏、肿瘤和血管重建于同一图像上,显示多个层面内组织间的全面解剖关系,重建图像逼真、层面丰富,微小结构亦可清楚地呈现^[2-4]。

2 三维重建技术对肝脏血管显示能力的研究

三维重建图像均可清晰地显示肝总动脉和门静脉主干及他们的细小分支。卓水清等^[5]研究认为MIP、VR、SSD均可清楚地呈现肝动脉和门静脉4级以上的细小分支,有的可达7级。MIP显示肝动脉的能力较强,而三者中SSD显示肝动脉的能力相对较弱;门静脉显示能力MIP和VR无显著差异,均强于SSD;而对于血管和周边结构空间关系的显示,SSD和VR无显著差异,但二者均优于MIP。Byun等^[6]研究表明MIP发现肝动脉解剖变异的灵敏度和特异性分别是89.5%和92.7%,而VR是57.9%和87.8%。国内学者^[7-9]研究发现64排螺旋CT三维重建可清楚直观地显示肝动脉和肝门静脉的6-8级分支,重建血管影像可全方位多角度地显示肝动脉、肝门静脉和肝静脉的正常解剖和异常走行以及他们在肝内错综复杂的空间关系,对于活体肝血管的研究、临床应用

和教学等有重要的意义。林志东等^[10]研究表明64排螺旋CT动脉血管三维重建与血管造影效果一致、可为肝癌患者介入术前了解肿瘤供血血管的走行和起源以及术中血管栓塞范围和部位作出确切的评估、介入治疗时亦可减少血管造影次数和对比剂用量及医患辐射剂量。

Savastano等^[11]利用VR和MIP在描述内脏动脉解剖上的正确率分别为71.9%和94.6%,研究表明CT三维血管重建大多数情况下可取代有创的血管造影术。Stemmler等^[12]对43例肝癌患者行肝动脉三维重建后,有40人肝动脉术前影像评估与术中探查相符合,存在差异的3名患者术中探查存在有细小的左副肝动脉未被三维影像识别,而二维图像这些细小的副肝动脉均被显示,表明在显示细小动脉图像上二维影像优于三维影像,但在显示血管的空间结构上不及三维影像。

因此,在肝脏肿瘤中,螺旋CT薄层扫描所获得的动静脉双期影像资料,利用三维重建的方式可清楚地显示肝动脉、门静脉和肝静脉的解剖结构,为肝肿瘤切除的安全性和可行性提供有价值的影像学资料^[13]。而我认为三维成像技术各具优势,临床诊治中应相互结合,可为术前全面评估血管走行情况及其与肿瘤的空间关系提供更多、更可靠的影像学信息。

3 三维重建技术显示肝癌与肝内血管解剖关系的研究

目前多排螺旋CT三维重建技术可进行任意平面和多种方式的图像重建,提供肝脏相关血管清晰的三维空间图像且可任意角度旋转,从不同的方向对某一血管的走形、肿瘤与毗邻血管系统的解剖关系进行多方位、多角度的观察^[14-17]。

Sahani等^[18]研究提示一半的肝癌患者存在肝动脉的解剖变异,而门静脉的异常走行会使肝癌的切除复杂化,如少数患者门静脉的右前支起源于门静脉的左支;或者较粗大的肝静脉引流第Ⅷ段肝血流至肝中静脉;一条或多条副肝静脉引流V、VI段直接汇入下腔静脉的情况亦不少见,所有这些静脉系统的变异如果术者在术前没有充分了解,手术均有可能导致严重的并发症。三维重建技术可清晰地显示肿瘤与肝内血管的毗邻关系,并且肿瘤的供血血管和引流肿瘤区域的肝静脉亦可清楚地显示,还可以观察肿瘤有无血管浸润和转移,用以指导手术治疗^[19,20]。聂世琨等^[21]研究发现64排螺旋CT三维成像可以很好的显示肿瘤的边界和累及范围,

■ 研发前沿

Kinoshita等在小儿外科中应用三维重建图像与有创血管造影术比较同样可清晰地显示异常及变异的血管分支,并且可提供高质量的肿瘤与血管的空间关系图像,但选择适当的造影剂量和增强作用的时限仍有待解决。

■相关报道

林志东等研究表明64排螺旋CT动脉血管三维重建与血管造影效果一致、可为肝癌患者介入术前了解肿瘤供血血管的走行和起源以及术中血管栓塞范围和部位作出确切的评估、介入治疗时亦可减少血管造影次数和对对比剂用量及医患辐射剂量。

特别能精确判断肿瘤与肝脏血管的关系,充分了解肝脏血管变异情况,重建结果对病变程度估计及指导外科治疗抉择有重要价值。

三维重建可为外科医生提供清晰的、直观的肝脏空间图像,在准确定位肿瘤的空间位置及精确制定手术计划上均优于二维图像^[22,23]。Kamiyama等^[24]研究表明三维重建能够清晰地显示肝动脉和门静脉的3级分支及其与肿瘤的空间关系,还可以了解血管受肿瘤侵犯或压迫的程度,并可将肝动脉、门静脉、肝静脉分别或一并与肿瘤成像在同一图像上。Endo等^[25]应用三维重建技术评估门静脉和肝动脉受肝门部胆管癌侵犯的灵敏度、特异性、准确率分别为100%、80%、87%和75%、91%、87%,并可准确提供肝门部肿瘤与邻近门静脉和肝动脉及其分支的空间关系。Kinoshita等^[26]在小儿外科中应用三维重建图像与有创血管造影术比较同样可清晰地显示异常及变异的血管分支,并且可提供高质量的肿瘤与血管的空间关系图像,但选择适当的造影剂量和增强作用的时限仍有待解决。

目前多数学者^[20,27,28]将三维重建图像资料输入计算机特殊软件系统后可以在术前直观地模拟演示手术过程,通过虚拟手术可制定最佳的手术切线,有效地指导术中完整的切除肝肿瘤,避免术中过度切除肝实质细胞,本项研究表明虚拟肿瘤切除术与临床手术探查结果及过程可完全符合。何强等^[29,30]研究认为手术时间和术中出血量与术后肝功能衰竭密切相关。多数学者^[31-34]研究认为三维重建能够直观清晰地显示肝脏血管、胆道的正常结构和变异情况以及他们与肿瘤的空间毗邻关系,术前可精确了解肝脏手术区域错综复杂的解剖关系,为术中设计安全的手术路线提供依据,避免术中重要血管和胆道的损伤。因此我认为术前三维重建了解肿瘤与肝内血管的解剖关系,有着十分重要的临床意义。

4 三维重建技术在测量肝脏体积中的研究

目前多数学者已将肝脏体积的精确测量视为与Child-Pugh分级相同重要的肝储备功能指标^[35-37]。研究发现^[38,39]没有肝硬化的患者,余肝体积大于术前全肝体积的26%是安全的,反之余肝量小于25%术后发生肝衰竭的风险将明显增加。Rau等^[40]回顾性研究570例肝切除患者的相关资料,结果显示肝切除体积率小于20%者术后仅3%发生肝衰竭,且均可治愈;而肝切除体积率大于70%者术后50%可发生不可治愈的肝衰竭。多数

学者认为^[37,39,41]残余肝脏体积(RLV)和残肝分数(%RLV = 残肝体积/功能性肝体积)是术后发生肝衰竭的重要因素,而术后肝衰竭的预测%RLV比RLV更敏感,%RLV的临界值为26.6%。Shirabe等^[42]发现标准残肝体积(standard remnant liver volume, SRLV = 残肝体积/患者体表面积)与术后肝功能障碍的发生密切相关,SRLV < 250 mL/m²者术后出现肝衰竭的机率为7/20,而>250 mL/m²者无肝衰竭发生。在我国,肝癌常合并肝硬化,陈熙等^[43]研究认为肝硬化肝癌患者SRLV的临界值为416 mL/m²。我认为术后余肝体积决定于肝储备功能的状况,肝功能好时,手术切除肝脏较多也是相对安全的,反之则术后发生肝衰竭的风险增加。

三维重建法测量肝脏体积是利用三维重建软件将CT薄层扫描的断层肝脏影像进行三维重建后利用体素的原理从而计算出各个目标肝脏区域的体积^[44-46]。且任选方法的三维后处理技术不仅能精确测量出全肝体积,还能准确测定出肝脏切除比例及剩余肝体积,提供一种能准确估计肝切除量的有效方法^[47,48]。Schiano等^[35]对大样本($n = 579$)肝脏移植患者的研究显示CT测量肝脏体积与术后测得实际肝脏体积的平均比值为1.03。近些年来国外学者^[34,49,50]利用计算机三维重建技术能够较精确的计算肝脏体积,其平均误差范围小于30 mL。Yamanaka等^[51]利用计算机三维重建软件系统术前计算切除肝脏体积与术后实际切除体积比较显示其相关系数 $R = 0.96$,平均误差9.3 mL。我认为多排螺旋CT三维重建可以准确测量肝脏体积和肿瘤体积,对于肿瘤较大需行半肝甚至更多肝段切除的病人,术前通过三维重建测量残肝体积,可有效的减少术后发生肝衰竭的风险。

5 结论

目前随着肝脏外科技术的不断发展,对术前影像学资料的评估提出了更高的要求,三维成像技术可为肝脏疾病的临床诊治提供更丰富更高质量的影像学信息,从而为评估手术的可实施性及完善手术计划提供重要依据,必将成为临床的一项常规技术,促进肝脏外科的进一步发展。

6 参考文献

- 1 董家鸿, 郑树森, 陈孝平, 窦科峰, 樊嘉, 别平, 耿小平, 吕文平. 肝切除术术前肝脏储备功能评估的专家共识. 中华消化外科杂志 2011; 10: 20-25

- 2 王俊. EBCT三维重建技术的应用. 医疗设备信息仪器原理及使用 2003; 18: 25-29
- 3 路涛, 周翔平. 多层螺旋CT肝血管三维重建及临床应用. 中国普外基础与临床杂志 2006; 13: 233-236
- 4 Shin HO, Falck TK, Galanski M. Low-contrast detectability in volume rendering: a phantom study on multidetector-row spiral CT data. *Eur Radiol* 2004; 14: 341-349
- 5 卓水清, 吕衍春, 吴沛宏, 刘立志, 陈林, 陈勇新, 王琰. 16排螺旋CT对肝动脉、门静脉血管三维成像的应用研究. 影像诊断与介入放射学 2006; 15: 178-181
- 6 Byun JH, Kim TK, Lee SS, Lee JK, Ha HK, Kim AY, Kim PN, Lee MG, Lee SG. Evaluation of the hepatic artery in potential donors for living donor liver transplantation by computed tomography angiography using multidetector-row computed tomography: comparison of volume rendering and maximum intensity projection techniques. *J Comput Assist Tomogr* 2003; 27: 125-131
- 7 王剑华, 周庭永, 吕发金, 张琳, 张本斯, 李琦, 陆云峰. 64层螺旋CT肝血管三维重建研究及其意义. 中国临床解剖学杂志 2008; 26: 291-194
- 8 杨新文, 王剑华, 周庭永, 吕发金, 洪永华. 64层螺旋CT三维重建活体肝静脉的研究及其临床意义. 中国临床解剖学杂志 2009; 27: 408-411
- 9 王剑华, 周庭永, 杨文新, 吕发金, 张本斯, 张琳, 杜赵康. 64层螺旋CT三维重建活体肝动脉的研究. 中国临床解剖学杂志 2009; 27: 690-693.
- 10 林志东, 文宪佩, 符孔, 王邦浩. 肝癌肝外血管多层螺旋CT三维重建的临床应用. 介入放射学杂志 2010; 19: 607-609
- 11 Savastano S, Teso S, Corrà S, Fantozzi O, Miotto D. Multislice CT angiography of the celiac and superior mesenteric arteries: comparison with arteriographic findings. *Radiol Med* 2002; 103: 456-463
- 12 Stemmler BJ, Paulson EK, Thornton FJ, Winters SR, Nelson RC, Clary BM. Dual-phase 3D MDCT angiography for evaluation of the liver before hepatic resection. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 183: 1551-1557
- 13 Atasoy C, Akyar S. Multidetector CT: contributions in liver imaging. *Eur J Radiol* 2004; 52: 2-17
- 14 Schoepf UJ, Becker CR, Ohnesorge BM, Yucel EK. CT of coronary artery disease. *Radiology* 2004; 232: 18-37
- 15 Catalano C, Fraioli F, Laghi A, Napoli A, Bezzi M, Pediconi F, Danti M, Nofroni I, Passariello R. Infra-renal aortic and lower-extremity arterial disease: diagnostic performance of multi-detector row CT angiography. *Radiology* 2004; 231: 555-563
- 16 Segmentation and reconstruction of hepatic veins and intrahepatic portal vein based on the coronal sectional anatomic dataset. *Surg Radiol Anat* 2009 May 29. [Epub ahead of print]
- 17 Shin DS, Chung MS, Lee JW, Park JS, Chung J, Lee SB, Lee SH. Advanced surface reconstruction technique to build detailed surface models of the liver and neighboring structures from the Visible Korean Human. *J Korean Med Sci* 2009; 24: 375-383
- 18 Sahani D, Saini S, Pena C, Nichols S, Prasad SR, Hahn PF, Halpern EF, Tanabe KK, Mueller PR. Using multidetector CT for preoperative vascular evaluation of liver neoplasms: technique and results. *AJR Am J Roentgenol* 2002; 179: 53-59
- 19 Ryu M, Cho A. [Usefulness of image-navigated surgery in liver surgery]. *Nihon Geka Gakkai Zasshi* 2008; 109: 71-76
- 20 Fang CH, Lu CM, Huang YP, Li XF, Fan YF, Yang J, Xiang N, Pan JH. [Study on the application of value of digital medical technology in the operation on primary liver cancer]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 2009; 47: 523-526
- 21 聂世琨, 方驰华, 杨剑, 范应方, 全显跃, 梁文, 项楠, 唐海亮. 64排螺旋CT诊断肝癌临床价值研究. 中华实用外科杂志 2007; 9: 720-722
- 22 Herfarth C, Lamadé W, Fischer L, Chiu P, Cardenas C, Thorn M, Vetter M, Grenacher L, Meinzer HP. The effect of virtual reality and training on liver operation planning. *Swiss Surg* 2002; 8: 67-73
- 23 Jurgaitis J, Paskonis M, Pivoriūnas J, Martinaityte I, Juska A, Jurgaitiene R, Samuilis A, Volf I, Schöbinger M, Schemmer P, Kraus TW, Strupas K. The comparison of 2-dimensional with 3-dimensional hepatic visualization in the clinical hepatic anatomy education. *Medicina (Kaunas)* 2008; 44: 428-438
- 24 Kamiyama T, Nakagawa T, Nakanishi K, Kamachi H, Onodera Y, Matsushita M, Todo S. Preoperative evaluation of hepatic vasculature by three-dimensional computed tomography in patients undergoing hepatectomy. *World J Surg* 2006; 30: 400-409
- 25 Endo I, Shimada H, Sugita M, Fujii Y, Morioka D, Takeda K, Sugae S, Tanaka K, Togo S, Bourquain H, Peitgen HO. Role of three-dimensional imaging in operative planning for hilar cholangiocarcinoma. *Surgery* 2007; 142: 666-675
- 26 Kinoshita Y, Souzaki R, Tajiri T, Ieiri S, Hashizume M, Taguchi T. A preoperative evaluation for neo-infantile liver tumors using a three-dimensional reconstruction of multidetector row CT. *Oncol Rep* 2009; 21: 881-886
- 27 Lin KC, Liu JF, Zeng JH, Chi MH, Zeng YY, Luo SF, Huang AM. [Study on virtual liver surgery planning applied to hepatic resection]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 2010; 48: 185-188
- 28 Hansen C, Zidowitz S, Hindennach M, Schenk A, Hahn H, Peitgen HO. Interactive determination of robust safety margins for oncologic liver surgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2009; 4: 469-474
- 29 何强, 梁力建, 彭宝岗, 殷晓煜, 黄洁夫. 大肝癌手术切除的风险性分析. 中华普通外科杂志 2004; 19: 197-199.
- 30 何强, 彭宝岗, 梁力建. 肝癌合并肝硬化大块肝切除的手术风险. 中国现代医学杂志 2006; 16: 1-4
- 31 Uchida M, Ishibashi M, Sakoda J, Azuma S, Nagata S, Hayabuchi N. CT image fusion for 3D depiction of anatomic abnormalities of the hepatic hilum. *AJR Am J Roentgenol* 2007; 189: W184-W191
- 32 Dong Q, Xu W, Jiang B, Lu Y, Hao X, Zhang H, Jiang Z, Lu H, Yang C, Cheng Y, Yang X, Hao D. Clinical applications of computerized tomography 3-D reconstruction imaging for diagnosis and surgery in children with large liver tumors or tumors at the hepatic hilum. *Pediatr Surg Int* 2007; 23: 1045-1050
- 33 Endo I, Shimada H, Takeda K, Fujii Y, Yoshida K, Morioka D, Sadatoshi S, Togo S, Bourquain H, Peitgen HO. Successful duct-to-duct biliary reconstruction after right hemihepatectomy. Operative planning using virtual 3D reconstructed images. *J Gastrointest Surg* 2007; 11: 666-670
- 34 Chen G, Li XC, Wu GQ, Wang Y, Fang B, Xiong XF, Yang RG, Tan LW, Zhang SX, Dong JH. The use of virtual reality for the functional simulation of hepatic tumors (case control study). *Int J Surg* 2010; 8: 72-78
- 35 Schiano TD, Bodian C, Schwartz ME, Glajchen N, Min AD. Accuracy and significance of computed tomographic scan assessment of hepatic volume in patients undergoing liver transplantation. *Trans-*

■应用要点

三维成像技术可为肝脏疾病的临床诊治提供更丰富更高质量的影像学信息, 从而为评估手术的可实施性及完善手术计划提供重要依据, 必将成为临床的一项常规技术, 促进肝脏外科的进一步发展。

■同行评价

本综述内容基本反映该领域的最新进展,具有一定的科学价值。

- plantation 2000; 69: 545-550
- 36 Mullin EJ, Metcalfe MS, Maddern GJ. How much liver resection is too much? *Am J Surg* 2005; 190: 87-97
- 37 Wakabayashi H, Ishimura K, Izuishi K, Karasawa Y, Maeta H. Evaluation of liver function for hepatic resection for hepatocellular carcinoma in the liver with damaged parenchyma. *J Surg Res* 2004; 116: 248-252
- 38 Vauthey JN, Chaoui A, Do KA, Bilimoria MM, Fenstermacher MJ, Charnsangavej C, Hicks M, Alsfasser G, Lauwers G, Hawkins IF, Caridi J. Standardized measurement of the future liver remnant prior to extended liver resection: methodology and clinical associations. *Surgery* 2000; 127: 512-519
- 39 Shoup M, Gonen M, D'Angelica M, Jarnagin WR, DeMatteo RP, Schwartz LH, Tuorto S, Blumgart LH, Fong Y. Volumetric analysis predicts hepatic dysfunction in patients undergoing major liver resection. *J Gastrointest Surg* 2003; 7: 325-330
- 40 Rau HG, Schauer R, Helmberger T, Holzknacht N, von Rückmann B, Meyer L, Buttler E, Kessler M, Zahlmann G, Schuhmann D, Schildberg FW. Impact of virtual reality imaging on hepatic liver tumor resection: calculation of risk. *Langenbecks Arch Surg* 2000; 385: 162-170
- 41 Schindl MJ, Redhead DN, Fearon KC, Garden OJ, Wigmore SJ. The value of residual liver volume as a predictor of hepatic dysfunction and infection after major liver resection. *Gut* 2005; 54: 289-296
- 42 Shirabe K, Shimada M, Gion T, Hasegawa H, Takenaka K, Utsunomiya T, Sugimachi K. Postoperative liver failure after major hepatic resection for hepatocellular carcinoma in the modern era with special reference to remnant liver volume. *J Am Coll Surg* 1999; 188: 304-309
- 43 陈熙, 杜正贵, 李波, 魏永刚, 严律南, 文天夫. 标准残肝体积对肝脏储备功能的评价. 世界华人消化杂志 2010; 18: 1829-1833
- 44 van den Broek MA, Olde Damink SW, Dejong CH, Lang H, Malagó M, Jalan R, Saner FH. Liver failure after partial hepatic resection: definition, pathophysiology, risk factors and treatment. *Liver Int* 2008; 28: 767-780
- 45 Garcea G, Ong SL, Maddern GJ. Predicting liver failure following major hepatectomy. *Dig Liver Dis* 2009; 41: 798-806
- 46 Nakayama Y, Li Q, Katsuragawa S, Ikeda R, Hiai Y, Awai K, Kusunoki S, Yamashita Y, Okajima H, Inomata Y, Doi K. Automated hepatic volumetry for living related liver transplantation at multisection CT. *Radiology* 2006; 240: 743-748
- 47 Abdalla EK, Denys A, Chevalier P, Nemr RA, Vauthey JN. Total and segmental liver volume variations: implications for liver surgery. *Surgery* 2004; 135: 404-410
- 48 Wigmore SJ, Redhead DN, Yan XJ, Casey J, Madhavan K, Dejong CH, Currie EJ, Garden OJ. Virtual hepatic resection using three-dimensional reconstruction of helical computed tomography angioportograms. *Ann Surg* 2001; 233: 221-226
- 49 Saito S, Yamanaka J, Miura K, Nakao N, Nagao T, Sugimoto T, Hirano T, Kuroda N, Iimuro Y, Fujimoto J. A novel 3D hepatectomy simulation based on liver circulation: application to liver resection and transplantation. *Hepatology* 2005; 41: 1297-1304
- 50 Yamanaka J, Saito S, Iimuro Y, Hirano T, Okada T, Kuroda N, Sugimoto T, Fujimoto J. The impact of 3-D virtual hepatectomy simulation in living-donor liver transplantation. *J Hepatobiliary Pancreat Surg* 2006; 13: 363-369
- 51 Yamanaka J, Saito S, Fujimoto J. Impact of preoperative planning using virtual segmental volumetry on liver resection for hepatocellular carcinoma. *World J Surg* 2007; 31: 1249-1255

编辑 李军亮 电编 闫晋利