



· 指南与共识 ·

3D可视化技术在肝胆外科中的临床应用专家共识（2022年版）

中国研究型医院学会放射学专业委员会，上海市医学会放射科专科分会

[摘要] 3D可视化技术在肝胆外科有独特的应用价值，本共识基于上海东方肝胆外科医院大量的病例资料，结合肝胆外科和影像医学探讨3D可视化技术的临床应用，旨在为肝胆外科良恶性疾病的术前精准诊断和治疗方案的规划、手术入路的选择以及术中精准手术提供实际方法和有效的帮助。

[关键词] 3D可视化；影像医学；肝胆外科；临床应用

中图分类号：R657；R735；R445 文献标志码：A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2023.01.015

Expert consensus on clinical application of 3D visualization in hepatobiliary surgery (2022 edition) Radiology Committee of Chinese Research Hospital Association, Radiology Committee of Shanghai Medical Association

Correspondence to: LIU Hui, JIA Ningyang E-mail: liuhui@smmu.edu.cn, ningyangjia@163.com

[Abstract] 3D visualization has unique application value in hepatobiliary surgery. Based on a large number of medical records in Shanghai Eastern Hepatobiliary Surgery Hospital, this consensus discussed the clinical application of 3D visualization in combination with hepatobiliary surgery and imaging medicine, aiming to provide practical methods and effective help for preoperative accurate diagnosis and treatment planning of benign and malignant diseases in hepatobiliary surgery, selection of surgical approach and intraoperative accurate surgery.

[Key words] 3D visualization; Imaging medicine; Hepatobiliary surgery; Clinical application

医学影像技术的不断发展，极大地提高了肝内病灶的诊断准确度、病变范围显示的清晰性、肝血管受累的直观现实性和肿瘤分期分级评估的全面性。而数字医学影像的发展更加速了精准肝胆外科的临床实践与应用普及，高效地改进了临床诊疗方案，提高了根治性疗效，并显著降低了手术风险^[1]。如基于医学影像计算机后处理生成的3D可视化影像，为外科精确提供了肝脏立体、直观的解剖结构，主要包括病灶的位置与体积、肝脏脉管的变异与走行、病灶和脉管的空间解剖关系、肝脏血管的流域、规划的肝切除术及“虚拟切除”后的残肝体积等，同时3D可视化技术更显著地提高了外科手术的能力。3D可视化技术的主要特点可以概括为直观化、可测化、标准化、安全化和个性化。

本文基于上海东方肝胆外科医院大量的病例资料，从肝胆外科与影像医学两个方面开展讨论3D可视化的临床适应证、技术原理和临床应用，旨在规范3D可视化在影像医学科和肝胆外科中的应用规范，提高肝胆外科疾病术前规划准确性和手术安全性。

1 临床适应证

肝胆外科主要强调以侵入性最小化的手术最大限度地去除目标病变。鉴于肝胆外科的特殊性和复杂性，传统计算机体层成像（computed tomography, CT）的2D图像已不能充分满足临床医师对精细解剖结构识别的需求^[2]。基于计算机后处理的医学影像特征提取和重建的3D可视化影像，可于术前提供直观、立体的解剖结构，进而评估、优化手术方案，包括测量潜在的残肝

基金项目：国家自然科学基金（82270634，81970453）；上海市2020年度“科技创新行动计划”优秀学术带头人项目（20XD1405100）；上海市卫生健康委员会卫生健康领军人才项目（2022LJ024）

通信作者：刘辉 E-mail: liuhui@smmu.edu.cn；贾宁阳 E-mail: ningyangjia@163.com

体积和结构,确定可选可切除范围,模拟最佳切面,选择需要切除和重建的血管,预判术中失血量,特别是当病变涉及重要的解剖结构并需要复杂性肝切除、区域性转移性淋巴结切除、累及肝大血管的恶性肿瘤切除、肝切除联合门静脉和肝动脉的切除后重建时,3D可视化技术有助于提高肝脏手术的可控性和安全性。

作为当今肝脏精准切除(解剖性切除)手术的代表性技术之一,流域分析在临床上的普及应用程度越来越高。肝脏流域分析是指基于肝脏门静脉血供及肝静脉回流构建的肝脏手术规划区域,而传统的CT与磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)阅片及术中探查难以达到这一要求。3D可视化技术是流域分析配套的代表性工具,基于数学原理“泰森多边形”构建出Voronoi图发出针对肝脏内部血管分支的流域分析功能,即可实现对肿瘤所在区域的血供和肝脏的边界进行定位和定义,临床医师可快速、便捷地完成手术切除计划设计,包括涉及阻断的血管和肝脏切除的区域。

此外,3D可视化技术在评估肝脏疾病的可切除性方面有独特的价值,主要体现在肝胆外科手术的切除安全限度个体化评估,包括残肝的功能体积及其脉管完整性的测定等,其适应证包括肝癌、肝囊肿、肝硬化、肝血管瘤、肝内外胆管结石、肝移植等,通过术前三维可视化和手术规划,实现精准诊疗。目前,3D可视化手术已成为肝胆外科发展的趋势^[3]。

2 技术原理

2.1 影像数据的采集

基于CT动态增强的二维形态学与血供动力学研究可显示肿瘤血供的生物学行为、病灶与正常结构的边界、病变与脉管关系,评估肿瘤分期。具体扫描过程如下:

(1) 推荐64排及以上CT检查设备扫描采集。

(2) 患者取仰卧位,从头侧向足侧方向扫描膈顶至肝脏下缘,根据病变可适当增加扫描范围。

(3) CT扫描前准备:检查前20~30 min口服清水500~1 000 mL以充盈胃肠道(作为阴性对比),并训练患者呼吸,最大限度地控制呼吸运动产生的伪影。

(4) 平扫+动态增强3期扫描,包括平扫,动脉期、门静脉期、延迟期扫描。

(5) CT扫描基本参数:扫描层厚0.625~1.000 mm,层间距 ≤ 1 mm。增强采用快速静脉团注法,经CT检查专用双筒高压注射器快速注入水溶性碘对比剂,对比剂用量为1.0~2.0 mL/kg,自动压力注射器速率为2.5~3.5 mL/s。扫描延迟与给药同步计时,一般动脉期使用阈值触发技术或者延时时间:按经验动脉期扫描延时为20~25 s,门静脉期为50~55 s,延迟期为120~160 s。

(6) 采集要求:图像格式为DICOM格式;图像尺寸达到512×512及以上;图像为未压缩图像;薄层图像,层厚 ≤ 1.5 mm;显示视野和扫描范围包括整个待重建区域;需要的平扫期、动脉期、门静脉期、延迟期图像从影像存储与传输系统(picture archiving and communication system, PACS)导出或刻录光盘保存。

2.2 3D可视化技术规范与质量控制

2.2.1 3D可视化技术规范

(1) 三维可视化系统基于人工智能(artificial intelligence, AI)的自动分割,对指定血管和器官进行一键式识别和重建,利用DICOM格式图像全自动生成二维分割数据。并利用移动立方体算法,将三维图像形式的面数据转换为包含三角面片及三角面片顶点两者信息的面数据,以面绘制格式(STL格式)文件保存。

(2) 采用快速计算所要测量体积点数方法,所测量的体积与实际体积误差 ± 0.1 mL。长度测量采用吸附点方式,可以测量复杂曲线的长度,误差 ± 1 mm。

(3) 将人体可视化文件导入,应用GPU技术,对大规模三维数据进行任意放大、旋转、透明、组合显示等,还可以进行体积、长度测量。

(4) 采用可任意调节的切面,把需要切除的病灶组织的切面与系统提供的切面吻合,即可把位于切面任意一端的组织切除。

2.2.2 数据重建质量控制

(1) 三维重建及审核人员资质要求

① 具有医学影像专业背景或临床医学专业背景的技术人员在软件培训后进行3D可视化技术操

作。②重建完成的图像先自主审核脏器边界和管道丰富度等问题,再由高年资外科医师和影像科医师共同进行人工复核。③3D可视化模型结果只有经过标准化和严格质控把关的才能用于指导临床实践。

(2) 三维重建模型核对和修改

围绕患者术前三维模拟手术、术中三维图像导航手术、术后三维重建评估手术规划一致性3个核心问题,制定三维可视化诊断与治疗流程质量控制步骤和质量评分,以帮助临床评估其应用效果,制订不同解决方案^[4]。

建议:由有资质的临床医师和影像科医师共同实施,并经具有高级职称的医师核实把关,从而为临床手术的实施提供指导和帮助。

3 临床应用

3.1 原发性肝癌

手术切除是原发性肝癌主要的根治手段。3D可视化技术可以在术前精确地提供立体、直观的解剖结构,包括病灶的位置与体积、脉管的变异与走行、病灶和脉管的空间解剖关系、肝脏血管的流域以及规划肝切除术及“虚拟切除”后的残肝体积,进一步优化手术方案。既往多项研究^[5]证实3D可视化技术能够帮助肝脏外科医师优化手术方案、减少术中出血、提高手术精度、降低围手术期风险。

3.1.1 术前肝段的划分

Couinaud分段法是肝脏外科中应用最广泛的分段法,其根据肝内血管结构分段以准确地定位病灶。此后,中外学者陆续对该理论进行了补充和完善。中国吴孟超院士^[6]基于大量的肝脏灌注标本与多年的临床经验开创性地提出肝脏“五叶四段”分法,为中国肝脏外科的发展打下坚实的基石。在医学图像中正确分割肝脏区域对于计算机辅助诊断、治疗和手术计划至关重要。国外文献^[7]报道了3D可视化自动算法应用Couinaud方案于CT体积自动分割肝脏和肝血管的分割精度为0.915,血管平均分割精度为0.980。半自动和混合半自动肝脏分割算法的运行时间为<0.2 s/切片,平均计算机分析时间(分割、切除计划、容积、可视化)为45 min/数据集;混合算法为12.9 s/数据集;两者相似指数为96.2%、残肝体积

与手动边界追踪计算的相关性为0.99;半自动和混合半自动分割算法的3D可视化对于肝脏外科的术前规划具有准确性^[8]。

解剖性精准肝切除需要以肝内门脉流域的精确划分为基础。门静脉流域肝分段方法是日本Takasaki教授^[9]根据门静脉及其分支的走行来进行肝脏分段。他将门静脉3或4级分支所属区域规划为一个独立的肝段。通过系统性切除该肝段或肝亚段及其所属门静脉分支及动脉等,达到解剖性肝切除的目的。得益于数字医学与三维重建技术的发展,目前3D可视化技术已广泛应用于术前明确各肝段边界、范围与体积,其主要通过门静脉在肝内的血流拓扑学结构关系进行分段^[10]。此前研究^[11]报道,国内16家肝胆疾病诊治中心共收集了1 260例包含各年龄段正常肝脏的三维重建资料,基于门静脉4级血管供应区域进行术前肝脏分段,依门静脉变异走行将4级肝段分为A、B、C、D 4种类型(详见附录I)。

肝静脉引流域的认知与发展完善了血管流域学说。有研究^[12]提出基于肝静脉引流域完善肝段划分,从而指导解剖性肝切除手术,肝静脉引流域和门静脉流域可相互补充,使划分的肝段更接近“独立”的标准。在实际操作中,门静脉3、4级分支流域可能出现与肝静脉引流域不完全契合的情况。在这种情况下,依赖于门静脉流域的肝脏分段要更符合肝癌的生物学特性。在活体肝移植患者中,术前肝静脉引流域的评估和界定有重要的价值,尤其是在对于供肝是否保留肝中静脉的分歧中,这一判断在术中依赖于术者对肝静脉属支管径的估计^[13]。有研究^[14]测定了220支肝静脉的引流域体积,发现相同直径血管的引流域差异较大,而将基于3D可视化精确计算的肝静脉属支的引流域体积与重建后的相应功能肝体积对比,两者结果一致。对肝静脉及其属支引流域的精确计算,结合活体肝移植国际安全标准^[15],能更准确地计算分配给受者的供肝体积和供者的残肝体积,从而为评估手术风险、规划手术方案提供重要参考。

建议:术前推荐通过3D可视化技术对肝癌患者进行准确的流域划分,结合肿瘤、肝段、血管的空间位置,指导解剖性肝切除手术的精准实施。

3.1.2 肝内血管走行与变异的显示

3D可视化技术可作为一种无创的分型方法,对拟手术目标的血管变异进行分型分类。上海东方肝胆外科医院报道的114例患者中,12.3%发生动脉变异,其中7.9%替代肝右动脉起源于肠系膜上动脉,2.6%替代肝总动脉起源于肠系膜上动脉,1.8%替代肝左动脉由胃左动脉引出,对比术中探查结果,准确度均为100%^[16]。一项纳入1 665例原发性肝癌患者的多中心回顾性研究^[17]显示,术前进行3D可视化重建,并对血管变异进行分型。发现肝动脉:I型(正常型)肝动脉1 494例(89.73%);变异肝动脉171例(10.27%),其中II型35例,III型38例,其他类型98例。肝静脉:I型(正常型)肝静脉1 195例(71.77%);变异肝静脉470例(28.23%),其中II型376例,III型94例。门静脉:正常型门静脉1 315例(78.98%);变异门静脉350例(21.02%),其中I型变异189例,II型变异103例,III型变异50例,IV型变异8例。由于肝内血管存在广泛的变异,变异的血管可能会干扰手术的正常进程,改变预定的手术方案,甚至会引起难以控制的大出血。此外,在肝移植手术中,除了传统的对于病肝或活体肝移植供体的体积评估外,3D可视化还可精准评估受体与供者之间预吻合的脉管结构,部分血管变异的类型需要选择特殊的供肝^[18]。

建议:对影像学检查发现肝脏血管存在变异的患者术前行3D可视化重建,正确辨认血管变异分型,划分相应的血管流域,调整手术规划,选择相对安全的手术入路。

3.1.3 术前预留肝体积测定与虚拟手术切除

术前预留肝体积计算是3D可视化技术的一个重要功能。研究^[19-20]报道,术前3D可视化测定的肿瘤体积、残肝体积和从门静脉流出或肝静脉引流的体积与实际肝切除或肝移植术中、术后实际体积的对比高度一致。体积测算作为3D可视化技术应用于肝脏外科最早、最广泛的功能,测算方法的迭代更新与发展提高了其测算精度。通过准确计算预留肝体积占标准肝体积百分比,可以在R0切除的基础上保留最大的有效残留肝体积,显著降低术后肝功能衰竭的发生风

险,提高肝切除的安全性。另一方面,对于预留肝体积不足而无法行一期手术切除的患者,可选用联合肝脏离断及门脉结扎的分次肝切除术(associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy, ALPPS)、门静脉栓塞(portal vein embolization, PVE)、肝动脉化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)等治疗来缩小肿瘤体积或增加预留肝体积,经过一段时间后再次行3D可视化评估,达标后可安全地进行二期手术切除^[21]。上海东方肝胆外科医院应用三维可视化技术改变了75例(25.0%, 75/300)肝癌患者的治疗策略,其中36例患者因预留肝体积不达标转为二期手术切除(ALPPS 11例, PVE 25例)^[4]。

3D可视化影像清楚地展示了肝肿瘤与肝内脉管系统的空间关系,并依据预切除肝体积大小,结合临床实际情况,可在术前对肿瘤的可切除性进行准确评估。在此基础上,可进行术前虚拟肝切除术,制订多种手术切除预案。3D可视化术前虚拟手术切除不仅对血管轴中央型肝细胞肝癌具有重要的临床价值,也可提高婴幼儿复杂肝肿瘤切除手术的可控性、准确性和安全性。在活体肝移植中,3D可视化技术能够准确地预测肝移植体积和肝静脉分支引流量,有助于术前规划。结合其衍生技术如3D打印技术、虚拟现实(virtual reality, VR)和增强现实(augment reality, AR)技术等,可发挥更真实的术前模拟作用^[22-24]。

建议:术前推荐3D可视化技术对复杂肝脏手术患者拟切除肝脏流域体积及相应血管进行模拟与计算,指导术中寻找合理的切除平面,计算预留肝体积,提高手术切除的精准度和安全性。

3.2 复杂性肝脏疾病

3.2.1 肝胆管结石

肝胆管结石会引起肝脏一系列的病理学变化,破坏正常的胆管解剖结构。复杂性肝胆管结石常合并胆汁淤积、胆道扩张或炎性改变,病变肝组织的门静脉和肝静脉系统受压变形,邻近肝脏组织中门静脉分支代偿性增加,门静脉和肝静脉走行偏离正常的方向,原有的流域、引流域及相应的肝段分型随之发生改变。肝胆管结石合并

肝脏纤维化萎缩时,健侧肝脏代偿增生,出现萎缩肥大综合征,导致肝门转位,术中易误伤脉管结构,增大了手术难度。肝胆管结石的临床分型对手术实施至关重要。目前临床广泛应用的肝胆管结石分型主要有日本分型、Tsunoda分型和中华医学会分型。这些分型基于术前影像学检查,涵盖结石的部位、胆管狭窄与扩张部位和程度、肝脏的病变情况等,在临床应用广泛。但这些分型仍存在一定的局限性,如对胆管狭窄与扩张的判断定义不清,对于双侧弥漫性肝内多发胆管结石的描述不够精确等。因此,有学者^[25]提出了基于3D可视化技术的分型模式。以结石位置(L)、胆道狭窄(S)、胆道扩张(D)、肝硬化(C)进行数字化分型,如LⅡ、LⅣ、LⅦ表示Ⅱ、Ⅳ、Ⅶ段结石,SⅡ表示Ⅱ段胆管狭窄,DⅡ表示Ⅱ段远端胆管扩张,C表示肝硬化。这种分型方式精确且全面地描述了肝胆管结石及其相关病变,结合术前3D可视化技术对于胆管树、变形的肝内血管走行和空间位置的直观显示,对不规则肝脏流域分型的划分,能够精准规划手术切除范围,指导脉管处理,从而降低手术难度,增加安全性^[26]。

建议:推荐3D可视化技术用于肝胆管结石患者术前精确定位结石位置和病变范围,有助于制订手术计划,对于降低手术难度、提高取石率、减少术后并发症有一定的价值。

3.2.2 中央型肝肿瘤

肝中央区一般由肝的Ⅳ、Ⅴ、Ⅷ段组成,上界为3条肝静脉与下腔静脉交界处,下界为肝前缘中部,背面与肝尾状叶相连,毗邻下腔静脉和肝前门静脉^[27]。该部位肿瘤位置深,周围血管环境复杂,易发生大出血与预保留侧血管损伤,手术难度与风险极大。根据流域划分的肝段与肿瘤位置拟定手术方案是区别于传统肝切除术的核心环节。由于肿瘤位于错综复杂的血管丛中,3D可视化技术可对肝内各脉管的变异进行分型,根据门静脉流域进行分段并计算体积,有助于指导确定手术切除层面和对预保留血管的保护。此外,中央型肝肿瘤本身的位置也是决定手术规划的重要因素。有学者^[28-29]提出“方式分型”,采用3D可视化技术依据肿瘤在肝内的位置及其

与重要血管的关系将肝脏肿瘤分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ型。以血管为轴心的中央型肿瘤分型可分为6种类型,10个亚型,该分型涵盖了门静脉、肝静脉、下腔静脉和肝动脉系统,对于外科手术有一定的指导意义。

建议:推荐3D可视化技术用于指导中央型肝肿瘤患者的个体化手术预案,确定手术入路及预保留的重要血管,降低手术难度,减少误伤和并发症。

3.2.3 肝门部胆管癌

肝门部胆管癌Bismuth-CorletteⅢ和Ⅳ型是手术治疗的难点,通常需要联合大范围肝切除。门静脉是否受累是判断这类肿瘤可切除性、切除范围以及是否行血管切除重建的重要指标。由于肝门区的空间狭窄,门静脉紧贴肝门部的胆管,通过二维影像难以准确判断门静脉是否受累以及受累范围。术前3D可视化可定量分析可疑节段肿瘤与门静脉接触面积与门静脉圆周面积的比值,确定肿瘤是否侵犯门静脉的最佳值范围,有助于指导术前手术规划,降低开关手术的发生率^[30]。有研究^[31]报道,使用3D可视化技术对肝门部胆管癌进行Bismuth分型与术中实际探查情况高度契合。在一项纳入36例Bismuth-CorletteⅢ、Ⅳ型肝门部胆管癌的回顾性研究^[32]中,3D可视化的分型准确度达到100%,术前预留肝脏体积和术后实际肝脏体积差异无统计学意义。

在肝门部胆管癌的手术规划中,胆管剥离的极限点P点和U点是指可从伴行门静脉和肝动脉中剥离胆管的极限部分,在极限点上游的胆管难以剥离和切断,这也是判断肝门部胆管癌是否可切除的重要依据。由于门静脉解剖的变异情况,这一边缘有时难以识别。通过3D可视化对门静脉分型与分支走行的精确显示,结合相应流域肝段体积的精确计算,可提前了解胆管剥离的极限点,指导确定手术范围^[33]。有学者^[34]基于Bismuth-Corlette分型与评价肿瘤对门静脉的侵犯的美国纽约纪念斯隆-凯特琳癌症中心(Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, MSKCC)T分期,结合肝动脉、门静脉分级,提出了三维可视化肝门部胆管癌分型,分为5型7亚型。这一分型可相对完善地描述肝门部胆管癌的

空间位置,与周围血管的浸润状态。如V型是指肿瘤浸润范围超越两侧胆管切离极限点,左、右肝动脉、门静脉左支、右支分级为2~3级,伴/无全肝萎缩,对于指导选择合理的治疗策略有一定的价值。

建议:对行手术切除的Ⅲ、Ⅳ型肝门部胆管癌患者,推荐3D可视化技术用于帮助判断肿瘤是否侵犯门静脉及其侵犯范围,指导术前手术规划、评估残肝体积、判断是否需要PVE,从而提高手术的安全性。

3.2.4 门静脉高压症

门静脉高压症是由多种原因导致的门静脉系统血流受阻、血流量增加等,引起门静脉压力异常持续升高的一组临床症候群,其中以急性食管胃底静脉曲张出血最为凶险。肝静脉压力梯度(hepatic venous pressure gradient, HVPG)测量是国际上评估门脉高压症严重程度的金标准, HVPG ≥ 10 mmHg定义为门脉高压^[35]。鉴于测定HVPG需采取侵入性的穿刺措施,不利于动态监测,有学者^[36]提出了一种基于3D可视化技术与计算流体动力学的无创门静脉测压的方法,开发了基于CT血管造影的虚拟HVPG测量,并开展了一项多中心前瞻性研究,结果表明,虚拟HVPG和侵入性HVPG具有显著的一致性,证明其在肝硬化门静脉高压症无创诊断中有积极作用。

门静脉高压症的手术治疗主要是对于食管、胃底静脉曲张的处理。由于门静脉侧支循环的多样性,手术方式也存在差异。3D可视化技术能整体、系统地显示门静脉系统血管曲张的程度、起始及毗邻关系,包括胃左、胃短、胃后、食管旁静脉以及自发性脾胃-肾分流等,并精准定位曲张血管的位置、直径、形态及走行,可指导手术方式的选择。

建议:推荐3D可视化技术作为监测和判断门静脉高压症严重程度的重要检查手段。

4 小结与展望

精准化肝胆外科旨在最小的有创性介入条件下最大限度地切除目标病变,并获得最佳的治疗效果,这就要求肝胆外科医师在诊疗过程中加强对关键风险因素的认识与控制。当前基于多模态

影像医学的精准肝胆外科体系已经初步构建,而在精准肝胆外科需求指引下仍然需要新技术、新方法的融合创新,例如肝脏多模态CT或MRI的融合3D可视化、肝脏门脉与静脉流域的准确评估方法、术中基于影像的手术导航和人工智能肝脏基本辅助诊断决策系统。未来,3D可视化技术结合临床信息与功能影像,将为肝胆外科提供肝功能定量区域评估、术前模拟术中实时导航带来更好的临床实践价值和治疗策略^[37]。本共识规范了3D可视化技术在肝胆外科中的应用,为肝胆外科的术前精准诊断和治疗方案的规划、手术入路的选择以及术中精准手术提供积极且有效的帮助。

5 共识的不足和局限性

目前,在肝胆外科疾病的诊治中,3D可视化技术的临床应用已受到越来越多的关注,但CT数据采集和数据重建要求较高,在某种程度上增加了3D可视化技术在临床实践中推广的难度。本共识的制定是基于现有的循证医学证据,鉴于肝胆外科涵盖范围广,3D可视化在一些分支领域中的临床应用仍处于起步阶段,现有的证据等级较弱,无法给出更高级别的推荐。在今后的临床实践中,应在这些领域加强开展临床研究,以开发、验证3D可视化技术的临床应用价值。本共识也将与时俱进,不断更新升级。

利益冲突声明:所有作者均声明不存在利益冲突。

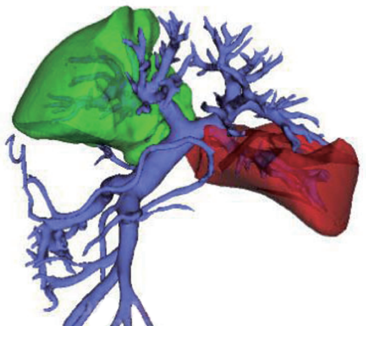
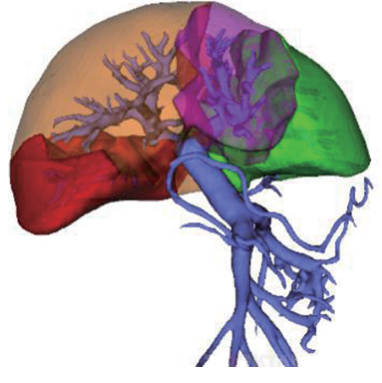
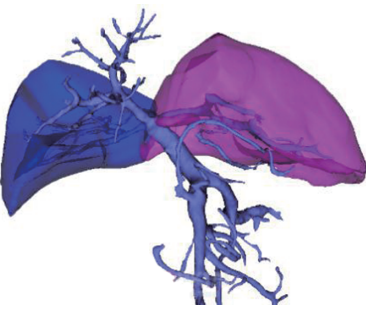
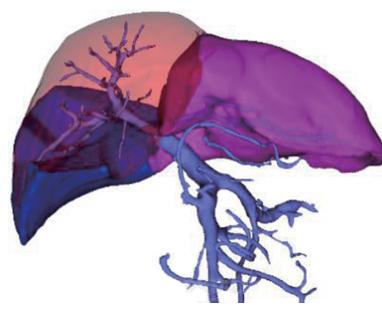
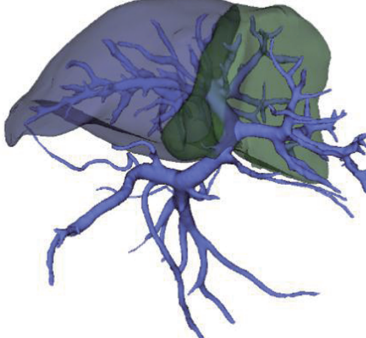
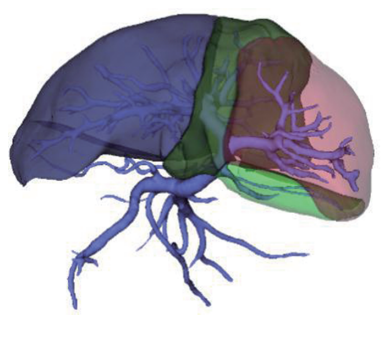
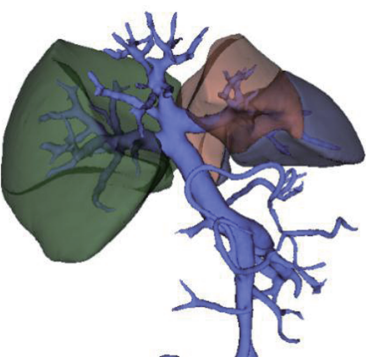
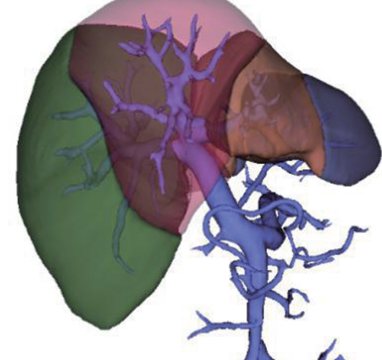
[参考文献]

- [1] FANG C H, ZHANG P, QI X L. Digital and intelligent liver surgery in the new era: prospects and dilemmas [J]. EBioMedicine, 2019, 41: 693-701.
- [2] PELANIS E, KUMAR R P, AGHAYAN D L, et al. Use of mixed reality for improved spatial understanding of liver anatomy [J]. Minim Invasive Ther Allied Technol, 2020, 29(3): 154-160.
- [3] WANG Y, CAO D, CHEN S L, et al. Current trends in three-dimensional visualization and real-time navigation as well as robot-assisted technologies in hepatobiliary surgery [J]. World J Gastrointest Surg, 2021, 13(9): 904-922.
- [4] FANG C H, AN J, BRUNO A, et al. Consensus recommendations of three-dimensional visualization for diagnosis and management of liver diseases [J]. Hepatol Int, 2020, 14(4): 437-453.
- [5] JIANG J H, PEI L, JIANG R Y. Clinical efficacy and safety of 3D vascular reconstruction combined with 3D navigation in laparoscopic hepatectomy: systematic review and meta-analysis [J]. J Gastrointest Oncol, 2022, 13(3): 1215-1223.

- [6] 吴孟超. 肝癌与肝病中国人民解放军肝胆外科研究所论文集(1960—1990) [M]. 北京: 人民军医出版社, 1991: 71-79.
- [7] LEBRE M A, VACA VANT A, GRAND-BROCHIER M, et al. Automatic segmentation methods for liver and hepatic vessels from CT and MRI volumes, applied to the Couinaud scheme [J]. *Comput Biol Med*, 2019, 110(C): 42-51.
- [8] ZYGOMALAS A, KARAVIAS D, KOUTSOURIS D, et al. Computer-assisted liver tumor surgery using a novel semiautomatic and a hybrid semiautomatic segmentation algorithm [J]. *Med Biol Eng Comput*, 2016, 54(5): 711-721.
- [9] TAKASAKI K. Glissonian pedicle transection method for hepatic resection: a new concept of liver segmentation [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 1998, 5 (3): 286-291.
- [10] 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): 1297-1304.
- [11] 周显军, 董 蓓, 朱呈瞻, 等. 数字化重建技术在基于肝脏门静脉结构的肝段划分中的作用及意义 [J]. *中华外科杂志*, 2018, 56(1): 61-67.
- [12] CHO A, OKAZUMI S, MAKINO H, et al. Anterior fissure of the right liver—the third door of the liver [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 2004, 11(6): 390-396.
- [13] SUGAWARA Y, MAKUUCHI M, SANO K, et al. Vein reconstruction in modified right liver graft for living donor liver transplantation [J]. *Ann Surg*, 2003, 237(2): 180-185.
- [14] KIUCHI T, TANAKA K, ITO T, et al. Small-for-size graft in living donor liver transplantation: how far should we go? [J]. *Liver Transpl*, 2003, 9(9): S29-S35.
- [15] European Association for the Study of the Liver. EASL clinical practice guidelines: liver transplantation [J]. *J Hepatol*, 2016, 64(2): 433-485.
- [16] 杨 剑, 方驰华, 范应方, 等. 三维可视化技术在合并肝动脉变异的胰十二指肠切除术中的应用 [J]. *中华外科杂志*, 2014, 52(1): 55-59.
- [17] 方驰华, 张 鹏, 周伟平, 等. 三维可视化技术用于1 665例原发性肝癌精准诊治的多中心回顾性研究 [J]. *中华外科杂志*, 2020, 58(5): 375-382.
- [18] 罗 毅, 张 明, 周 韬, 等. 三维可视化技术在儿童活体肝移植中的应用 [J]. *中华外科杂志*, 2016, 54(9): 700-703.
- [19] HALLET J, GAYET B, TSUNG A, et al. Systematic review of the use of pre-operative simulation and navigation for hepatectomy: current status and future perspectives [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*, 2015, 22(5): 353-362.
- [20] 韦明奇, 张 灵, 王继龙, 等. 三维可视化技术在联合肝脏分隔和门静脉结扎二步肝切除术中肝中静脉处理的应用价值 [J]. *中华消化外科杂志*, 2020, 19(11): 1217-1223.
- [21] 李鹏鹏, 王志恒, 黄 昱, 等. 肝脏三维可视化技术在肝脏恶性肿瘤治疗规划中的应用研究 [J]. *中华外科杂志*, 2017, 55(12): 916-922.
- [22] 方驰华, 方兆山, 范应方, 等. 三维可视化、3D打印及3D腹腔镜在肝肿瘤外科诊治中的应用 [J]. *南方医科大学学报*, 2015, 35(5): 639-645.
- [23] 祝 文, 何松盛, 曾思略, 等. 以血管为轴心的中央型肝癌三维可视化评估及虚拟现实的研究 [J]. *中华外科杂志*, 2019, 57(5): 358-365.
- [24] 苏 琳, 董 蓓, 张 虹, 等. 3D可视化技术在婴幼儿复杂肝肿瘤精准肝切除中的应用 [J]. *中华肝脏外科手术学电子杂志*, 2015, 4(5): 274-278.
- [25] 方驰华, 卢绮萍, 蔡 伟. 肝胆管结石三维可视化精准诊治专家共识(2019版) [J]. *中国实用外科杂志*, 2019, 39(10): 1001-1009.
- [26] FANG C H, LIU J, FAN Y F, et al. Outcomes of hepatectomy for hepatolithiasis based on 3-dimensional reconstruction technique [J]. *J Am Coll Surg*, 2013, 217(2): 280-288.
- [27] YU W B, RAO A, VU V, et al. Management of centrally located hepatocellular carcinoma: update 2016 [J]. *World J Hepatol*, 2017, 9(13): 627-634.
- [28] FANG C H, TAO H S, 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.
- [29] 方驰华, 卢绮萍, 蔡 伟. 中央型肝癌三维可视化精准诊疗中国专家共识(2020版) [J]. *中国实用外科杂志*, 2020, 40(4): 361-368.
- [30] ZHANG J, GUO X C, WANG H, et al. The application of three-dimensional visualization in preoperative evaluation of portal vein invasion in hilar cholangiocarcinoma [J]. *Cancer Manag Res*, 2020, 12: 9297-9302.
- [31] ENDO I, SHIMADA H, SUGITA M, et al. Role of three-dimensional imaging in operative planning for hilar cholangiocarcinoma [J]. *Surgery*, 2007, 142(5): 666-675.
- [32] 温志坚, 陈 战, 闫兴洲, 等. 三维可视化技术在Bismuth-Corlette III、IV型肝门部胆管癌计划性肝切除中的应用 [J]. *武警医学*, 2021, 32(3): 218-223.
- [33] ZENG N, TAO H S, FANG C H, et al. Individualized preoperative planning using three-dimensional modeling for Bismuth and Corlette type III hilar cholangiocarcinoma [J]. *World J Surg Oncol*, 2016, 14(1): 44.
- [34] 方驰华, 刘允怡, 曾 宁, 等. 肝门部胆管癌三维可视化精准诊治中国专家共识(2019版) [J]. *中国实用外科杂志*, 2020, 40(3): 260-266.
- [35] GARCIA-TSAO G, ABRALDES J G, BERZIGOTTI A, et al. Portal hypertensive bleeding in cirrhosis: risk stratification, diagnosis, and management: 2016 practice guidance by the American Association for the study of liver diseases [J]. *Hepatology*, 2017, 65(1): 310-335.
- [36] QI X L, AN W M, LIU F Q, et al. Virtual hepatic venous pressure gradient with CT angiography (CHESS 1601): a prospective multicenter study for the noninvasive diagnosis of portal hypertension [J]. *Radiology*, 2019, 290(2): 370-377.
- [37] 方驰华, 张 鹏, 刘允怡, 等. 肝胆胰疾病数字智能化诊疗核心技术、体系构建及其应用 [J]. *中华外科杂志*, 2019, 57(4): 253-257.

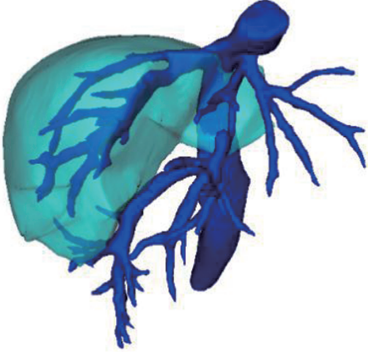
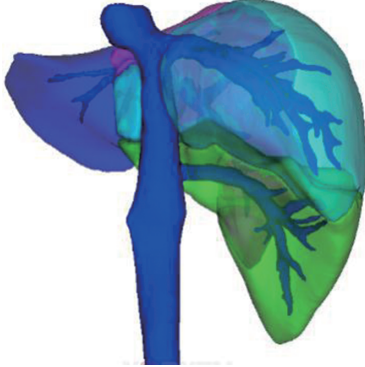
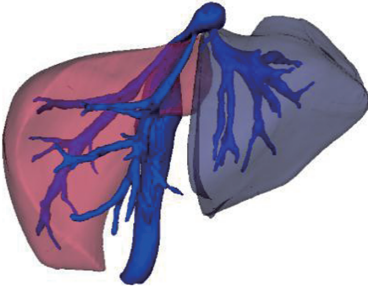
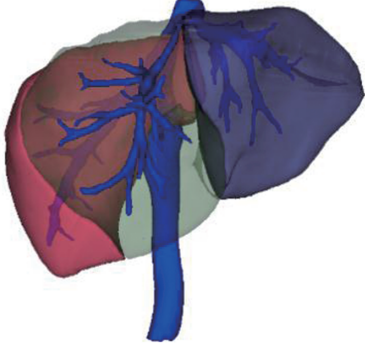
附录 I

门静脉变异分型

| 门静脉变异分支 | 门静脉变异分支流域肝段 | 变异分型及描述 |
|---|--|--|
|  |  | I型变异（84.03%） 门静脉主干于肝门处发出门静脉左、右支，门静脉右支再发出右前、右后支 |
|  |  | II型变异（7.74%） 门静脉左支、右前支、右后支呈三叉状从肝门区发出 |
|  |  | III型变异（6.23%） 门静脉主干先发出门静脉右后支，门静脉右前支和左支共干 |
|  |  | IV型变异（2.01%） 门静脉主干直接分为门静脉右后支和左支两支，门静脉右前支发自左支 |

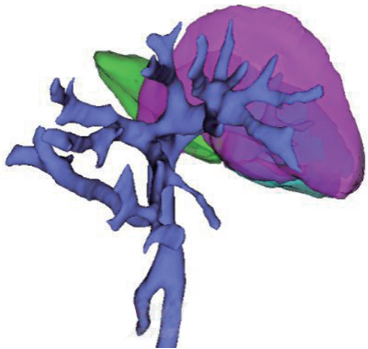
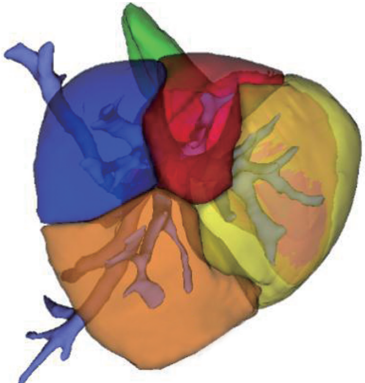
注：基于东方肝胆外科医院3 800例数据，门静脉 I 型变异3 193例，84.03%；II 型变异294例，7.74%；III 型变异237例，6.23%；IV 型变异76例，2.01%。

肝静脉变异分型

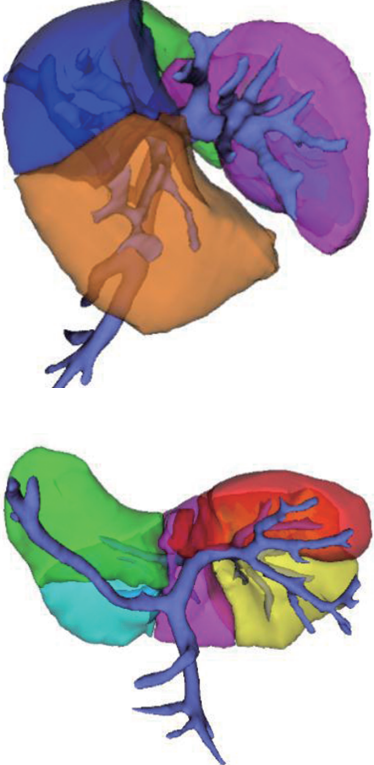
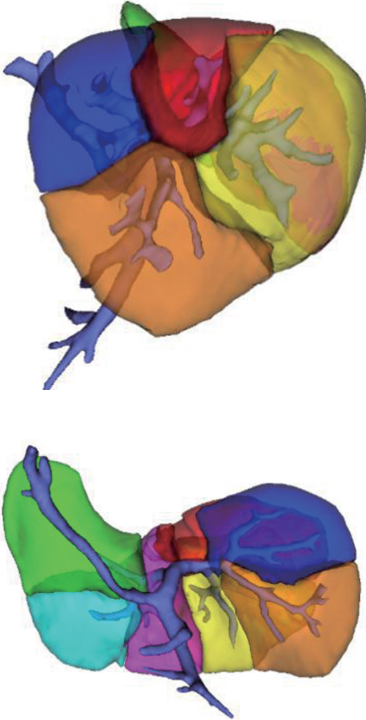
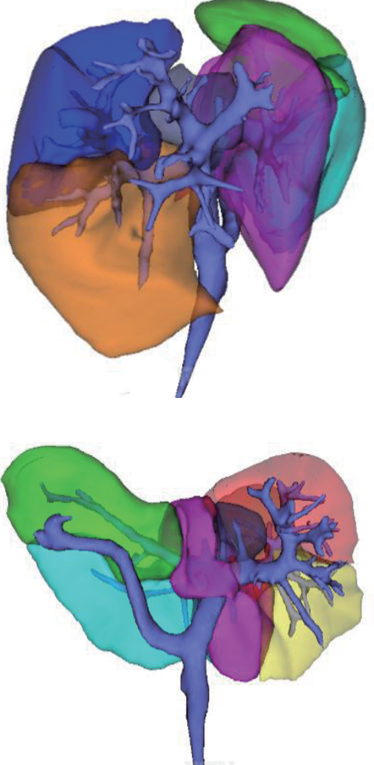
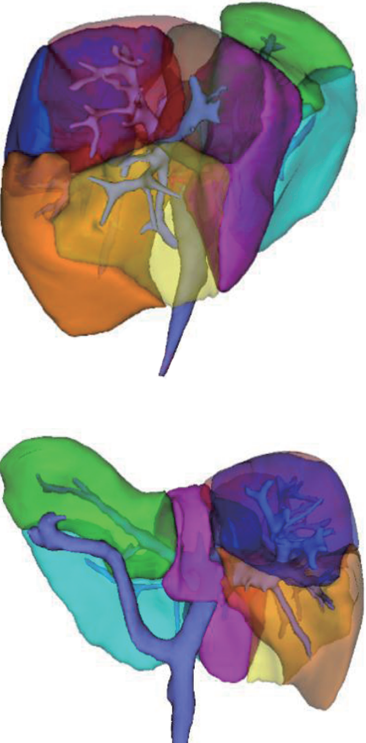
| 肝静脉变异分支 | 肝静脉变异分支流域肝段 | 变异分型及描述 |
|--|---|---|
|  |  | <p>肝静脉I型变异（69.58%）伴肝右静脉II型变异 肝右静脉单独汇入下腔静脉，肝左静脉和肝中静脉合并后汇入下腔静脉； 肝右静脉中等大小，副右肝静脉中等大小，引流Ⅵ段</p> |
|  |  | <p>肝静脉II型变异（30.42%） 肝右静脉、肝中静脉和肝左静脉分别单独汇入下腔静脉</p> |

注：基于东方肝胆外科医院3 800例数据，肝静脉I型变异2 644例，69.58%；II型变异1 156例，30.42%。

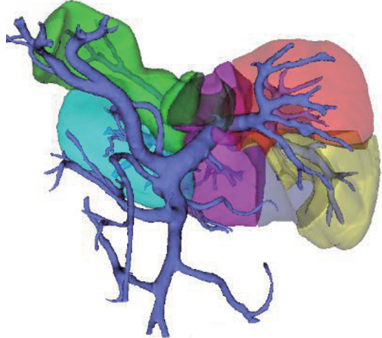

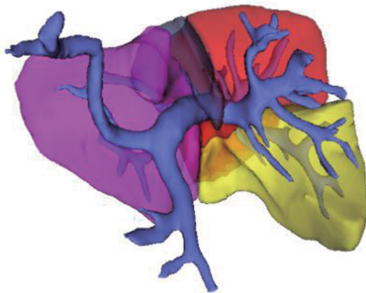
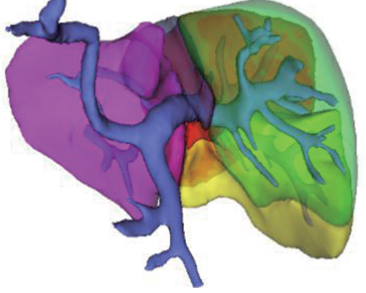

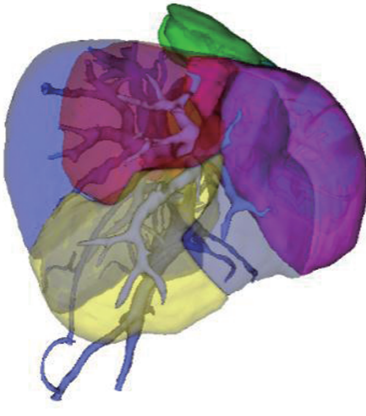

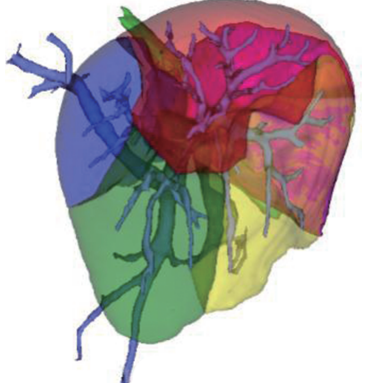
门静脉A、B、C、D 4种变异分型

| 门静脉变异分支 | 门静脉变异分支流域肝段 | 变异分型及描述 |
|---|--|---|
|  |  | <p>A型（分为8段） 门静脉右支：尾侧支与腹侧支供应区域为Ⅴ段，头侧支与背侧支供应区域为Ⅷ段；Ⅵ段为右后支在3级分支后向肝右叶外下方发出4级门静脉血管供应的区域；Ⅶ段为右后支在2级分支后向肝右叶外上方发出4级门静脉血管供应的区域</p> |

续表

| 门静脉变异分支 | 门静脉变异分支流域肝段 | 变异分型及描述 |
|---|--|--|
|  |  | |
|  |  | <p>B型（分为9段） 门静脉右支在2级分支后分为右前支与右后支，右前支分为3支，分别为尾侧支（P5）、头-背侧支（P8）、头-腹侧支（P9），供应区域对应为V段、VIII段、IX段；右后支在3级分支后向肝右叶外下方、外上方分别发出4级门静脉供应的区域分别为VI、VII段</p> |

续表

| 门静脉变异分支 | 门静脉变异分支流域肝段 | 变异分型及描述 |
|---|--|---|
|  |  | <p>C型 肝右叶门静脉后支有时并没有明显地分为两支分别供应肝右叶外上方与外下方，而是以一条弓型主干发出5~11支呈扇形分布的门静脉分支供血肝脏右后区域，在行精准肝段切除时无法像A、B型那样单独切除VI、VII段</p> |
|  |  | <p>Ca型 C型合并P8门静脉者为Ca型</p> |
|  |  | <p>Cb型 C型同时合并P8、P8'门静脉者为Cb型</p> |
|  |  | <p>D型（特殊变异型） 举例：门静脉右支分出P7门静脉后，自门静脉右前支发出P6门静脉；门静脉右前支为1支主干，扇形分出数支小分支；P2、P3共干，自主干分出数支分支供应肝脏II、III段；门静脉右前支来自门静脉左支囊部等。</p> |

注：D型为特殊变异型，包含多种变异。门静脉主干分为右支与左支后自门静脉左支发出门静脉右前支；门静脉主干在肝门处呈三叉状分为左支、右前支和右后支；门静脉右前支呈花瓣状发出4~8支粗细近似的分支支配右肝内侧；门静脉右支分出P7门静脉后，自门静脉右前支发出P6门静脉；门静脉右前支为1支主干，扇形分出数支小分支；P2、P3共干，自主干分出数支分支供应肝脏II、III段；门静脉右前支来自门静脉左支囊部等。

《3D可视化技术在肝胆外科中的临床应用专家共识 (2022年版)》 编审委员会

总审定:

孙 钢 中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院
周伟平 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
彭卫军 复旦大学附属肿瘤医院

邵成伟 海军军医大学第一附属医院(上海长海医院)
尚鸣异 上海交通大学医学院附属同仁医院
孙 钢 中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院
汤光宇 同济大学附属第十人民医院
陶晓峰 上海交通大学医学院附属第九人民医院
汪登斌 上海交通大学医学院附属新华医院

编写委员会主任:

刘 辉 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
王培军 同济大学附属同济医院
陶晓峰 上海交通大学医学院附属第九人民医院
贾宁阳 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)

王 悍 上海交通大学医学院附属第一人民医院
王培军 同济大学附属同济医院
王 嵩 上海中医药大学附属龙华医院
许建荣 上海交通大学医学院附属仁济医院
余永强 安徽医科大学第一附属医院
詹松华 上海中医药大学附属曙光医院

参加编审及讨论者(依姓氏汉语拼音排序):

敖国昆 首都医科大学宣武医院
陈自谦 中国人民解放军联勤保障部队第九〇〇医院
段闽江 中国人民解放军总医院第七医学中心
郜发宝 四川大学华西医院
顾雅佳 复旦大学附属肿瘤医院
贾宁阳 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
金 彪 上海市崇明区长兴人民医院
李绍林 中山大学附属第五医院
李跃华 上海交通大学医学院附属第六人民医院
梁宗辉 复旦大学附属华山医院静安分院
林光武 复旦大学附属华东医院
刘 辉 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
彭卫军 复旦大学附属肿瘤医院
饶圣祥 复旦大学附属中山医院
沙 炎 复旦大学附属眼耳鼻喉科医院

张国福 复旦大学附属妇产科医院
周伟平 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
周 滢 上海交通大学医学院附属仁济医院

执笔者:

张 娟 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
汪珍光 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
周文炫 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
刘一萍 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)

通信作者:

刘 辉 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)
贾宁阳 海军军医大学第三附属医院(上海东方肝胆
外科医院)