

三维可视化技术辅助复杂性肝切除术的应用价值

方兆山¹,雷其理²,刘星星³,向飞³,赵昆¹,黄海¹

1.南宁市第一人民医院肝胆外科,广西 南宁 530022; 2.南宁市第一人民医院影像科,广西 南宁 530022; 3.南方医科大学珠江医院,广东 广州 510282

【摘要】目的:探讨三维可视化技术辅助复杂性肝切除术的应用价值。**方法:**收集2015年8月到2016年3月的21例肝肿瘤患者资料,行上腹部CT扫描,获取1 mm DICOM格式的CT数据,采用三维可视化分析系统进行三维重建和三维可视化分析,并制定手术策略、指导手术操作。观察指标包括手术时间、术中出血量、实际切除肝体积、术后住院时间和术后并发症。**结果:**21例患者均构建了三维可视化图像模型,并进行虚拟肝切除术,虚拟切除肝体积为(1 030±279) mL。采用三维可视化技术指导复杂性肝切除术,21例患者的手术均取得成功,手术时间(350±78) min,术中出血量(497±381) mL,术后住院时间(12.5±2.9) d,术后并发症率14.3%,围手术期无患者死亡,实际切除肝体积(1 028±258) mL。实际切除肝体积与虚拟切除肝体积在统计学上具有相关性($r=0.945$, $P<0.001$),两者均值无统计学差异($t=0.022$, $P=0.983$)。**结论:**三维可视化分析有助于熟悉肝脏解剖,虚拟肝切除术有助于精确定量分析和制定准确的手术方案。采用三维可视化技术间接指导手术操作,可提高复杂性肝切除术的精准性和安全性。

【关键词】肝肿瘤;三维可视化;复杂性肝切除术;虚拟肝切除术

【中图分类号】R657.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)08-0793-06

Application value of three-dimension visualization technique in complex liver resection

FANG Zhao-shan¹, LEI Qi-li², LIU Xing-xing³, XIANG Fei³, ZHAO Kun¹, HUANG Hai¹

1. Department of Hepatobiliary Surgery, First People's Hospital of Nanning, Nanning 530022, China; 2. Department of Imaging, First People's Hospital of Nanning, Nanning 530022, China; 3. Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510282, China

Abstract: Objective To study on the application value of three-dimensional (3D) visualization technique in complex liver resection for liver tumors. **Methods** From August 2015 to March 2016, 21 patients with liver tumors were treated by abdominal CT scan, obtaining 1 mm thin-slice CT images in DICOM format. The medical image 3D visualization system was applied for 3D reconstruction, 3D visualization analysis, planning a surgical strategy, and assisting operative procedure in real time. The observe indexes included operation time, intraoperative blood loss, actual liver resection volume, postoperative hospitalization duration and postoperative complications. **Results** The 3D visualization models were successfully constructed for 21 patients. In virtual liver resection, the virtual liver resection volume was (1 030±279) mL. The complex liver resections with the assistance of 3D visualization technique for 21 patients were successful. The operation time was (350±78) min, and the intraoperative blood loss was (497±381) mL, and the postoperative hospitalization duration was (12.5±2.9) d, and the postoperative morbidity was 14.3%. No patient was dead in the perioperative period. The actual liver resection volume was (1 028±258) mL, which was significantly correlated with the virtual liver resection volume ($r=0.945$, $P<0.001$). No significant differences were found between the volumes of actual and virtual liver resection ($t=0.022$, $P=0.983$). **Conclusion** The 3D visualization technique improves the familiarity with liver anatomy, and the virtual liver resection is helpful in precise quantitative analysis and surgical strategy planning. The 3D visualization technique indirectly navigates the operative procedure in real time, which improves the safety and accuracy of complex liver resection.

Key words: liver tumor; three-dimensional visualization; complex liver resection; virtual liver resection

【收稿日期】2016-05-28

【基金项目】广东省自然科学基金(2014A030310393);南宁市普通外科腔镜微创中心建设项目(20153012)

【作者简介】方兆山,硕士,主治医师,研究方向:数字医学在肝胆外科的应用,E-mail: fangzhsh_dr@126.com

【通信作者】黄海,主任医师,研究方向:肝胆外科,E-mail: huanghai138@126.com

前言

随着数字医学的发展,三维可视化系统,如医学图像三维可视化系统(MI-3DVS)的临床应用凸显着越来越重要的作用^[1]。2012年,日本的医保已全面覆盖了三维技术在肝肿瘤术前分析的应用等^[2]。许多研究表明三维可视化对肝切除术具有重要的辅助作用^[1,3-4]。肝脏具有复杂的脉管结构,且肝脏脉管具有一定的变异,在肝外科手术,特别是肝移植术中,了解肝脏脉管的变异可减少肝移植术中、术后并发症的发生^[5-6]。术前肝脏肿瘤与肝脏脉管的精准定位对确保手术安全是非常必要的。近年来,以“肝段切除为本”的解剖性肝切除术理念获得很多认可,其目的是切除以门静脉流域为主的肝段或亚肝段、联合肝段等,从而完整去除病灶并保留剩余肝脏解剖功能的完整性,即保证残肝的入肝血流和出肝管道的通畅,避免术后残肝淤血、肝功能衰竭等不良事件发生,改善预后^[7]。但这需要对肝脏解剖精准把握、术前精确定量分析、术中精细解剖。为了使肝肿瘤手术解剖更清晰、诊断更程序化、手术更精准可控,本研究将三维可视化技术应用于复杂性肝切除术中,并探讨其临床应用价值。

1 材料与方法

1.1 研究对象

收集2015年8月到2016年3月的21例患者临床资料,复杂性肝切除术的纳入标准包括:(1)扩大右半肝切除术: $S5+S6+S7+S8+S4a/4b \pm S1$;(2)肝右三叶切除术: $S5+S6+S7+S8+S4 \pm S1$;(3)扩大左半肝切除术: $S2+S3+S4$ +部分($S5+S8$) $\pm S1$;(4)左三叶切除术: $S2+S3+S4+S5+S8 \pm S1$;(5)中央型肝切除术: $S5+S8+S4a/4b$ 或 $S5+S8+S4 \pm S1$;(6)大于3个肝段联合切除术;(7)非规则性巨块体积肝切除术(切除超过30%的肝体积)^[8]。复杂性肝切除术的排除标准包括:(1)肝功能差,Child-Pugh C级;(2)伴有严重心肺肝肾功能不全;(3)肿瘤侵犯第一肝门、第二肝门等,手术难以达到根治性切除。所有入选患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 CT扫描与数据收集 采用64排螺旋CT(GE,美国)扫描,收集肝肿瘤患者平扫期、动脉期、门脉期和平衡期,然后获取薄层CT,层厚0.625~1.000 mm,并从CT工作站刻录光盘导出DICOM数据。平扫期的扫描参数:患者取仰卧位,头足方向,扫描范围由膈顶至肾下级,扫描条件120 kV、300 mAs,采用0.625×64层探测器组合,层厚5 mm、间隔5 mm,螺距

0.984,球管旋转一周时间0.5 s,扫描视野60~70 cm,矩阵512×512,行常规上腹部平扫。CT增强扫描:平扫结束后,把70~120 mL的CT造影对比剂(剂量为1.5 mL/kg)经肘静脉以5 mL/s速率从A管注入,对比剂注射完后,从B管注入20 mL生理盐水,分别于20~25 s、50~55 s、70~80 s(140~150 s)进行动脉期、门静脉期、静脉期(平衡期)扫描,每期扫描时间约为6~8 s,扫描过程中,患者需屏住呼吸(约6~8 s),扫描参数、扫描范围与平扫相同。在CT自带的工作站中,再次处理层厚为5 mm的图像数据(推薄),并完成薄层CT数据的处理^[9-11]。

1.2.2 三维重建步骤 (1)导入数据,将CT数据从刻录光盘导入MI-3DVS;(2)三维重建,采用体绘制交互的“阈值分割法”、“区域生长法”和“面绘制”等方法对肝脏、肝肿瘤病灶、血管(肝动脉、肝静脉、门静脉)、胆管等进行三维重建。使用基于体绘制交互的“阈值分割法”对薄层CT图像中的血管数据进行快速分割和血管重建,使用“面绘制”方法对肝脏等脏器进行三维重建,使用“区域生长法”对肝脏病灶、胆管、胰腺等脏器进行重建。(3)三维重建后处理,采用软件系统的“面数据图形处理工具”对图像模型进行去噪、平滑处理,获取肝脏三维可视化图像模型。(4)观察图像模型,通过MI-3DVS或阅图软件系统Viewer对三维重建图像进行放大、缩小、旋转、透明化,然后进行全方位观察,熟悉肝肿瘤与肝脏血管系统的三维空间解剖关系^[9,11]。

1.2.3 三维可视化分析 首先,进行三维可视化肝分段^[12],了解肝肿瘤所属肝段有助于切除范围的判定;然后,采用软件系统测定肝肿瘤体积、功能肝体积、全肝体积;最后,综合分析,并于MI-3DVS上界定切除线,进行虚拟肝切除术,利用软件半自动计算虚拟切除功能所得的虚拟切除肝体积、残肝体积(即剩余肝体积)以mL计量。但虚拟切除肝体积或残肝体积需手工计算,若三维重建获得肝肿瘤和功能肝的整体模型(全肝模型),系统则可自动计算全肝体积和虚拟切除的肝体积,但残肝体积比则需通过手工计算,残肝体积比=剩余肝体积/(全肝体积-肝肿瘤体积);若系统分别重建功能肝组织模型和肝肿瘤模型,系统可自动计算功能肝体积、肝肿瘤体积、残肝体积比,但虚拟切除的肝体积则需通过手工计算,经过综合分析,制定最佳手术方案^[2,13-15]。其中,全肝体积包括功能肝体积和非功能肝体积(即肝肿瘤体积),功能肝体积等于全肝体积减去肝肿瘤体积;残肝体积比是指剩余肝体积与功能肝体积之比,并非剩余肝体积与全肝体积之比;虚拟切除肝体积包括

肿瘤体积和部分功能肝体积(被拟切除的正常肝组织)之和。

1.3 手术操作方法

采用三维可视化图像模型实时指导肝切除术,根据肝肿瘤部位及拟切除范围进行区域性肝血流阻断和解剖性肝切除术。

1.4 观察指标

(1)手术时间:手术从切皮肤开始至肝切除术结束、关闭腹腔、缝合皮肤完毕时所用的时间,以min计量;(2)术中出血量:手术中出血的量,以mL计量,是血垫称重(1g相当于1mL)与术野吸引血性液体量(mL)的总和;(3)实际切除肝体积:切除的肝肿瘤和功能肝体积,采用量杯排水法计算,以mL计量;(4)术后住院时间:手术结束后至患者出院时的时间,以d计量;(5)术后并发症:术后出现不良事件,包括胸腔积液、胆漏、腹腔内出血、肺炎、切口感染等指标,采用百分率描述。

1.5 统计学分析

采用SPSS 19.0统计软件进行分析,计量资料用(均数±标准差)表示,分类资料用采用率表示。虚拟切除肝体积和实际切除肝体积比较采用配对 t 检验,相关性分析采用Pearson相关检验, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本情况

根据复杂性肝切除术纳入标准,共纳入21例患者,包括男性14例,女性7例,其中具有肝炎背景(均为乙肝)13例,无肝炎背景8例,年龄31~65岁,平均年龄(48.5±12.8)岁,肿瘤直径(13.5±2.6)cm,谷丙转氨酶(56±21)U/L,总胆红素(23.3±5.3) μ mol/L,白蛋白(36.8±2.3)g/L,凝血酶原时间(14.6±0.6)s,纳入的所有患者共有15例甲胎蛋白异常,为57~1605 μ g/L(甲胎蛋白大于20 μ g/L为异常),所有患者肝功能均为Child-Pugh A级。

2.2 三维重建结果

采用MI-3DVS可快速完成肝脏系统的三维重建,获得结构清晰、逼真的肝脏三维可视化图像模型。

2.3 三维可视化分析结果

通过全方位、多角度分析和观察三维可视化图像模型,可明确肝脏血管空间分布和走行、了解肝脏血管与肝肿瘤病灶的立体空间关系。熟悉肝脏三维空间解剖后,进行三维可视化肝分段,并在熟悉肿瘤所属肝段后,进行虚拟肝切除术,评估制定最佳手术方案。

通过虚拟肝切除术计算肝体积,功能肝体积(1471±194)mL,虚拟切除肝体积(1030±279)mL,残肝体积(733±130)mL,残肝体积比0.49±0.09,实际切除肝体积(1028±258)mL。配对 t 检验显示虚拟切除肝体积与实际切除肝体积无统计学差异($t=0.022$, $P=0.983$),Pearson相关分析说明两者的肝体积具有高度一致性($r=0.945$, $P<0.001$)(图1)。

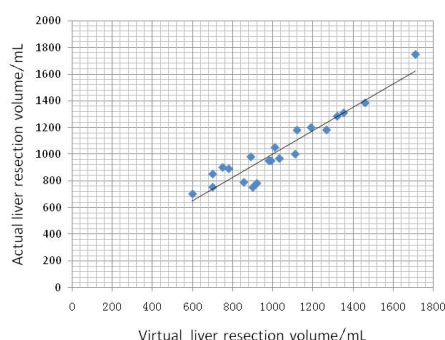


图1 虚拟肝切除体积与实际切除肝体积在复杂性肝切除术呈高度相关($r=0.945$, $P<0.001$)

Fig.1 Strong correlation between the volume of virtual and actual liver resection in complex liver resection ($r=0.945$, $P<0.001$)

2.4 手术情况及术后并发症

肝切除术的手术术式与术前规划的完全一致,包括右半肝+尾状叶切除4例,右半肝切除7例,肝右三叶切除术1例,左三叶切除术1例,扩大左半肝切除3例,肝中叶切除4例,缩小右半肝+尾状叶切除1例。

手术时间为240~500min,平均(350±78)min;术中出血量为110~1500mL,平均(497±381)mL;输血率为19.0%(4/21);术后住院时间为9~19d,平均(12.5±2.9)d。

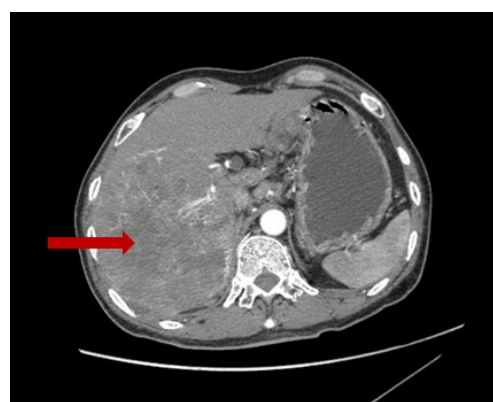
术后并发症发生率为14.3%(3/21)。其中,胸腔积液2例,均经放置胸腔闭式引流治愈;胆漏1例,经腹腔引流,术后2月治愈,无围手术期患者死亡。

2.5 病例分析

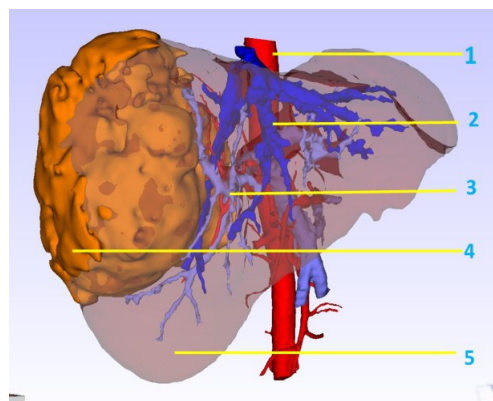
梁某,男,59岁,因“右上腹不适7月,加重伴右上腹胀10d”住院,既往有“乙肝小三阳”病史。行上腹部增强CT和实验室检查等,诊断为右肝巨块型肝癌、乙肝后肝硬化;三维可视化分析结果为:进行虚拟肝切除术,标准右半肝切除术,残肝体积小于0.5,术后有肝衰竭风险。综合评估后,决定行缩小右半肝切除术+尾状叶切除术,实际切除肝体积1515mL(图2)。

3 讨论

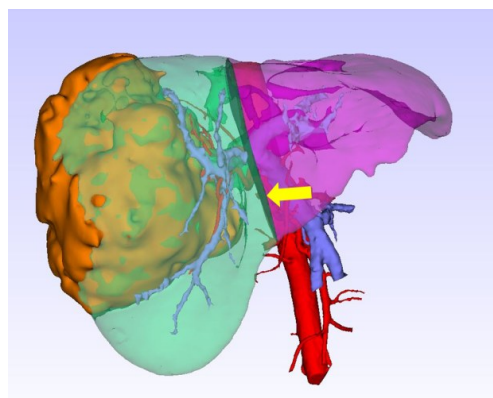
3.1 三维可视化技术在术前熟悉肝脏解剖和肿瘤定位中的意义



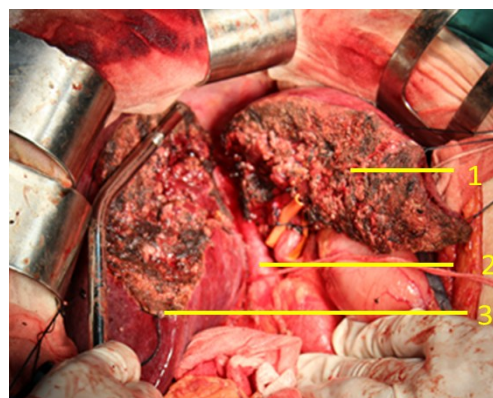
a: Arterial phase CT images of liver tumor (red color)



b: Three-dimensional visualization image of liver model



c: Model of virtual liver resection



d: Anterior approach liver resection

In Fig. 2b, 1: Abdominal aorta; 2: Hepatic vein; 3: Portal vein; 4: Liver tumor; 5: Liver. In Fig. 2c, the yellow arrow pointed to the plane of virtual liver resection. The automatic resection liver volume calculation showed that virtual functional liver resection volume was 487 mL (light green), and that tumor volume was 1 050 mL (brown), and that virtual liver resection volume was 1 537 mL, and that residual liver volume was 645 mL (pink), and that relative residual liver volume was 57%. In Fig. 2d, 1: Intraoperative view of the residual liver; 2: Inferior vena cava; 3: Removed liver specimen.

图2 三维可视化辅助复杂性肝切除术

Fig.2 Three-dimensional visualization technique assisted in complex liver resection

进行复杂性肝切除术,外科医师要全面把握患者的全身状况,对肝脏脉管的走行,及其与肿瘤的空间关系有精准的把握。MI-3DVS使这具有可行性。已有研究证明三维可视化技术对肝切除具有重要的辅助作用^[1-2,4]。通过三维分析系统将二维CT图像转化为三维图像模型,可直观地观察、熟悉肝脏形态、肿瘤病灶、肝脏脉管空间结构和可能变异的解剖结构,这对肝切除术是非常重要的,因为安全、精准的肝切除依赖于肝脏脉管结构和肿瘤的精确定位^[16]。

3.2 三维可视化分析在评估和制定手术方案的临床价值

目前,术前肝功能的评估主要基于残肝体积的评估测量^[17]。因此,术前的残肝体积评估在肝脏外科具有重要的意义。其他肝功能评估办法,如吲哚菁绿 15 min 清除率是较为普遍、准确的办法,但血清

胆红素异常和血流动力学的稳定性会影响其准确性^[18]。残肝体积的评估是目前肝肿瘤切除术前通行且较可靠的办法。对于正常肝脏,残肝体积与功能肝体积比大于0.3,伴肝炎肝硬化、肝脏化疗后肝功能异常,则需保留残肝体积比大于0.5^[19-20]。

采用MI-3DVS进行三维可视化个体化肝分段,可进一步明确肝肿瘤病灶所属肝段、肝叶,有助于术前虚拟肝切除平面界定,计算残肝体积、残肝体积比,评估和制定最佳的肝切除手术方案。本研究把三维可视化技术应用于肝外科领域,对肝脏解剖结构和病变形态特征进行定量分析,并对虚拟肝切除等进行定量分析,指导术中操作,顺利完成21例复杂性肝切除术。手术实际切除肝体积为 $(1\,028 \pm 279)$ mL,而虚拟切除肝体积 $(1\,030 \pm 279)$ mL, t 检验的结果显示虚拟切除肝脏体积和实际切除肝脏体积的差异无

统计学意义($t=0.022, P>0.05$),而Pearson相关性分析说明虚拟切除肝脏体积和实际切除肝脏体积具有高度相关性($r=0.945, P<0.001$)。即实际切除的肝体积与术前虚拟切除术的肝体积较为高度一致,术后恢复良好,无严重并发症,获得较好的近期预后,契合了“病灶目标最大化切除、保留剩余肝功能最大化、外科创伤侵袭最小化”的精准微创肝切除理念^[21]。这也说明了三维可视化指导肝切除术的精准性和安全性。

匡铭等^[22]采用三维可视化技术对85例肝癌患者进行术前评估、术前仿真手术,准确评估虚拟肝切除手术体积,同时发现虚拟肝切除术体积与实际切除肝体积具有高度相关性,这说明三维可视化技术对精准肝切除术有较好的辅助作用。Ariizumi等^[23]采用三维可视化系统对92例肝肿瘤患者进行解剖性肝切除术,其中,虚拟肝切除体积和实际切除肝体积高度相关,这说明了三维系统有助于解剖性肝切除术。Wang等^[24]把三维软件应用于肝切除术,与传统肝切除术相比,三维分析有助于精细地解剖肝肿瘤周围脉管,使手术更安全、更精准。

3.3 三维可视化在指导复杂性肝切除术的临床意义

传统的Pringer手法肝门阻断对肝功能有一定损伤,特别对于肝硬化病人。而选择性区域性血流阻断对肝脏损伤较少,有利于患者术后恢复^[25]。对于肝恶性肿瘤患者,进行肝实质离断前进行入肝血流阻断,可减少肿瘤扩散。本研究首先对21例患者进行第一肝门解剖,然后进行区域性入肝血流阻断方法,最后进行解剖性肝切除术,术后无肝功能衰竭发生。

三维可视化技术在术中的指导可使精细的解剖操作成为可能,减少手术出血、围手术期的输血、术后相关并发症。有研究表明,围手术期输血会增加术后并发症的发生率和死亡率^[26]。本研究中,术中输血率19.0%,术后并发症发生率14.3%,无围手术期患者死亡。术中大失血和术中输血是预后不佳的一个危险因素^[27]。有效控制手术出血是提高复杂性肝切除手术疗效的关键。通过三维可视化技术指导手术,可于术前对手术肝离断面可能预见的血管有更精准的把握,联合该技术在术中间接实时指导手术,可减少手术副损伤、术中出血,有利于患者术后恢复^[28]。21例患者术后住院时间为(12.5±2.9)d,术后恢复尚令人较满意。

综上所述,三维可视化在复杂性肝切除术的主要优势有:(1)有助于熟悉肝脏解剖结构,可与CT等二维影像阅片互补,提高阅片水平;(2)进行虚拟肝

切除术,计算残肝体积,制定最佳手术方案;(3)术中实时指导手术操作,有助于对复杂脉管和重要解剖结构的精确处理。

4 结 论

三维可视化分析有助于熟悉肝脏解剖,虚拟肝切除术有助于精确定量分析制定准确的手术方案,三维可视化技术间接指导手术操作可提高复杂性肝切除术的精准性和安全性。

【参考文献】

- [1] FANG C, TAO H, YANG J, et al. Impact of three-dimensional reconstruction technique in the operation planning of centrally located hepatocellular carcinoma[J]. J Am Coll Surg, 2015, 220(1): 28-37.
- [2] 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): 157-164.
- [3] BÉGIN A, MARTEL G, LAPOINTE R, et al. Accuracy of preoperative automatic measurement of the liver volume by CT-scan combined to a 3D virtual surgical planning software (3DVSP)[J]. Surg Endosc, 2014, 28(12): 3408-3412.
- [4] TAKAMOTO T, HASHIMOTO T, OGATA S, et al. Planning of anatomical liver segmentectomy and subsegmentectomy with 3-dimensional simulation software[J]. Am J Surg, 2013, 206(4): 530-538.
- [5] HIATT J R, GABBAY J, BUSUTTIL R W. Surgical anatomy of the hepatic arteries in 1000 cases[J]. Ann Surg, 1994, 220(1): 50-52.
- [6] GULER N, DAYANGAC M, YAPRAK O, et al. Anatomical variations of donor portal vein in right lobe living donor liver transplantation: the safe use of variant portal veins[J]. Transpl Int, 2013, 26(12): 1191-1197.
- [7] HASEGAWA K, KOKUDO N, IMAMURA H, et al. Prognostic impact of anatomic resection for hepatocellular carcinoma[J]. Ann Surg, 2005, 242(2): 252-259.
- [8] RADTKE A, SOTIROPOULOS G C, MOLMENTI E P, et al. Computer-assisted surgery planning for complex liver resections[J]. Ann Surg, 2010, 252(5): 876-883.
- [9] 杨剑,方驰华,范应方,等.基于亚毫米CT扫描数据的肝外胆管供血动脉三维可视化模型构建[J].南方医科大学学报,2014,34(7): 945-949.
- [10] 范应方,方驰华,游锦华,等.医学图像三维可视化系统在肝胆管结石病诊断与治疗中的应用[J].中华消化外科杂志,2011,10(4): 271-273.
- [11] 方驰华,鲁朝敏,黄燕鹏,等.数字医学技术在肝癌外科治疗中的应用价值[J].中华外科杂志,2009,47(7): 523-526.
- [12] FANG C H, LU C M, HUANG Y P, et al. Study on the application of value of digital medical technology in the operation on primary

- liver cancer[J]. Chinese Journal of Surgery, 2009, 47(7): 523-526.
- [12] 叶建平, 范应方, 郭李云. 一种半自动的肝脏分段方法及三维可视化实现[J]. 中国数字医学, 2014, 9(11): 57-59.
- YE J P, FAN Y F, GUO L Y, et al. A semi-automatic liver segments method and three-dimensional visualization [J]. China Digital Medicine, 2014, 9(11): 57-59.
- [13] SCHINDL M J. The value of residual liver volume as a predictor of hepatic dysfunction and infection after major liver resection[J]. Gut, 2005, 57(54): 289-296.
- [14] TIAN F, WU J X, RONG W Q, et al. Three-dimensional morphometric analysis for hepatectomy of centrally located hepatocellular carcinoma: a pilot study[J]. World J Gastroenterol, 2015, 21(15): 4607-4619.
- [15] 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(2): 95-98.
- FANG C H, FENG S J, FAN Y F, et al. Study on the application of three-dimensional visualization technique in evaluation of residual liver volume and guidance for hepatectomy [J]. Journal of Hepatobiliary Surgery, 2012(2): 95-98.
- [16] DAGON B, BAUR C, BETTSCHART V. A framework for intraoperative update of 3D deformable models in liver surgery[C]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2008: 3235-3238.
- [17] STOCKMANN M, LOCK J F, RIECKE B R, et al. Prediction of postoperative outcome after hepatectomy with a new bedside test for maximal liver function capacity[J]. Ann Surg, 2009, 250(1): 119-125.
- [18] SEYAMA Y, KOKUDO N. Assessment of liver function for safe hepatic resection[J]. Hepatol Res, 2009, 39(2): 107-116.
- [19] CLAVIEN P, PETROWSKY H, DEOLIVEIRA M L, et al. Strategies for safer liver surgery and partial liver transplantation[J]. New Engl J Med, 2007, 356(15): 1545-1559.
- [20] MISE Y, SAKAMOTO Y, ISHIZAWA T, et al. A worldwide survey of the current daily practice in liver surgery [J]. Liver Cancer, 2013, 2(1): 55-66.
- [21] DONG J, YANG S, ZENG J, et al. Precision in liver surgery[J]. Semin Liver Dis, 2013, 33(3): 189-203.
- [22] 匡铭, 汤地, 王晔, 等. 三维手术模拟系统在肝癌患者精准肝切除中的应用[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2011, 18(7): 682-687.
- KUANG M, TANG D, WANG Y, et al. Validation and application of novel three dimensional operation planning system in patients with hepatocellular carcinoma requiring precise hepatectomy [J]. Chinese Journal of Bases and Clinics in General Surgery, 2011, 18(7): 682-687.
- [23] ARIIZUMI S, TAKAHASHI Y, KOTERA Y, et al. Novel virtual hepatectomy is useful for evaluation of the portal territory for anatomical sectionectomy, segmentectomy, and hemihepatectomy [J]. J Hepatobiliary Pancreat Sci, 2013, 20(3): 396-402.
- [24] WANG Y, ZHANG Y, PEITGEN H, et al. Precise local resection for hepatocellular carcinoma based on tumor-surrounding vascular anatomy revealed by 3D analysis[J]. Digest Surg, 2012, 29(2): 99-106.
- [25] WANG H Q, YANG J Y, YAN L N. Hemihepatic versus total hepatic inflow occlusion during hepatectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. World J Gastroenterol, 2011, 17(26): 3158-3164.
- [26] KOOBY D A, STOCKMAN J, BEN-PORAT L, et al. Influence of transfusions on perioperative and long-term outcome in patients following hepatic resection for colorectal metastases[J]. Ann surg, 2003, 237(6): 860.
- [27] TRANCHART H, DI GIURO G, LAINAS P, et al. Laparoscopic liver resection with selective prior vascular control[J]. Am J Surg, 2013, 205(1): 8-14.
- [28] ZEIN N N, HANOUNEH I A, BISHOP P D, et al. Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation[J]. Liver Transpl, 2013, 19(12): 1304-1310.

(编辑:谭斯允)

(上接787页)

- [14] LIU Y, LIU Y, WANG K, et al. Modified periodogram method for estimating the Hurst exponent of fractional gaussian noise [J]. Phys Rev E, 2009, 80(6): 066207.
- [15] ZUO X N, DI MARTINO A, KELLY C, et al. The oscillating brain: complex and reliable[J]. Neuroimage, 2010, 49(2): 1432-1445.
- [16] ZUO X N, KELLY C, ADELSTEIN J S, et al. Reliable intrinsic connectivity networks: test-retest evaluation using ICA and dual regression approach[J]. Neuroimage, 2010, 49(3): 2163-2177.
- [17] RAICHLE M E, MACLEOD A M, SNYDER A Z, et al. A default mode of brain function[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2001, 98(2): 676-682.
- [18] ANDERSON J S, ZIELINSKI B A, NIELSEN J A, et al. Complexity of low-frequency blood oxygen level-dependent fluctuations covaries with local connectivity[J]. Hum Brain Mapp, 2014, 35(4): 1273-1283.

(编辑:陈丽霞)