



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.002  
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.002  
China Journal of General Surgery, 2024, 33(9):1368-1376.

· 述评 ·

## 术中超声在机器人胰腺肿瘤精准切除中的应用

李征, 刘文生, 卓奇峰, 史逸华, 吉顺荣, 虞先濬, 徐晓武

(复旦大学附属肿瘤医院 胰腺外科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海市胰腺肿瘤研究所, 上海市胰腺肿瘤精准诊疗重点实验室, 复旦大学胰腺肿瘤研究所, 上海200032)



徐晓武

### 摘要

胰腺良性和低度恶性肿瘤的发病率和检出率逐年升高, 对于该类肿瘤患者, 传统的根治性规则切除术式, 会损失过多正常胰腺组织, 导致患者术后胰腺内外分泌功能不足等并发症。研究已证实, 微创剜除或局部切除等保留功能手术, 可以最大限度保护患者胰腺功能, 并改善远期生活质量。然而, 对于一些深入胰腺实质的肿瘤, 如何准确定位肿瘤并保护好胰管是个难题。术中超声 (IOUS) 因其便携性、可提供实时高分辨率信息、不使用电离辐射以及不需要特殊的患者准备等优势, 成为理想的术中成像工具, 被称为外科医生的“第三只眼”。随着技术的进步, IOUS 的应用范围已超出最初有限的诊断作用, 扩展到各种手术应用, 包括识别不可触及的病灶、指导手术策略和对肿瘤进行分期等。在当前微创和精准手术时代, 外科医生能否熟练使用 IOUS 成为一个重要的问题。本文回顾 IOUS 的应用历史, 总结机器人 IOUS 的优点和基本使用方法, 并分享 IOUS 在机器人胰腺肿瘤精准切除中的应用技巧。

### 关键词

胰腺肿瘤; 保留实质切除; 术中超声; 机器人手术

中图分类号: R735.9

## Application of intraoperative ultrasound in robot-assisted precise resection of pancreatic tumors

LI Zheng, LIU Wensheng, ZHUO Qifeng, SHI Yihua, JI Shunrong, YU Xianjun, XU Xiaowu

(Department of Pancreatic Surgery, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai Pancreatic Cancer Institute, Shanghai Key Laboratory of Precision Medicine for Pancreatic Cancer, Pancreatic Cancer Institute, Fudan University, Shanghai 200032, China)

### Abstract

The incidence and detection rates of benign and low-grade malignant pancreatic tumors have risen yearly. For patients with such tumors, traditional radical resection procedures often result in excessive loss of normal pancreatic parenchyma, leading to complications such as postoperative insufficiency of

**基金项目:** 上海市卫生健康委员会卓越基金资助项目 (20224Z0006); 国家自然科学基金资助项目 (82403205); 上海市科学技术委员会扬帆专项基金资助项目 (22YF1409000); 上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项基金资助项目 (20234Y0119)。

**收稿日期:** 2024-08-17; **修订日期:** 2024-09-16。

**作者简介:** 徐晓武, 复旦大学附属肿瘤医院主任医师, 主要从事胰腺良恶性肿瘤微创手术治疗方面的研究。

**通信作者:** 徐晓武, Email: xuxiaowu@fudanpci.org

both exocrine and endocrine functions. Studies have shown that functional-preserving surgeries, such as minimally invasive enucleation or partial resection surgeries, can maximize the protection of patients' pancreatic function and improve long-term quality of life. However, for some tumors deep within the pancreatic parenchyma, accurately locating the tumor and protecting the pancreatic duct pose challenges. Intraoperative ultrasound (IOUS) has become an ideal intraoperative imaging tool, often referred to as the surgeon's "third eye" because of its portability, ability to provide real-time high-resolution information, non-reliance on ionizing radiation, and the fact that it does not require special patient preparation. With advancements in technology, the application scope of IOUS has expanded beyond its initially limited diagnostic role to various surgical applications, including identifying non-palpable lesions, guiding surgical strategies, and staging tumors. In the current era of minimally invasive and precision surgery, the proficiency of surgeons in using IOUS has become an important issue. This article reviews the history of IOUS applications, summarizes the advantages and basic usage methods of robotic IOUS, and shares techniques for applying IOUS in robot-assisted precise resection of pancreatic tumors.

**Key words**

Pancreatic Neoplasms; Parenchyma Sparing Resection; Intraoperative Ultrasound; Robotic Surgical Procedures

**CLC number:** R735.9

胰腺手术常用的术前成像方式包括薄层增强CT、MRI及磁共振胆胰管成像(magnetic resonance cholangiopancreatography, MRCP)、内镜逆行胰胆管造影(endoscopic retrograde cholangiopancreatography, ERCP)和经腔内/腹腔途径的超声检查<sup>[1]</sup>。术中超声(intraoperative ultrasound, IOUS)使用了超高频换能器(7.5~15 MHz),尽管高频降低了超声的穿透深度,因为允许将换能器直接放置在待评估器官的表面,使其可以提供其他成像方式无法实现的实时高分辨率成像,而不会因空气、骨骼或软组织阻隔而降低成像质量<sup>[2]</sup>。IOUS可以在腹部实体器官中识别出微小的实质内结石(1 mm)、囊肿(2 mm)和肿瘤(2~3 mm)<sup>[3]</sup>。在胰腺肿瘤精准切除的可切除性判断上,IOUS可以清晰显示病灶与胰管的关系,而其他术前影像检查的作用有限。尽管IOUS在某些病灶的定性诊断上不如CT和MRI,但因其便携性、提供实时信息、不使用电离辐射,以及不需要特殊的患者准备,使IOUS成为理想的术中成像工具,被称为外科医生的“第三只眼”。

随着技术的进步,IOUS的应用范围已超出最初有限的诊断作用,扩展到各种手术应用,包括:识别已知病灶的位置、毗邻关系和周围脉管系统的侵袭情况;评估、计划手术切缘<sup>[4]</sup>;探查不可触及的小病灶,特别是肝脏、肾脏和胰腺中的小病灶<sup>[5]</sup>。带有彩色和脉冲多普勒的IOUS可用于评估血管结构和血流及灌注情况,特别是移植手术中

的移植物,以及重建血管在术中及手术结束时的通畅性。IOUS越来越多地用于指导术中干预,从活检到基准放置(超声引导下放置用于定位的基准标志物)再到消融治疗,它在腔内、腹腔镜和机器人辅助等微创手术方法中发挥着重要决策作用<sup>[6-7]</sup>。

IOUS已是术中决策和指导手术过程中不可或缺的技术手段,在当前微创和精准手术时代,为了更好地进行手术实践,外科医生能否熟练使用IOUS是一个重要的问题。本文回顾IOUS的应用历史,总结机器人手术IOUS的优点和基本使用方法,并分享IOUS在机器人胰腺肿瘤精准切除中的应用技巧。

## 1 IOUS的发展阶段

IOUS的发展根据超声技术可以分为三个阶段。第一个时期是20世纪60年代,开始使用A型或非实时B型超声,主要用于肾结石、胆道结石和脑肿瘤的探查。1961年Schlegel等<sup>[8]</sup>首次在肾镜取石术中成功应用IOUS定位小结石,使小型肾切开取石术成为可能。1963年,Knight等<sup>[9]</sup>尝试对胆管进行IOUS筛查以发现结石。1965年前后,研究人员<sup>[10]</sup>报道了A型IOUS在多种脑外科手术中的应用价值。但由于A模式成像的图像解释困难,并没有被广泛接受。

第二个时期是20世纪70年代末和80年代,高

频实时B型超声克服了A模式或非实时B模式成像的主要问题，特别是在准确、即时的术中图像判读方面，大大扩展了IOUS的应用，使IOUS成为各个领域外科界的热门话题。1977年，美国的Cook等<sup>[11]</sup>以及日本的Makuuchi等<sup>[12]</sup>首次描述了B型实时IOUS的使用。而后，针对不同手术的特殊探头相继被开发应用：Makuuchi探头由日本Aloka公司于1979年开发，有利于扫描肝脏膈面；Akimoto探头由日本东芝公司于1979年设计，后来加入了穿刺引导槽；Bronson-Turner探头专为眼科手术设计，20世纪70年代末在美国和欧洲使用<sup>[12]</sup>。到了20世纪80年代，IOUS的使用在世界范围内推广至肝胆胰外科、神经外科、心血管外科等外科领域。Makuuchi等<sup>[13]</sup>在1980年引入IOUS引导下的肝切除术治疗肝细胞癌，并进一步设计了新的革命性肝脏手术，即IOUS引导下系统性肝亚段切除术，它可以在肿瘤根治性切除中，尽可能多地保留肝脏功能<sup>[14]</sup>。继日本之后，以Castaing等<sup>[15]</sup>为首的法国医生也开展了IOUS手术，并成为在肝脏手术中应用IOUS的国际领先中心之一。肝切除术中使用IOUS是20世纪80年代中期的标准手术模式，研究<sup>[16]</sup>证实，大约有三分之一的手术策略受到IOUS研究结果的影响和修改。

第三个时期是20世纪90年代，出现了新的技术，即彩色多普勒成像和腹腔镜超声。术中彩色多普勒成像被引入到普外科手术中，主要是在肝胆胰外科。Machi等<sup>[17]</sup>发现它对于检测小血管，并将血管与胆管等其他低回声结构区分开来有帮助。腹腔镜超声在20世纪80年代并未广泛使用，因为它仅用于诊断目的，没有治疗意义，而且外科医生对腹腔镜检查本身的兴趣有限。1990年后，在腹腔镜胆囊切除术广泛应用后不久，腹腔镜超声再次受到关注，并且在外科医生中的使用持续增加。在20世纪90年代初期到中期，开发了各种类型的腹腔镜超声专用探头，可通过10 mm Trocar插入<sup>[18]</sup>。

随着实时B型超声的完善，IOUS的使用逐渐增加，并被认为是术中决策和指导手术过程中不可或缺的手段。IOUS具有四个主要优势：获取对术中决策有用的新信息；补充或替代术中放射线摄影；指导各种手术程序；确认手术是否完成。这些益处对于手术管理产生显著影响，包括：简化手术、缩短手术时间、减少术中放射线的使用，

以及改变正在执行的手术程序。多项研究<sup>[6]</sup>表明，根据不同的临床情况，IOUS改变了2.7%~49%的手术策略。

## 2 IOUS在胰腺外科的应用

胰腺外科中IOUS的应用几乎与胆道外科同步，Lane等<sup>[19]</sup>于1980年证明IOUS在检测肿瘤对门静脉的浸润范围，区分癌症和慢性胰腺炎，以及鉴别胰腺病变（囊性、结石、内分泌肿瘤等）等方面具有潜在价值。1993年，英国Murugiah等<sup>[20]</sup>最早报道了腹腔镜超声在胰腺癌治疗中的应用，可以帮助判断肿瘤分期。2015年，国内Liu等<sup>[21]</sup>最早报道了IOUS在机器人保留脾脏胰体尾切除术治疗良性/低度恶性肿瘤中用于定位手术切缘。总体而言，在胰腺手术中，IOUS主要有三个应用领域：(1)恶性肿瘤的分期；(2)探查胰管等重要解剖结构，确定手术切缘，例如针对慢性胰腺炎的Puestow手术；(3)术中定位肿瘤，判断肿瘤和胰管的关系，以及评估胰管连续性。此外，IOUS还可以帮助判断严重胰腺外伤患者有无胰管损伤<sup>[22]</sup>，以及用于引导胰岛素瘤的消融治疗<sup>[23]</sup>。

对于胰腺癌患者，准确的肿瘤分期对于制定合适的治疗计划至关重要<sup>[24]</sup>。IOUS可在手术过程中为外科医生提供实时图像，帮助医生评估肿瘤与手术切缘和/或主要血管之间的关系。胰腺癌在IOUS下显示的回声纹理可能各不相同，然而，多数肿瘤边界不清且伴有低回声，而未受累的正常胰腺表现为回声均匀或强回声。其他超声征象则包括胰管、胆管或两者突然截断并扩张。研究<sup>[25]</sup>显示，IOUS在评估胰腺癌大血管侵犯方面，有令人满意的敏感度和特异度，分别为92%和93%。随着薄层增强CT技术的发展，已报道了具有可比性的胰腺癌术前CT可切除性评估效能，敏感度为94%~100%，特异度为72%~99%<sup>[26]</sup>。尽管如此，一些机构仍倾向使用侵入性较小的腔镜方法进行IOUS来评估血管受侵犯程度，并排除术前未被发现的肝转移，以避免不必要的手术<sup>[3]</sup>。随着当前新辅助治疗的广泛应用，给术前CT评估胰腺癌可切除性增加了难度。由于术前治疗常常引起炎症、纤维化或两者兼而有之，很难与活体肿瘤组织区分开，进而导致高估肿瘤扩散和血管侵犯程度。IOUS具有比CT成像更好的空间分辨率，可以改善



分期评估并指导手术切除。研究<sup>[27]</sup>显示,对于胰腺癌合并血管受累的患者,IOUS可以提供实时附加信息,并至少改变了30%患者的可切除状态。

对于合并血管侵犯而需进行血管切除重建的患者,IOUS可用于评估重建血管的吻合和血流灌注情况,有助于早期干预和预防严重并发症的发生。对于合并血栓形成的重建血管,IOUS可以观察到狭窄区域的高速射流(>200 cm/s),当血管完全阻塞时可以看到血栓回声,并且彩色多普勒信号丢失。在手术关腹前及时判别动脉或静脉血栓形成至关重要<sup>[28]</sup>。

对于慢性胰腺炎患者,采用胰管纵行切开、侧胰管空肠吻合的Puestow手术是主要的外科术式。手术需将胰腺沿主胰管袋形化,然后与空肠进行吻合。慢性胰腺炎中的炎症和纤维化会妨碍胰管的识别,IOUS可帮助探查胰管走行,并且利用导丝或针刺胰管的附加引导技术减少了手术时间和胰腺组织创伤<sup>[4, 29]</sup>。

胰腺外科中IOUS最常用于定位小肿瘤,特别是神经内分泌肿瘤,主要用于定位不可触及的病变,并评估肿瘤与胰管的毗邻程度<sup>[30-31]</sup>。IOUS可以检测到小至2~3 mm的神经内分泌肿瘤,并且可以帮助在肿瘤切除术中确定安全的解剖层面和足够的切除后切缘<sup>[32]</sup>。大多数神经内分泌肿瘤在IOUS上的表现为边界清晰的低回声,约6%为高回声,6%等回声<sup>[30]</sup>。由于神经内分泌肿瘤的富血供特性,彩色和频谱多普勒技术也有助于帮助定位肿瘤。IOUS对于多发性内分泌腺瘤病(MEN)1型患者很有帮助,因为这些患者可能有多个病灶,通常<1 cm,无法触及,必须借助IOUS仔细扫查整个腺体以识别隐匿性病变<sup>[30, 33-34]</sup>。如果考虑对导管内乳头状黏液瘤(IPMN)进行手术切除,IOUS可以帮助确定病灶的横向扩散程度,以及检测术前影像未探查到的跳跃性病变,从而指导手术切除范围。

### 3 机器人IOUS的优势和基本原理

笔者团队在2019年7月—2024年4月,共计完成318例胰腺肿瘤微创切除术。其中,有198例(62.3%)是在机器人辅助下完成,182例(57.2%)应用了IOUS。IOUS可以准确引导,机器人具有放大的视野和稳定精细操作的机械臂,两者相辅相成,在处理肿瘤直径大、位置深入胰腺实质、与主胰管

关系密切等复杂困难肿瘤切除手术中展现出优势。在IOUS和机器人的帮助下,距离主胰管2~3 mm的切除禁区逐渐被突破<sup>[35-36]</sup>。

尽管IOUS相关设备有了很多改进,应用范围也有了拓展,但正如Röthlin等<sup>[37]</sup>在1988年就已经强调的那样,IOUS在外科医生中更广泛应用的主要障碍是难以获得足够的超声基础培训。如果在没有充分具体准备的情况下使用IOUS,该工具将无法为外科医生提供有益的信息和有价值的帮助。好在,对于外科医生而言,IOUS的应用主要以术中引导为目的,只需要理解基本的原理和操作即可,比如熟悉操作面板上的深度、频率、血流等功能按键,掌握探头选择和使用方法,技术要求门槛低,易于普及。

IOUS背后的原理与常规经腔内或腹腔途径超声检查所使用的原理相似,胰腺成像通过手持式或腔镜探头利用实时B型超声换能获得,通常配有彩色多普勒成像系统辅助。胰腺超声评估中使用的两种最常见手持式换能器是端射线性阵列或侧射曲线阵列型号,工作频率范围为7.5~15 MHz。铅笔状端射线性换能器可以提供最佳成像效果,但受限于需要开腹直接暴露脏器。侧射换能器最初是为在狭窄的解剖范围内对肝脏进行成像而开发的,在无法直接暴露脏器时使用。

腔镜超声探头设计用于穿过不同尺寸的套管针,具有长轴和灵活可操纵的末端,以及小的接触表面(30 mm×5 mm),通常配置侧射线性或曲线阵列,工作频率范围略低(5~10 MHz)<sup>[6]</sup>。在频率的选择上,应使用最高超声频率,但以不牺牲最深层感兴趣区域的可视化为准。腔镜超声换能器的设计要么是固定的,要么是铰接的(通常有6°自由度)。使用带有铰接头的腔镜换能器可以提高术者通过同一端口观察胰腺不同解剖区域的能力。笔者常用的机器人超声探头型号是Hitachi L43K,可以与多数Hitachi Aloka Arietta系列超声主机兼容,具有2~12 MHz的工作频率范围和26 mm的接触面,可以通过10 mm的Trocar。不同于传统的铰接,机器人超声探头为柔性连接,并有供腔镜器械抓持的抓持柄,配合机械臂灵活转腕不受限,可以在多个角度和平面来探查胰腺。探头设计可以使用高温、高压或化学灭菌技术来实现无菌,但具体使用时,应与各供应商核实换能器损坏的风险。机器人配合IOUS的另一个优势是提供

“画中画”功能，可在腔镜监视器的专用空间内查看超声图像，更好地实现了超声画面与手术画面的融合（视频1）。



视频1 机器人超声探头  
Video 1 Robot ultrasound probe

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240429>

#### 4 IOUS在机器人胰腺肿瘤精准切除中的应用

在具体实践中，超声扫描方法受检查目的的影响。对于使用IOUS进行疾病分期，评估有无转移和局部侵犯，可在进腹后，通过胃、十二指肠、结肠系膜或肝脏的间接声耦合获得胰腺的超声视图，方法是选择低频率和对胰腺上覆组织结构稳定压迫。使用声耦合技术可以在不破坏解剖平面的情况下对相关结构进行成像。在进行机器人胰腺肿瘤精准切除中，充分暴露胰腺后，可以对腺体直接扫描，不需要穿透上覆结构，因此可以使用更高的频率，达到更好的空间分辨率。在超声视图下，胰腺通常呈现均匀的高回声，导管表现为腺体中心的低回声音管状结构，囊性或实性低回声肿瘤很容易鉴别（视频2）<sup>[38]</sup>。在所有直接扫描技术中，最重要的是尽量减少对胰腺的压迫，即使是轻微的压迫也会限制准确观察柔软胰腺实质中较表浅病变和胰管解剖结构的能力。

根据笔者的经验，无菌盐水足以作为直接接触胰腺扫描或“探头隔离”间接扫描的耦合剂。扫描时，使用腔镜吸引器向胰腺表面稳定持续地打水，可以改善探头与脏器表面之间的接触，并且可以促进探头沿着胰腺表面平滑移动。对于剔除肿瘤后的胰腺创面，可以使用“探头隔离”技

术来改善的成像效果，使用腔镜吸引器向胰腺创面注满无菌盐水，换能器浸入该导电介质中即可清晰观察感兴趣区域，而不需要用力压平胰腺创面导致无法辨别组织结构（视频3）。或者，可以在换能器和腺体之间放置一个充满液体的水囊（可用无菌手套制作）以提供传导介质。这两种技术都有助于实现出色的声耦合，而无需压迫腺体。在临床实践中，受限于水囊不能太大，又难以固定在探头和腺体之间，笔者更多采用腔镜吸引器打水来填充胰腺创面。



视频2 直接定位扫描  
Video 2 Direct localization scan

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240429>



视频3 无菌盐水探头隔离  
Video 3 Sterile saline probe isolation

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240429>

在选择间接扫描或是直接扫描后，下一个检查重点是对胰腺解剖结构进行全面评估。最好在胰腺纵向和横向两个平面对腺体进行系统扫描。纵向平面也称为“矢状面”，是将探头长轴平行于

胰腺长轴方向获得的, 同样, 横向平面也称为“横断面”, 是将探头长轴垂直于胰腺长轴方向获得的(图1)。在两个平面上对胰腺进行重叠扫描可以从头部开始, 并在腺体腹侧表面向尾部行进, 提供胰管和胰腺实质的纵向和横向视图。在胰腺肿瘤精准切除中, 为了判断胆胰管的走行和连续性, 术者应尽量将探头方向与胆胰管走行方向保持一致。从右侧或前外侧进行额外扫描对于检查胰腺头部和/或钩突有帮助。通过经十二指肠的声耦合可以最好地可视化胰内和/或壶腹部的胆管。十二指肠腔内气体通常很容易用探头下压来提供足够的成像效果。少数情况下, 可能需要鼻胃管将盐水引入十二指肠来排空探查区域肠腔内的气体, 或打开 Kocher 切口以提供更侧向的壶腹部区域入路(视频4)。在扫描手法上, 可以采用侧向移动(滑行)、旋转、成角和摆动来可视化感兴趣解剖区域的关键结构, 在探查胰管时, 笔者常先固定探头位置, 左右摆动进行扇形扫描(视频5), 待充分评估后再调整探查部位。有时, 需要台下助手在超声控制台上激活彩色和频谱多普勒成像, 来识别和区分管道(胆管和胰管)系统和邻近动脉和静脉的病变(视频6)。在合并胰腺炎的情况下, 可以形成假性动脉瘤, 因此应广泛使用彩色和频谱多普勒技术, 以避免误认为是假性囊肿而造成难以控制的术中出血<sup>[3]</sup>。

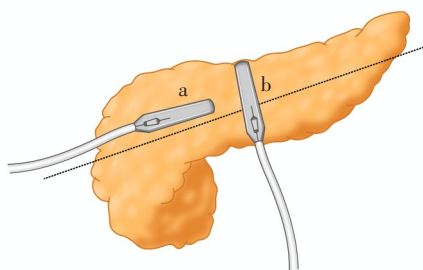


图1 探头扫描方向(a: 将探头长轴平行于胰腺长轴方向获得纵向平面, 即“矢状面”; b: 将探头长轴垂直于胰腺长轴方向获得横向平面, 即“横断面”; 黑色虚线: 胰腺长轴)

Figure 1 Probe scanning directions (a: Obtaining the longitudinal plane by positioning the probe's long axis parallel to the long axis of the pancreas, known as the "sagittal plane"; b: Obtaining the transverse plane by positioning the probe's long axis perpendicular to the long axis of the pancreas, known as the "transverse plane"; black dashed line: long axis of the pancreas)



视频4 打开 Kocher 切口扫描胰腺背侧

Video 4 Opening the Kocher incision to scan the posterior aspect of the pancreas

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240429>



视频5 摆动探头扇形扫描

Video 5 Swinging probe for sector scanning

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240429>



视频6 彩色多普勒成像

Video 6 Color Doppler imaging

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240429>



除了上述机器人 IOUS 的操作技术，笔者分享几点关于机器人胰腺肿瘤精准切除的技巧。对于直径较小，毗邻主胰管的实质内病灶，虽经 IOUS 探查定位，但在实际切除过程中，可能也无法准确分辨肿瘤位置，稍有不慎就会损伤主胰管。在操作过程中，可以配合使用缝针来进一步引导定位（视频 7），但缺点是目前的机器人超声探头缺乏引导孔，需要多加练习才能掌握穿刺方向。另外对于多发胰腺肿瘤患者，特别是多发性内分泌腺瘤病 1 型的患者，一定要进行全胰腺扫描，避免遗漏小病灶。由于 IOUS 较高的空间分辨力，可以帮助准确评估病灶特征，特别是实性肿瘤的包膜完整性以及囊性肿瘤的壁结节和实性成分，对于术前超声内镜或 MRI 低估的壁结节，在 IOUS 评估高风险后，应果断中转手术方式，改为肿瘤学切除，而不是局部切除（视频 8）。根据笔者经验，剝除术后胰腺创面的“浆膜化”，可以显著降低术后胰痿的发生风险，但是在对拢缝合创面后，务必使用 IOUS 再次探查胰管的连续性和通畅性，避免缝扎或折叠胰管，导致严重并发症，可以说 IOUS 的使用，贯穿了胰腺肿瘤精准切除的整个过程（视频 9）。有时由于肿瘤自身因素（比如压迫或包绕主胰管），在剝除过程中，难免导致胰管损伤，需要置入支撑管后修补或架桥重建。既往很难判断支撑管放置的位置是否合适，以及支撑管的前端是否通过了乳头，但在 IOUS 的帮助下，可以轻松辨别（视频 10）。



**视频 7 缝针辅助定位**  
**Video 7 Suture needle-assisted localization**

扫描至移动设备观看手术视频:



**视频 8 壁结节的 IOUS 再评估**  
**Video 8 Intraoperative ultrasound reassessment of wall nodules**

扫描至移动设备观看手术视频:



**视频 9 缝合后胰管连续性判断**  
**Video 9 Evaluation of Pancreatic duct continuity after suturing**

扫描至移动设备观看手术视频:



**视频 10 判断支撑管位置**  
**Video 10 Assessing stent position**

扫描至移动设备观看手术视频:



## 5 小结与展望

尽管术前成像技术有所改进, IOUS 仍然是一种有价值的辅助工具, 可以在手术中提供实时高分辨率诊断信息, 改变手术策略并减少并发症; 可以进行肿瘤定位、表征和分期, 以及探查转移灶; 还可以实时评估移植植物或重建血管的通畅性和血流灌注, 引导活检、基准放置或消融等手术操作。对于胰腺外科医生而言, 熟悉 IOUS 基本原理和操作, 掌握腔镜下 IOUS 应用技巧是实施胰腺肿瘤精准切除的基础。IOUS 的准确引导、机器人放大的视野和稳定精细操作的机械臂, 拓宽了胰腺外科医生的手术边界, 也为患者提供了更多选择。相信在不久的将来, 包括超声微泡对比和超声弹性成像在内的新超声辅助工具将进一步扩大 IOUS 的应用范围。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明: 李征负责文章初稿撰写; 刘文生负责视频制作; 卓奇峰和史逸华负责手术演示; 吉顺荣和虞先濬负责审校; 徐晓武负责文章选题设计、文稿修改和最终审阅定稿。

## 参考文献

- [1] 袁克荣, 邓雪松. 超声造影在胰腺囊/实性病变诊断中的应用现状与进展[J]. 中国普通外科杂志, 2023, 32(9):1402-1409. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.09.014.
- [2] D'Onofrio M, Vecchiato F, Faccioli N, et al. Ultrasonography of the pancreas. 7. Intraoperative imaging[J]. *Abdom Imaging*, 2007, 32(2):200-206. doi:10.1007/s00261-006-9018-y.
- [3] Shin LK, Brant-Zawadzki G, Kamaya A, et al. Intraoperative ultrasound of the pancreas[J]. *Ultrasound Q*, 2009, 25(1):39-48. doi:10.1097/RUQ.0b013e3181901ce4.
- [4] Mayo-Smith WW, Iannitti DA, Dupuy DE. Intraoperative sonographically guided wire cannulation of the pancreatic duct for patients undergoing a Puestow procedure[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2000, 175(6):1639-1640. doi:10.2214/ajr.175.6.1751639.
- [5] Sigel B, Machi J, Ramos JR, et al. The role of imaging ultrasound during pancreatic surgery[J]. *Ann Surg*, 1984, 200(4):486-493. doi:10.1097/00000658-198410000-00010.
- [6] Lubner MG, Mankowski Gettle L, Kim DH, et al. Diagnostic and procedural intraoperative ultrasound: technique, tips and tricks for optimizing results[J]. *Br J Radiol*, 2021, 94(1121):20201406. doi:10.1259/bjr.20201406.
- [7] 储心昀, 戴己禾, 韩江, 等. 三维重建辅助腹腔镜超声引导激光消融在肝脏恶性肿瘤的临床应用[J]. 中国普通外科杂志, 2023, 32(7):986-993. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.07.003.
- [8] Chu XY, Dai YH, Han J, et al. Clinical application of three-dimensional reconstruction-assisted laparoscopic ultrasound-guided laser ablation in liver malignancies[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(7):986-993. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.07.003.
- [9] Schlegel JU, Diggdon P, Cuellar J. The use of ultrasound for localizing renal calculi[J]. *J Urol*, 1961, 86:367-369. doi:10.1016/S0022-5347(17)65180-2.
- [10] Knight PR, Newell JA. Operative use of ultrasonics in cholelithiasis[J]. *Lancet*, 1963, 1(7289):1023-1025. doi:10.1016/s0140-6736(63)92427-9.
- [11] Walker AE, Euemasu S. Dural echoencephalography[J]. *J Neurosurg*, 1966, 25(6):634-637. doi:10.3171/jns.1966.25.6.0634.
- [12] Cook JH 3rd, Lytton B. Intraoperative localization of renal calculi during nephrolithotomy by ultrasound scanning[J]. *J Urol*, 1977, 117(5):543-546. doi:10.1016/s0022-5347(17)58530-4.
- [13] Makuuchi M, Torzilli G, Machi J. History of intraoperative ultrasound[J]. *Ultrasound Med Biol*, 1998, 24(9):1229-1242. doi:10.1016/s0301-5629(98)00112-4.
- [14] Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S. Intraoperative ultrasonic examination for hepatectomy[J]. *Ultrasound Med Biol*, 1983, Suppl(2):493-497.
- [15] Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S. Ultrasonically guided subsegmentectomy[J]. *Surg Gynecol Obstet*, 1985, 161(4):346-350.
- [16] Castaing D, Emond J, Kunstlinger F, et al. Utility of operative ultrasound in the surgical management of liver tumors[J]. *Ann Surg*, 1986, 204(5):600-605. doi:10.1097/00000658-198611000-00015.
- [17] Boutkan H, Luth W, Meyer S, et al. The impact of intraoperative ultrasonography of the liver on the surgical strategy of patients with gastrointestinal malignancies and hepatic metastases[J]. *Eur J Surg Oncol*, 1992, 18(4):342-346.
- [18] Machi J, Sigel B, Kurohiji T, et al. Operative color Doppler imaging for general surgery[J]. *J Ultrasound Med*, 1993, 12(8):455-461. doi:10.7863/jum.1993.12.8.455.
- [19] Machi J, Sigel B, Zaren HA, et al. Technique of ultrasound examination during laparoscopic cholecystectomy[J]. *Surg Endosc*, 1993, 7(6):544-549. doi:10.1007/BF00316701.



- [19] Lane RJ, Glazer G. Intra-operative B-mode ultrasound scanning of the extra-hepatic biliary system and pancreas[J]. *Lancet*, 1980, 2(8190):334-337. doi:10.1016/s0140-6736(80)90338-4.
- [20] Murugiah M, Paterson-Brown S, Windsor JA, et al. Early experience of laparoscopic ultrasonography in the management of pancreatic carcinoma[J]. *Surg Endosc*, 1993, 7(3): 177-181. doi: 10.1007/BF00594102.
- [21] Liu Y, Ji WB, Wang HG, et al. Robotic spleen-preserving laparoscopic distal pancreatectomy: a single-centered Chinese experience[J]. *World J Surg Oncol*, 2015, 13: 275. doi: 10.1186/s12957-015-0671-x.
- [22] Ball CG, Biffl WL, Moore EE, et al. Should surgeon-performed intraoperative ultrasound be the preferred test for detecting main pancreatic duct injuries in operative trauma cases? [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2024, 96(3): 461-465. doi: 10.1097/TA.0000000000004107.
- [23] Sada A, Ramachandran D, Oberoi M, et al. Ethanol ablation for benign insulinoma: intraoperative and endoscopic approaches[J]. *J Surg Res*, 2024, 293:663-669. doi:10.1016/j.jss.2023.08.018.
- [24] 柯牧京, 纪连栋, 李宜雄. 局部进展期胰腺癌新辅助治疗的现状与进展[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(3):317-326. doi:10.7659/j.j.issn.1005-6947.2023.03.001.
- Ke MJ, Ji LD, Li YX. Current status and progress of neoadjuvant therapy for locally advanced pancreatic cancer[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(3): 317-326. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.03.001.
- [25] Sugiyama M, Hagi H, Atomi Y. Reappraisal of intraoperative ultrasonography for pancreatobiliary carcinomas: assessment of malignant portal venous invasion[J]. *Surgery*, 1999, 125(2): 160-165.
- [26] Zamboni GA, Kruskal JB, Vollmer CM, et al. Pancreatic adenocarcinoma: value of multidetector CT angiography in preoperative evaluation[J]. *Radiology*, 2007, 245(3): 770-778. doi: 10.1148/radiol.2453061795.
- [27] Michiels N, Doppenberg D, Groen JV, et al. Intraoperative ultrasound during surgical exploration in patients with pancreatic cancer and vascular involvement (ULTRAPANC): a prospective multicenter study[J]. *Ann Surg Oncol*, 2023, 30(6):3455-3463. doi: 10.1245/s10434-023-13112-3.
- [28] Gu LH, Fang H, Li FH, et al. Prediction of early hepatic artery thrombosis by intraoperative color Doppler ultrasound in pediatric segmental liver transplantation[J]. *Clin Transplant*, 2012, 26(4): 571-576. doi:10.1111/j.1399-0012.2011.01580.x.
- [29] Ni Mhuirheartaigh JM, Sun MRM, Callery MP, et al. Pancreatic surgery: a multidisciplinary assessment of the value of intraoperative US[J]. *Radiology*, 2013, 266(3): 945-955. doi: 10.1148/radiol.12120201.
- [30] Gorman B, Charboneau JW, James EM, et al. Benign pancreatic insulinoma: preoperative and intraoperative sonographic localization[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1986, 147(5):929-934. doi: 10.2214/ajr.147.5.929.
- [31] Grover AC, Skarulis M, Alexander HR, et al. A prospective evaluation of laparoscopic exploration with intraoperative ultrasound as a technique for localizing sporadic insulinomas[J]. *Surgery*, 2005, 138(6): 1003-1008; discussion1008. doi: 10.1016/j.surg.2005.09.017.
- [32] Akerström G, Hellman P. Surgery on neuroendocrine tumours[J]. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, 2007, 21(1): 87-109. doi: 10.1016/j.beem.2006.12.004.
- [33] Zhao YP, Zhan HX, Zhang TP, et al. Surgical management of patients with insulinomas: result of 292 cases in a single institution[J]. *J Surg Oncol*, 2011, 103(2): 169-174. doi: 10.1002/jso.21773.
- [34] Murray A, Rodas Marquez SP, Krishnamurthy M, et al. Multifocal insulinoma as the unique presenting feature of multiple endocrine neoplasia type 1 in an adolescent[J]. *Horm Res Paediatr*, 2024:1-9. doi:10.1159/000538211.
- [35] Li Z, Zhuo QF, Shi YH, et al. Minimally invasive enucleation of pancreatic tumors: the main pancreatic duct is no longer a restricted area[J]. *Heliyon*, 2023, 9(11):e21917. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21917.
- [36] Tang WB, Gao YX, Zhao ZM, et al. Intraoperative ultrasound guided robotic pancreatic enucleation, does a distance of 3mm still matters? [J]. *Surg Innov*, 2023, 30(2): 166-175. doi: 10.1177/15533506221092496.
- [37] Röthlin M, Metzger U, Largiadèr F. Present indications and future expectations of ultrasound in surgery[J]. *Surg Endosc*, 1988, 2(3): 176-179. doi:10.1007/BF02498795.
- [38] Marcal LP, Patnana M, Bhosale P, et al. Intraoperative abdominal ultrasound in oncologic imaging[J]. *World J Radiol*, 2013, 5(3):51-60. doi:10.4329/wjr.v5.i3.51.

( 本文编辑 熊杨)

本文引用格式: 李征, 刘文生, 卓奇峰, 等. 术中超声在机器人胰腺肿瘤精准切除中的应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(9):1368-1376. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.002

Cite this article as: Li Z, Liu WS, Zhuo QF, et al. Application of intraoperative ultrasound in robot-assisted precise resection of pancreatic tumors[J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 33(9):1368-1376. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.002