

数字智能化诊断与治疗技术在胆道恶性肿瘤中的应用

方驰华 张鹏 陈康

南方医科大学珠江医院肝胆一科 广东省数字医学临床工程技术研究中心, 广州 510282

通信作者: 方驰华, Email: fangch_dr@163.com

【摘要】 随着数字医学新时代的来临, 一系列数字智能化诊断与治疗技术的出现对胆道恶性肿瘤诊断与治疗发展起到了重要的推动作用。笔者结合国内外相关文献和笔者团队近 15 年来应用数字智能化诊断与治疗技术在胆道恶性肿瘤诊断与治疗中的实践经验, 对相关数字智能化诊断与治疗技术在胆道恶性肿瘤中的应用现状进行详细阐述。笔者将深入探讨以三维可视化、虚拟仿真手术、3D 打印技术、虚拟现实、腹部手术导航、医疗大数据和人工智能-影像组学为代表的数字智能化诊断与治疗技术在术前评估、手术规划、实时指导手术等方面的应用, 展望数字智能化诊断与治疗技术在胆道恶性肿瘤诊断与治疗研究中的新方向, 推动该模式向智能辅助诊断与治疗方向发展。

【关键词】 胆道恶性肿瘤; 数字医学; 荧光成像; 医疗大数据; 人工智能

基金项目: “十三五”国家重点研发计划数字诊断与治疗装备研发重点专项(2016YFC0106500); 国家自然科学基金重大科研仪器研制项目(81627805); 国家自然科学基金-广东联合基金(U1401254); “十二五”国家高技术研究发展计划(863 计划)(2012AA021105); 广东省重大科技专项(2012A080203013)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2019.02.002

The application of digital medical intelligent diagnosis and treatment technology for biliary malignant tumors

Fang Chihua, Zhang Peng, Chen Kang

The First Department of Hepatobiliary Surgery, Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangdong Provincial Clinical and Engineering Center of Digital Medicine, Guangzhou 510282, China
Corresponding author: Fang Chihua, Email: fangch_dr@163.com

【Abstract】 With the advent of a new era of digital medicine, the emergence of a series of digital intelligent diagnosis and treatment technology has played an important role in the development of diagnosis and treatment of biliary malignant tumors. In this paper, the application of digital intelligent technology in the diagnosis and treatment of biliary malignant tumors is elaborated based on the relevant literature at home and abroad as well as the author's practical experience in the past 15 years. This paper introduces the application of digital medical technology represented by three-dimensional visualization, virtual simulation surgery, three-dimension printing

technology, virtual reality, abdominal surgery navigation, medical big data and artificial intelligence-radiomics in preoperative evaluation, operation planning, and real-time intraoperative guidance, and looks forward to the new direction of intelligent technology in the diagnosis and treatment of biliary malignant tumors, so as to promote its diagnosis and treatment mode to intelligent assisted diagnosis and treatment.

【Key words】 Biliary malignant neoplasms; Digital medicine; Fluorescence imaging; Medical big data; Artificial intelligence

Fund programs: States' Key Project of Research and Development Plan (2016YFC0106500); Major Instrument Project of National Natural Science Foundation of China (81627805); National Natural Science Foundation of China and Guangdong Province Union Foundation (U1401254); National High Technology Research and Development Program of China (863 program) (2012AA021105); Science and Technology Program of Guangdong Province (2012A080203013)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2019.02.002

胆道恶性肿瘤是一种异质性肿瘤, 主要指胆囊癌、肝内胆管癌、肝门部胆管癌、远端胆管癌等。其发病机制复杂, 病因尚不明确, 预后较差, 5 年生存率低。新辅助治疗的效果目前尚不明确, 根治性手术切除是唯一可能获得长期生存的手段^[1-2]。目前以三维可视化、虚拟仿真手术、3D 打印技术、虚拟现实、腹部手术导航为代表的数字医学技术, 以医疗大数据和人工智能为代表的智能化诊断与治疗技术已经广泛应用于医学各个领域, 为胆道肿瘤外科发展带来了新的思路和契机^[3-5]。

1 数字医学诊断与治疗技术在胆道肿瘤外科中的应用现状

1.1 三维可视化技术与虚拟仿真手术及 3D 打印技术
已经发布的 2018 版美国国立综合癌症网络(NCCN)胆道系统恶性肿瘤指南, 在 2017 版的基础

上进一步规范了外科手术方式和范围,更加强调切缘阴性的重要性。胆囊癌是胆道系统最常见的恶性肿瘤,早期诊断困难,易发生淋巴结转移, R_0 切除率低,预后较差。第 8 版美国癌症联合委员会(AJCC)胆囊癌分期系统分别根据原发肿瘤浸润胆囊壁和肝脏组织的深度(T 分期)、区域淋巴结转移的数目(N 分期)和是否存在远处转移(M 分期)进行评估^[6]。传统的胆道肿瘤患者术前评估和手术规划均依赖 CT、MRI、MRCP 等二维影像学检查,对于手术的规范化存在明显不足^[7]。胆囊癌的基本手术方式为胆囊及局部受侵犯肿瘤的整块切除,局部肝转移的联合切除以及区域淋巴结清扫。联合肝切除包括肝楔形切除术(距胆囊床 2 cm),右半肝或右三肝切除术,以及联合肝切除的胰十二指肠切除术。对于 TNM I B 期胆囊癌患者是否需要联合肝脏切除一直存在争论,TNM II 期肿瘤需要根据实际情况切除部分肝中叶组织,在处理肝中静脉起始的左、右支时要注意将其切断结扎,防止在钝性分离时使肝中静脉分叉处撕裂,同时肝 IVb+V 段邻近解剖结构复杂的第一肝门,如果处理不当术中容易发生大出血。因此,术前准确把握围肝门部解剖结构及变异情况有利于手术的顺利施行。笔者团队前期在三维可视化技术辅助手术切除复杂性肝癌的应用研究中,证实了三维重建模型可为外科医师提供立体、直观和准确的肝门部解剖结构,为手术关键问题提供可视化的解决方案^[7-8]。术前运用三维可视化技术评估门静脉、肝动脉、胆管类型和变异情况,评估肿瘤纵向浸润和横向侵犯范围,虚拟仿真肝切除体积,对制订合理手术方案具有重要意义^[9-10]。此外,三维可视化及虚拟仿真手术可为肝门部胆管癌的治疗方式提供新思路^[11]。联合门静脉切除重建术现已在较大中心广泛开展,但联合肝动脉切除重建术仍具有一定挑战性,术前反复仿真模拟手术过程及确定血管重建长度有利于提高手术成功率和安全性^[12]。

门静脉受侵犯程度、门静脉变异对肝门部胆管癌手术方式的选择有决定性的影响,而且门静脉变异率较高,利用三维可视化技术可以清晰地显示肝门部复杂的解剖结构并快速识别门静脉解剖变异,客观地显示肿瘤侵犯血管的可疑部位,为术中血管切除重建做好准备。在根治性切除的基础上,保留功能性肝体积,防止术后发生肝衰竭^[13-14]。正常情况下门静脉分离极限点(U 点:门静脉左支水平部与矢状部的转角处;P 点:门静脉右前支、右后支分叉部)是指肝切除术中胆管能从并行的门静脉及肝动

脉中剥离出来的极限部位,在这个极限点上游的胆管不能单独分离和切断^[15]。在门静脉变异情况下,门静脉分离极限点会发生前移或下移,辨识各型肝内脉管结构的变异对确定肝切除极限点的位置尤为重要^[16]。此外,血管受到肿瘤的推压所产生的改变很难与肿瘤直接侵犯血管所引起的征象区别。笔者以个体化门静脉三维重建为基础,提出以门静脉血管为轴心,将肿瘤与门静脉的邻近关系归纳为 4 级:0 级为肿瘤未压迫门静脉;1 级为肿瘤压迫但未侵犯门静脉;2 级为肿瘤侵犯门静脉主干,但血管连续性未中断;3 级为肿瘤侵犯门静脉主干,导致血管连续性中断^[17]。对于 0~1 级的患者门静脉尚未受到侵犯;2~3 级的患者需要联合血管切除重建才能达到根治性切除目的。以门静脉为轴心的血管评估理念与国内其他学者在腹腔镜胰十二指肠切除术中提出的“门静脉-肠系膜上静脉”血管轴为中心的概念有所区别,后者类似于联合血管评估和探查观点,强调手术流程的程序化、规范化^[18]。而以门静脉为轴心结合门静脉分离极限点(U 点、P 点)评估门静脉情况,强调制订肝门部胆管癌个体化、根治性手术策略。

在 2D 屏幕上显示 3D 图像仍然缺乏真实性,因缺乏可靠的肝脏表面标志,单纯应用三维图像指导手术会受到部分限制,同时肝脏的可塑性和呼吸运动导致的形态变化一直是术中使用三维图像的主要限制因素,使用高精度的 3D 打印模型有望克服这些障碍^[19]。等比例打印的 3D 模型,实现了三维可视化影像平面模式向三维可视化物理立体模型的跨越式转变,能真实立体地展示肝门部肿瘤与肝脏脉管的空间关系,将 3D 打印模型带入手术室,通过调整 3D 打印模型并置于与肝脏相对应解剖位置,术中实时手术进行比对,可为手术关键步骤提供直观真实的实时导航,指导精准手术^[20]。

1.2 虚拟现实与增强现实和混合现实

虚拟现实技术是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统。它利用计算机对现实场景进行三维模拟仿真的虚拟环境,是一种可使用户沉浸到该环境中的多源信息融合、交互式的三维动态视景和实体行为的系统仿真^[21]。在具有沉浸感的虚拟现实环境中进行虚拟解剖信息交互操作,能为学习者提供逼真的 3D 学习环境,使外科医师克服掌握肝门部复杂解剖结构的困难,术前获得并熟知胆道肿瘤患者肝脏内部门静脉、肝动脉、肝静脉、肿瘤等的三维空间位置关系^[22-23]。这都是手术治疗胆道恶性肿瘤的基础,为术前手术规划提供真实感、空间

感和立体感。目前,增强现实技术和混合现实技术作为虚拟现实技术的进一步发展在腹部外科得到了初步应用。在肝脏外科手术中,增强现实技术是利用 CT 和 MRI 检查数据重建肝脏和肝内脉管系统的三维图像进行手术规划,术中将虚拟图像叠加在手术视野上进行导航^[24]。如果以肝门部血管为标志,将手术规划的三维图像以 1:1 比例叠影在肝脏表面,可实现胆囊癌或肝门部胆管癌预切除肝脏范围的初步界定,帮助外科医师实现精准肝切除。腹腔镜手术是胆道肿瘤外科发展的方向,对于腹腔镜肝切除术,除了触觉反馈外,视觉反馈对精细操作和脉管处理也至关重要,增强现实技术可将三维可视化肝脏模型投影到手术区域,有助于解决术中手眼不协调的问题^[25-27]。混合现实在真实环境中呈现虚拟场景的信息,在现实世界、虚拟世界和使用者之间搭起一个交互反馈的信息回路,以增强使用者体验的真实感。混合现实在腹部外科的应用还处在起步阶段。该新技术可在手术部位附近展示三维模型,可减少操作空间和可视化之间的偏移^[28]。

三维可视化是营造沉浸式虚拟现实的第一步,通过自动融合不同图像的方式,外科医师可以结合手术情况根据连贯的、多模态的虚拟视图制订策略^[29]。虚拟现实、增强现实和混合现实的应用为减少三维重建模型和实际操作空间之间的不确定性提供了新的手术导航方法,在术前规划、术中导航、手术模拟训练、医患沟通等多个方面表现出巨大的潜力^[30]。

1.3 吲哚菁绿分子荧光成像

吲哚菁绿(Indocyanine Green, ICG)介导的近红外光检测技术在外科手术导航中应用十分广泛^[31]。经静脉注射 ICG 后,ICG 可迅速被肝细胞摄取,最后经胆道系统排泄,术中使用波长范围为 750~810 nm 的外来光激发显示荧光,在荧光状态下可清楚显示肝外胆管形态。当存在一侧胆管受到肿瘤侵犯,导致胆道排泄功能受损时,ICG 靶向滞留在病变侧肝脏组织,出现半肝荧光延迟消退现象^[32-33]。行胆囊癌根治性手术时,胆囊颈部因慢性炎症常与胆总管粘连,为了安全、准确地解剖胆管周围组织,可利用分子荧光胆道成像清晰地识别胆总管部位,减少胆管副损伤。与传统的胆管造影检查比较,经静脉注射 ICG 实现胆道造影检查在节约手术时间,避免直接穿刺胆管注射造影剂引起医源性胆管损伤方面具有明显优势。肝外胆管联合左侧或右侧肝脏及肝尾状叶的整块切除是肝门部胆管癌切除的主要手术方式。行解剖性半肝切除术时常使用 Glisson 蒂阻断

法,左、右半肝之间会出现明显的缺血分界线,在肝脏离断过程中肝实质内缺血分界线远不如肝脏表面明显。而且肝脏严重胆汁淤积时,缺血分界线显示不清晰。此时可在术中使用 ICG 分子荧光影像技术通过正显示法或负显示法,清楚显示预切除的半肝范围。此外,ICG 在肝内停留时间较长,离断肝实质过程中染色不会褪去,手术过程中能进行动态观察,根据肝实质的荧光边界对肝切除的方向作出调整和纠正,实现目标区域肝实质的三维染色及术中实时导航^[34]。

ICG 分子荧光成像技术是在活体状态下对分子、细胞功能水平的病变状态进行定性和定量分析,可在术中根据 ICG 在肝脏靶向滞留区域定位病变部位,辅助肿瘤边界界定、肝切除范围的确定、微小病灶及剩余病灶侦测,实现解剖性、功能性、根治性手术治疗,提高胆道恶性肿瘤手术治疗安全性和准确性^[11]。

1.4 腹部手术导航技术

随着计算机技术和影像学技术的发展,“导航”已从全球定位系统延伸至外科或亚外科领域,称之为手术导航技术。手术导航技术指医师在术前运用医学影像设备和计算机图像处理方法,将对患者术前多模式的影像数据进行三维可视化处理,通过快速的配准程序与术中患者的解剖结构准确对应,并利用三维定位系统实时采集和显示手术器械在空间中的位置,医师通过观察三维模型中手术器械与病变部位的相对位置关系,对患者进行精准手术导航^[35]。与骨科、神经外科手术导航不同,腹部外科的手术导航属于非刚性配备,手术操作、肝脏的形变和呼吸运动都会使图像质量发生改变。保证精度的同时做到实时模拟,模拟解剖结构在手术中形变的情况。这是目前腹部手术导航面临的重要难题。在解剖性肝切除术中,ICG 分子荧光成像技术结合术前规划三维图像投影至肝脏表面可精确识别解剖标志,实现真正意义上的三维实时导航^[36]。增强现实和混合现实技术的加入,使手术区域解剖结构更加清晰,也为术中实时导航提供另一种解决方法。集合多学科的图像引导手术技术伴随各相关学科进步而发展,精准的手术导航能更好地引导外科医师进行手术,提高手术的安全性^[37]。

2 医疗大数据和人工智能辅助胆道恶性肿瘤治疗

2.1 医疗大数据优化胆道恶性肿瘤的治疗策略

20 世纪后期兴起的现代科技革命中的电子计

算机技术、信息通讯技术、互联网技术及数据处理技术,使得医疗数据的数量和深度都在以前所未有的速度增长。2016 年 1 月 28 日奥巴马签署总统备忘录,开展白宫抗癌“登月计划”,引起医学界广泛关注。该计划强调了打破数据壁垒的重要性,以创建一个全面有效的全球“癌症知识网络”,加速基因组学、流行病学和临床信息的结合,使肿瘤的精准治疗从癌症诊断、分子发现到患者恢复实现无缝衔接^[38]。数字基因表达谱(digital gene expression profiling, DGE)运用新一代高通量测序和高性能计算分析技术,可全面、快速、经济地检测某一物种特定组织在特定状态下的基因表达情况,并且通过数字化直观地表示出来。目前 DGE 已被应用于胆道恶性肿瘤相关分子学基础研究,虽然已获得大量的研究成果,但也面临临床转化率低的困境。只有当这些大通量的基因组学、蛋白质组学和代谢组学分析所获得的数据与高质量、完整的临床信息相互联系时,才能实现其真正的价值^[39]。2018 年 6 月在日本横滨举行第 30 届日本肝胆胰外科学会年会上,针对目前胆囊癌的治疗仍存在的诸多问题,以及世界范围开展的胆囊癌前瞻性临床研究极少的问题,国际肝胆胰协会(IHPBA)向全世界招募大的胆囊癌诊断与治疗中心参与建立前瞻性数据库及学术平台,从大数据角度优化早期胆囊癌治疗策略,为其提供高质量的循证医学证据^[12]。传统的单一学科、单一诊断与治疗手段对恶性程度较高的胆道恶性肿瘤往往收效甚微,建立多学科团队(multidisciplinary team, MDT)综合治疗协作组诊断与治疗模式提高治疗效果显得尤为重要。最优化联合多种手段,充分体现多学科个体化诊断与治疗优势是胆道恶性肿瘤 MDT 的重点,患者整体生存获益是其评价标准。目前对胆道恶性肿瘤主要采用以手术切除为主的综合治疗,肝胆外科医师在治疗中承担主要任务,肿瘤内科、内镜、介入、放疗等科室予以辅助配合。对不能行根治性切除的患者,放疗和新辅助化疗方案有可能使肿瘤降期,增加根治性手术切除的机会^[40]。

大数据时代的到来使大量未开发的医疗资料可以用于定量分析,如外科手术视频是个不容忽视的数据宝库。目前,大量的手术视频可通过机器学习进行定量分析,利用计算机视觉原理实现自动、实时分析和分割手术步骤,通过相应的反馈系统供外科医师学习,以此提高专业技能^[41-42]。

2.2 人工智能辅助胆道恶性肿瘤诊断与治疗

人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人

智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新技术科学。人工智能在医学领域的应用将医学带入智能化诊断与治疗的模式^[43]。2016 年,由谷歌(Google)旗下 DeepMind 公司开发,具有“深度学习”能力的人工智能机器人阿尔法围棋(AlphaGo)击败围棋高手李世石,标志着人工智能的兴起。IBM(International Business Machines)公司推出的 Watson for Oncology 人工智能辅助诊断与治疗系统是人工智能在医学领域较为成熟的应用,可根据胆道恶性肿瘤患者的症状和检查资料,给出初步诊断和按循证医学证据级别排序的智能化诊断与治疗方案供医师选择^[43]。

机器学习是目前实现人工智能的主要技术,深度学习是机器学习研究中的一个新领域,其目的在于建立、模拟人脑进行分析学习的神经网络,模仿人脑的机制自动学习多层结构中的数据特征,提高分类及预测的准确性^[44-46]。基于人工智能的影像组学(Radiomics)研究是当下最热门的研究领域。2012 年荷兰学者 Lambin 等^[47]提出了 Radiomics 的概念,其深层含义是指通过机器学习高通量、自动地定量分析 CT、MRI、PET 等大量影像检查资料,实现肿瘤分割、特征提取与模型建立,再进行更深层次的挖掘、预测和分析,将图像信息转化为深层次的疾病特征,辅助医师做出准确诊断。运用 Radiomics 的方法分析胆管癌患者术前 CT 检查影像学数据,从中提取出 Radiomics 特征,并结合临床资料建立淋巴结转移预测模型,实现对淋巴结转移的无创性、个体化预测,可作为术后肿瘤复发和临床预后的预测方法,有助于提高临床决策水平,为后续个体化治疗和 MDT 诊断与治疗提供宝贵意见^[48-49]。

影像组学通过深入挖掘图像生物学本质,并通过将这些影像学特征与临床资料相结合建立相应的诊断和预测模型,用来判断肿瘤特性、术后并发症的发生、预测患者预后等。笔者团队运用影像组学方法构建的 Radiomics 评分系统用于胰十二指肠切除术后胰漏发生风险的预测和肝切除术后肝衰竭发生风险的预测,实现了智能化的辅助诊断与治疗,为胆道恶性肿瘤手术治疗术后并发症的预防提供了新方向和新思路^[50-51]。

3 结语

数字智能化诊断与治疗技术作为胆道恶性肿瘤前沿的诊断与治疗模式,使其以外科为主的综合治疗模式发展到智能辅助诊断与治疗的阶段。以三维可视化、虚拟仿真手术、3D 打印技术、虚拟现实、腹

部手术导航为代表的数字医学技术,有利于规范外科手术方式,提高 R_0 手术切除率。以医疗大数据和人工智能为代表的智能化诊断与治疗技术,可为胆囊癌等胆道恶性肿瘤提供多中心大数据研究,智能化预测是否存在淋巴结转移和术后并发症发生风险,进一步优化现有治疗方案。数字智能化诊断与治疗技术是辅助医学发展的智能手段,智能化医学时代的外科医师不仅要熟练掌握外科知识与专业技能,还需要掌握先进的技术、跨领域学习,成为复合型人才,共同推进医学的进步。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- Chan E, Berlin J. Biliary tract cancers; understudied and poorly understood [J]. *J Clin Oncol*, 2015, 33 (16): 1845-1848. DOI: 10.1200/JCO.2014.59.7591.
- 顾秀瑛,郑荣寿,曾红梅,等.2008~2012 年全国肿瘤登记地区胆道恶性肿瘤发病和死亡分析[J]. *中国肿瘤*, 2018, 27 (7): 481-488. DOI: 10.11735/j.issn.1004-0242.2018.07.A001.
- 方驰华,刘允怡,蔡伟.数字医学技术在我国普通外科应用现状和前景[J]. *中华外科杂志*, 2017, 55 (1): 11-14. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2017.01.004.
- 方驰华,刘允怡,周伟平,等.数字医学技术在中国普通外科应用的十年回顾[J]. *中华外科杂志*, 2017, 55 (12): 887-890. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2017.12.002.
- 方驰华,陈康,张鹏.智能化诊疗技术在普通外科中应用现状及前景[J]. *中华外科杂志*, 2019, 57 (1): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2019.01.001.
- 汤朝晖,田孝东,魏妙艳,等.美国癌症联合委员会胆道恶性肿瘤分期系统(第 8 版)更新解读[J]. *中国实用外科杂志*, 2017, 37 (3): 248-254. DOI: 10.19538/j. ejps. issn1005-2208. 2017. 03.10.
- Fang CH, Tao HS, 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. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.09.023.
- 中华医学会数字医学分会,中国研究型医院学会数字医学临床外科专业委员会.复杂性肝脏肿瘤三维可视化精准诊治专家共识[J]. *中国实用外科杂志*, 2017, 37 (1): 53-59. DOI: 10.19538/j. ejps. issn1005-2208. 2017. 01.18.
- 中华医学会数字医学分会,中国研究型医院学会数字医学临床外科专业委员会.肝门部胆管癌三维可视化精准诊治专家共识[J]. *中国实用外科杂志*, 2017, 37 (1): 48-52. DOI: 10.19538/j. ejps. issn1005-2208. 2017. 01.17.
- 方驰华,刘允怡.数字化胆道外科学[M].北京:人民卫生出版社,2018:298-306.
- 方驰华,李乔林,蔡伟.从数字虚拟人技术到数字化微创外科:三维可视化技术在肝门部胆管癌诊断与治疗中的转化应用[J]. *中华消化外科杂志*, 2018, 17 (4): 343-346. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2018.04.005.
- 汤朝晖,魏妙艳,唐陈伟,等.第 30 届日本肝胆胰外科学会年会胆道肿瘤研究进展解析[J]. *中华消化外科杂志*, 2018, 17 (7): 687-691. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2018.07.010.
- Zhang J, Qiao QL, Guo XC, et al. Application of three-dimensional visualization technique in preoperative planning of progressive hilar cholangiocarcinoma [J]. *Am J Transl Res*, 2018, 10 (6): 1730-1735.
- Okuda Y, Taura K, Seo S, et al. Usefulness of operative planning based on 3-dimensional CT cholangiography for biliary malignancies [J]. *Surgery*, 2015, 158 (5): 1261-1271. DOI: 10.1016/j.surg.2015.04.021.
- Hirano S, Tanaka E, Shichinohe T, et al. Treatment strategy for hilar cholangiocarcinoma, with special reference to the limits of ductal resection in right-sided hepatectomies [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 2007, 14 (5): 429-433. DOI: 10.1007/s00534-006-1190-5.
- Zeng N, Tao H, Fang C, 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. DOI: 10.1186/s12957-016-0794-8.
- 方驰华,赵东,曾思略.以血管为轴心的巨块型肝脏肿瘤三维可视化术前规划和诊疗[J]. *腹部外科*, 2018, 31 (5): 299-301. DOI: 10.3969/j.issn.1003-5591.2018.05.001.
- 李国林,林青,郑上游,等.程序化流程腹腔镜胰十二指肠切除术的初步探讨[J/CD]. *中华腹腔镜外科杂志: 电子版*, 2018, 11 (2): 85-89. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2018.02.006.
- Zein NN, Hanouneh IA, Bishop PD, et al. Three-Dimensional Print of a Liver for Preoperative Planning in Living Donor Liver Transplantation [J]. *Liver Transpl*, 2013, 19 (12): 1304-1310. DOI: 10.1002/lt.23729.
- 曾宁,方驰华,范应方,等.肝门部胆管癌三维可视化精准诊疗平台构建及临床应用[J]. *中华外科杂志*, 2016, 54 (9): 680-685. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2016.09.007.
- Draeos M, Keller B, Viehland C, et al. Real-time visualization and interaction with static and live optical coherence tomography volumes in immersive virtual reality [J]. *Biomed Opt Express*, 2018, 9 (6): 2825-2843. DOI: 10.1364/BOE.9.002825.
- Silverstein JC, Dech F, Edison M, et al. Virtual reality: immersive hepatic surgery educational environment [J]. *Surgery*, 2002, 132 (2): 274-277. DOI: 10.1067/msy.2002.125723.
- Moro C, Stromberga Z, Raikos A, et al. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy [J]. *Anat Sci Educ*, 2017, 10 (6): 549-559. DOI: 10.1002/ase.1696.
- Tang R, Ma LF, Rong ZX, et al. Augmented reality technology for preoperative planning and intraoperative navigation during hepatobiliary surgery: A review of current methods [J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2018, 17 (2): 101-112. DOI: 10.1016/j.hbpd.2018.02.002.
- Hallet J, Soler L, Diana M, et al. Trans-Thoracic Minimally Invasive Liver Resection Guided by Augmented Reality [J]. *J Am Coll Surg*, 2015, 220 (5): e55-e60. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.12.053.
- Phutane P, Buc E, Poirot K, et al. Preliminary trial of augmented reality performed on a laparoscopic left hepatectomy [J]. *Surg Endosc*, 2018, 32 (1): 514-515. DOI: 10.1007/s00464-017-5733-4.
- Bichlmeier C, Heining SM, Feuerstein M, et al. The virtual mirror: a new interaction paradigm for augmented reality environments [J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2009, 28 (9): 1498-1510. DOI: 10.1109/TMI.2009.2018622.
- Sauer IM, Queisner M, Tang P, et al. Mixed Reality in Visceral Surgery: Development of a Suitable Workflow and Evaluation of Intraoperative Use-cases [J]. *Ann Surg*, 2017, 266 (5): 706-712. DOI: 10.1097/SLA.0000000000002448.
- Conrad C, Fusaglia M, Peterhans M, et al. Augmented Reality Navigation Surgery Facilitates Laparoscopic Rescue of Failed Portal Vein Embolization [J]. *J Am Coll Surg*, 2016, 223 (4): e31-e34. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2016.06.392.
- Li L, Yu F, Shi D, et al. Application of virtual reality technology

- in clinical medicine [J]. Am J Transl Res, 2017, 9 (9) : 3867-3880.
- [31] Zelken JA, Tufaro AP. Current Trends and Emerging Future of Indocyanine Green Usage in Surgery and Oncology: An Update [J]. Ann Surg Oncol, 2015, 22 (S3) : 1271-1283. DOI: 10.1245/s10434-015-4743-5.
- [32] Ishizawa T, Saiura A, Kokudo N. Clinical application of indocyanine green-fluorescence imaging during hepatectomy [J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2016, 5 (4) : 322-328. DOI: 10.21037/hbsn.2015.10.01.
- [33] 中华医学会数字医学分会, 中国研究型医院学会数字医学临床外科专业委员会. 计算机辅助联合吲哚菁绿分子荧光影像技术在肝脏肿瘤诊断和手术导航中的应用专家共识 [J]. 中国实用外科杂志, 2017, 37 (5) : 531-538. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2017.05.18.
- [34] Inoue Y, Arita J, Sakamoto T, et al. Anatomical Liver Resections Guided by 3-Dimensional Parenchymal Staining Using Fusion Indocyanine Green Fluorescence Imaging [J]. Ann Surg, 2015, 262 (1) : 105-111. DOI: 10.1097/SLA.0000000000000775.
- [35] Peterhans M, Vom Berg A, Dagon B, et al. A navigation system for open liver surgery: design, workflow and first clinical applications [J]. Int J Med Robot, 2011, 7 (1) : 7-16. DOI: 10.1002/res.360.
- [36] Nishino H, Hatano E, Seo S, et al. Real-time Navigation for Liver Surgery Using Projection Mapping With Indocyanine Green Fluorescence [J]. Ann Surg, 2018, 267 (6) : 1134-1140. DOI: 10.1097/SLA.0000000000002172.
- [37] Rosenthal EL, Warram JM, Bland KI, et al. The status of contemporary image-guided modalities in oncologic surgery [J]. Ann Surg, 2015, 261 (1) : 46-55. DOI: 10.1097/SLA.0000000000000622.
- [38] Clinical Cancer Genome Task Team of the Global Alliance for Genomics and Health, Lawler M, Haussler D, et al. Sharing Clinical and Genomic Data on Cancer—The Need for Global Solutions [J]. N Engl J Med, 2017, 376 (21) : 2006-2009. DOI: 10.1056/NEJMp1612254.
- [39] Haendel MA, Chute CG, Robinson PN. Classification, Ontology, and Precision Medicine [J]. N Engl J Med, 2018, 379 (15) : 1452-1462. DOI: 10.1056/NEJMr1615014.
- [40] 中国研究型医院学会消化道肿瘤专业委员会, 中国医师协会外科医师分会多学科综合治疗专业委员会. 肝脏及胆道恶性肿瘤多学科综合治疗协作组诊疗模式专家共识 [J/CD]. 中华普通外科学文献; 电子版, 2017, 11 (1) : 1-3. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0793.2017.01.001.
- [41] Langerman A, Grantcharov TP. Are We Ready for Our Close-up: Why and How We Must Embrace Video in the OR [J]. Ann Surg, 2017, 266 (6) : 934-936. DOI: 10.1097/SLA.0000000000002232.
- [42] Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, et al. Surgical Video in the Age of Big Data [J]. Ann Surg, 2018; 268 (6) : e47-e48. DOI: 10.1097/SLA.0000000000002493.
- [43] 刘荣. 智能医学的概念与应用 [J]. 中华医学杂志, 2018, 98 (34) : 2697-2699. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.34.001.
- [44] Chan TH, Jia K, Gao S, et al. PCANet: A Simple Deep Learning Baseline for Image Classification? [J]. IEEE Trans Image Process, 2015, 24 (12) : 5017-5032. DOI: 10.1109/TIP.2015.2475625.
- [45] Fu M, Qu H, Yi Z, et al. A Novel Deep Learning-Based Collaborative Filtering Model for Recommendation System [J]. IEEE Trans Cybern, 2018 [Epub ahead of print]. DOI: 10.1109/TCYB.2018.2795041.
- [46] Lin X, Rivenson Y, Yardimci NT, et al. All-optical machine learning using diffractive deep neural networks [J]. Science, 2018, 361 (6406) : 1004-1008. DOI: 10.1126/science.aat8084.
- [47] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis [J]. Eur J Cancer, 2007, 43 (8) : 441-446. DOI: 10.1016/j.ejca.2011.11.036.
- [48] Laghi A, Voena C. CT-based Radiomics for Biliary Tract Cancer: A Possible Solution for Predicting Lymph Node Metastases [J]. Radiology, 2019, 290 (1) : 99-100. DOI: 10.1148/radiol.2018182158.
- [49] Ji G, Zhang Y, Zhang H, et al. Biliary Tract Cancer at CT: A Radiomics-based Model to Predict Lymph Node Metastasis and Survival Outcomes [J]. Radiology, 2019, 290 (1) : 90-98. DOI: 10.1148/radiol.2018181408.
- [50] Cai W, He B, Hu M, et al. A radiomics-based nomogram for the preoperative prediction of posthepatectomy liver failure in patients with hepatocellular carcinoma [J]. Surg Oncol, 2019, 28 : 78-85.
- [51] Zhang W, Cai W, He B, et al. A radiomics-based formula for the preoperative prediction of postoperative pancreatic fistula in patients with pancreaticoduodenectomy [J]. Cancer Manag Res, 2018, 10 : 6469-6478. DOI: 10.2147/CMAR.S185865.

(收稿日期: 2019-01-29)

本文引用格式

方驰华, 张鹏, 陈康. 数字智能化诊断与治疗技术在胆道恶性肿瘤中的应用 [J]. 中华消化外科杂志, 2019, 18 (2) : 111-116. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2019.02.002.

Fang Chihua, Zhang Peng, Chen Kang. The application of digital medical intelligent diagnosis and treatment technology for biliary malignant tumors [J]. Chin J Dig Surg, 2019, 18 (2) : 111-116. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2019.02.002.

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊对表格的要求

根据中华医学会杂志社的要求, 表按统计学的制表原则设计, 宜采用三线表。

1. 横、纵标目应有逻辑上的主谓语法关系, 主语一般置表的左侧, 谓语一般置表的右侧。本刊采用三线表, 如有合计行或表达统计学处理结果的行, 则在该行上再加 1 条分界横线。

2. 表中所用参数须注明单位。若表中所有参数的单位相同, 可标注在表的右上方, 或表题之后 (加括号)。

3. 表中不用“同上”, “同左”和类似词, 一律填入具体数字或文字。若使用符号表示未测或未发生, 应在表格底线的下方以简练文字注释。