



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260211
<http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.260211>
China Journal of General Surgery, 2026, 35(7):1299-1311.

· 专家论坛 ·

肝胆胰外科器官功能保留的范式转变：从解剖导向到功能导向的理论与实践

吴涛¹, 本田五郎², 黄洁¹

(1. 昆明医科大学第二附属医院 肝胆胰外科, 云南 昆明 650101; 2. 东京女子医科大学附属医院 消化外科, 日本 东京 162-8666)

摘要

随着肝胆胰外科的发展, 传统以解剖切除与结构重建为核心的治疗模式正逐步向功能导向决策转变。越来越多的研究表明, 单纯实现R₀切除及解剖通畅并不能充分改善患者远期预后, 术后器官功能损失所致的代谢紊乱、营养障碍及生活质量下降已成为影响长期疗效的重要因素。然而, 不同器官在功能保留方面面临各自特有的挑战: 肝脏存在残余体积与实际功能不匹配, 功能评估体系仍有待完善; 胰腺功能保留与术后胰瘘风险之间存在内在矛盾, 短期安全性与长期代谢获益难以兼顾; 胆道系统解剖重建后的胆汁动力学异常及微生态失衡逐渐受到关注, 解剖通畅并不等同于功能恢复。本文围绕肝脏、胰腺及胆道三个系统, 从功能评估、手术决策及生物学机制等方面系统梳理器官功能保留的理论基础与临床实践进展, 提出肝脏“流域-功能平衡”、胰腺“功能-风险权衡”及胆道“功能安全窗”等功能导向理念。认为未来肝胆胰外科的发展重点将由单纯追求解剖学成功转向构建以功能最优化为核心的决策体系, 在保证肿瘤学安全性的基础上实现器官功能、代谢稳态及生活质量的综合获益。

关键词

消化系统外科手术; 器官功能保留; 精准外科; 功能评估; 肝再生; 胰腺功能; 胆道重建
中图分类号: R656

Paradigm shift in organ function preservation in hepatopancreatobiliary surgery: from anatomy-oriented to function-oriented strategies

WU Tao¹, Goro HONDA², HUANG Jie¹

(1. Department of Hepatobiliary Surgery, the Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650101, China;
2. Department of Gastroenterological Surgery, Tokyo Women's Medical University Hospital, Tokyo 162-8666, Japan)

Abstract

With the advancement of hepatopancreatobiliary surgery, the traditional treatment paradigm centered on anatomical resection and structural reconstruction is gradually evolving toward function-oriented decision-making. Increasing evidence indicates that achieving R₀ resection and anatomical patency alone

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82460518); 云南省医学学科带头人培养计划基金资助项目 (D-2024030); 云南省外国专家基金资助项目 (202605AP120001)。

收稿日期: 2026-04-13; **修订日期:** 2026-07-16。

作者简介: 黄洁, 昆明医科大学第二附属医院主任医师, 主要从事肝胆胰外科基础与临床方面的研究。

通信作者: 黄洁, Email: huangjietdg@126.com

is insufficient to optimize long-term outcomes, whereas postoperative loss of organ function, accompanied by metabolic disturbances, nutritional impairment, and reduced quality of life, has become a major determinant of long-term prognosis. Nevertheless, functional preservation poses distinct challenges across different organs. In liver surgery, discrepancies between residual liver volume and actual functional reserve limit the accuracy of current assessment systems. In pancreatic surgery, preservation of pancreatic function is intrinsically constrained by the increased risk of postoperative pancreatic fistula, creating a dilemma between short-term safety and long-term metabolic benefits. In biliary surgery, anatomical reconstruction does not necessarily ensure functional recovery, and increasing attention has been directed toward abnormalities in bile flow dynamics and biliary microbiota homeostasis. This review systematically summarizes the theoretical basis and clinical advances of organ function preservation in the liver, pancreas, and biliary system from the perspectives of functional assessment, surgical decision-making, and underlying biological mechanisms. It further proposes several function-oriented concepts, including the "territory-function balance" in liver surgery, the "function-risk trade-off" in pancreatic surgery, and the "functional safety window" in biliary surgery. Future progress in hepatopancreatobiliary surgery is expected to shift from the pursuit of anatomical success alone toward the establishment of function-oriented decision-making systems, aiming to achieve optimal organ function, metabolic homeostasis, and quality of life while maintaining oncological safety.

Key words

Digestive System Surgical Procedures; Organ Function Preservation; Precision Surgery; Functional Assessment; Liver Regeneration; Pancreatic Function; Biliary Reconstruction

CLC number: R656

肝胆胰系统疾病是我国外科领域最具挑战性的疾病谱之一^[1]。长期以来,肝胆胰外科以“肿瘤学根治”为核心目标,手术策略主要围绕切除范围与重建方式展开,“切除是否彻底”“重建是否通畅”成为评价手术成功的主要标准^[2]。这种评价体系在早期对指导手术操作和评估手术效果起到了重要作用。然而,随着围手术期管理水平的提升及患者生存期的延长,传统评价体系的局限性逐渐显现。越来越多的临床证据表明,单纯实现解剖学上的成功并不能充分改善患者的远期预后,术后器官功能损失所导致的代谢紊乱、营养障碍及生活质量下降,已成为影响患者长期生存的重要因素^[3-6]。这一现象提示,解剖重建并不等同于功能恢复。在此背景下,肝胆胰外科的评价体系正发生重要转变,即由“解剖成功导向”逐步转向“功能恢复导向”^[6-8]。这一转变不仅是技术层面的优化,更代表着外科决策逻辑的重构:手术目标由单一追求肿瘤根治,转变为在保证肿瘤学安全的前提下,实现器官功能与整体代谢状态的最优平衡^[9]。然而,功能保留在实际临床中面临一系列尚未解决的关键问题^[7-9]:在肝脏领域,残余

肝体积(future liver remnant, FLR)与实际功能之间存在明显偏差,功能评估体系尚不完善;在胰腺领域,功能保留与术后胰瘘(postoperative pancreatic fistula, POPF)风险之间存在内在矛盾,短期安全性与长期代谢获益难以兼顾;在胆道系统,解剖通畅并不代表胆汁动力学及微环境的恢复,远期并发症机制尚未完全阐明。这些问题提示,当前肝胆胰外科的核心挑战已由“是否可切除”转向如何在保证肿瘤学安全的前提下实现功能最优化。

基于此,本文从肝脏、胰腺及胆道系统出发,围绕功能评估、手术决策及生物学机制三个层面,系统分析器官功能保留的关键问题与内在矛盾,并探讨其未来发展方向,以期肝胆胰外科由“解剖导向”向“功能导向”转变提供理论框架(本文检索策略详见补充文件1-2)。

1 肝脏功能保留

1.1 肝功能储备评估

肝切除术后肝功能衰竭(post-hepatectomy liver

failure, PHLF)是影响围手术期死亡率的主要因素,其发生主要取决于残余肝脏的功能储备,而非单纯体积。传统评估体系主要依赖肝功能 Child-Pugh 分级、吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)清除试验及 FLR 等指标,在临床实践中具有重要参考价值^[10-14]。然而,肝功能 Child-Pugh 分级主要反映整体肝功能状态,对区域功能差异缺乏敏感性;ICG 清除试验虽可评估整体代谢能力,但无法区分不同肝段的功能差异;FLR 则仅反映解剖体积,未能考虑实质质量及血流分布的影响。随着研究的深入,这些传统指标的局限性逐渐显现。尤其在我国以肝炎及肝硬化为背景的患者中,肝脏普遍存在纤维化改变、窦状隙结构重构及肝内血流再分布,使不同区域肝组织的代谢能力及再生潜力存在显著差异,即表现出明显的功能异质性^[15-16]。在此情况下,FLR 所反映的仅为解剖体积,而非真实功能储备,可能导致对术后肝功能的高估。例如,同等 FLR 的肝硬化患者,若保留的肝段位于纤维化程度较轻的区域,其实际代偿能力可能显著优于保留纤维化严重区域者。这一现象提示,FLR 并不等同于残余肝功能。

基于上述认识,近年来逐步提出“功能性未来肝残余体积”(functional future liver remnant, fFLR)的概念,即在解剖体积基础上引入区域功能评估,以更准确地反映术后肝脏代偿能力^[17-19]。Sato 等^[20]在对肝硬化患者的研究中发现,采用^{99m}Tc-GSA 显像评估的 fFLR 与术后实际肝功能恢复相关性显著优于传统 FLR ($r=0.82$ vs. $r=0.54$, $P<0.01$)。目前常用方法包括^{99m}Tc-GSA 显像、肝特异性对比剂增强 MRI 及三维重建融合技术等,这些技术可实现肝段甚至亚肝段水平的功能定量分析,从而为精准切除范围的制定提供依据^[20-21]。此外,人工智能辅助的影像组学模型通过纹理特征分析间接反映区域肝功能,初步研究显示其预测 PHLF 的曲线下面积(area under the curve, AUC)可达 0.85~0.91^[18],为 fFLR 评估提供了新的技术路径^[22]。

需要指出的是,现有功能评估方法在量化标准及预测模型方面仍缺乏统一规范,其对 PHLF 的预测准确率存在差异。因此,如何建立兼顾“体积-功能-区域分布”的综合评估体系,不仅是提高围手术期安全性的关键,也是实现以门静脉流域为基础的精准肝切除策略的重要前提。

1.2 精准肝切除与功能保留

精准肝切除是实现肝功能保留的核心手段,其本质并非单纯减少切除范围,而是基于肝脏解剖与肿瘤生物学特性的选择性切除策略^[23]。在肝细胞癌中,肿瘤常沿门静脉系统发生微转移,因此,以门静脉供血区域为基础的解剖性切除不仅符合肿瘤学原则,同时也是实现功能保留的重要路径^[24]。从这一角度看,门静脉流域既是肿瘤潜在扩散的解剖单元,也是肝脏功能分布的基本单位^[25]。因此,精准肝切除的核心在于:以门静脉流域为边界,实现肿瘤流域的完整清除,同时最大限度保留非受累功能性肝实质。这一策略的实施依赖于先进的影像技术和术中导航技术。相较于传统非解剖性切除,解剖性切除能够减少潜在微转移灶残留,同时避免无效肝组织切除,从而在肿瘤学安全性与功能保留之间取得更优平衡。

近年来,随着三维可视化及术中导航技术的发展,精准肝切除的实施条件不断完善。术前通过三维重建明确肝内血管与肿瘤的空间关系,可实现以门静脉流域为基础的个体化切除范围设计^[26];术中结合超声及荧光导航,可对肝段及亚肝段边界进行实时识别,从而提高手术的空间精确性^[27]。此外,腹腔镜及机器人技术在减少手术创伤及炎症反应方面具有优势,有助于降低对残余肝功能的影响^[1]。然而,在临床实践中,精准肝切除仍需面对肿瘤学安全性与功能保留之间的内在矛盾。对于多发病灶或邻近重要血管的肿瘤,过度强调实质保留可能导致肿瘤清除范围不足,从而增加局部复发风险;而扩大切除虽有助于提高根治性,却可能导致残余肝功能不足甚至 PHLF。因此,肝切除策略的核心可归纳为:在“流域完整清除”与“功能性肝实质最大化保留”之间实现动态平衡。在此基础上,根据术前肝功能储备评估结果,结合肿瘤位置及门静脉流域分布,制定个体化切除方案,已成为当前肝脏外科功能保留的重要发展方向。

1.3 肝脏再生与术后功能恢复

肝脏再生是维持肝切除后机体代偿能力的基础,也是决定术后功能恢复的关键因素^[28]。传统观点认为,肝脏再生主要表现为 FLR 的增加,但近年来的研究^[29]表明,肝脏再生不仅涉及体积恢复,还包括肝小叶结构重建、血流再分布及代谢功能重塑等一系列复杂过程。这些过程对术后肝

功能恢复具有积极意义：肝小叶结构的完整重建是肝细胞极性恢复、胆红素代谢及药物处理能力重建的组织学基础；血流重分布直接影响门静脉压力调节、有效肝灌注及氧供平衡，进而决定再生肝组织的代谢效率；而代谢功能重塑则涉及蛋白质合成、凝血因子生成及解毒功能的逐步恢复，是患者从手术应激状态过渡到稳态代谢的关键环节。上述任一过程的延迟或障碍，均可能导致术后肝功能恢复不全，甚至进展为PHLF。

在分子层面，肝脏再生受多条信号通路协同调控，包括IL-6/STAT3介导的炎症启动通路、HGF/c-Met驱动的肝细胞增殖通路以及Hippo-YAP通路调控的细胞生长与器官大小控制机制^[30]。这些信号网络共同决定再生肝组织的增殖速度与功能分化程度。然而，临床研究^[31]发现，肝脏再生过程中体积恢复与功能恢复并不同步。在门静脉栓塞（portal vein embolization, PVE）等诱导性再生过程中，FLR可逐渐增加，同时伴随血流再分布及功能代偿增强，从而提高大范围切除的安全性。相比之下，近年来发展的联合肝分隔和门静脉结扎二步肝切除术（associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy, ALPPS）可在短时间内显著增加FLR，但部分研究^[32-33]提示，其再生肝组织在微结构成熟及代谢功能方面可能滞后。上述现象提示：肝脏再生过程中“结构再生”可先于“功能再生”，再生体积并不等同于再生功能。

这一特征从机制上解释了为何单纯依赖FLR体积评估可能低估术后PHLF的发生风险。同时也提示，肝脏功能恢复不仅取决于再生速度，还取决于再生肝组织的功能质量及其血流与胆汁引流重建情况^[34]。因此，在临床实践中，肝切除策略不仅应关注FLR的增加，还需综合评估再生肝组织的功能成熟度。这一认识进一步强调了功能评估与精准切除策略应建立在“体积-功能-再生质量”三者统一的基础之上，从而在提高手术安全性的同时，实现肝功能的最优保留。

1.4 肝硬化背景下的功能保留特点

在我国肝细胞癌患者中，相当比例合并肝硬化，其肝脏结构及血流动力学发生显著改变，对功能保留策略产生重要影响。肝硬化不仅表现为肝细胞数量减少及纤维化进展，还伴随窦状隙结构破坏及肝内血流重分布，从而导致肝脏功能呈现更加明显的区域异质性^[35]。在此背景下，门静

脉高压、低蛋白血症及慢性炎症状态等多因素共同作用，使残余肝脏的代偿能力显著下降，同时抑制肝脏再生过程，增加PHLF的发生风险^[36]。此外，肝硬化患者常存在微循环障碍及肝细胞再生潜能下降，使再生肝组织在功能恢复方面进一步受限^[37]。上述改变提示，肝硬化不仅降低肝功能储备，还放大了“体积-功能不一致”这一内在矛盾。

在肝硬化背景下，单纯依赖FLR进行术前评估更易高估术后功能状态。功能评估应更加重视动态功能指标及区域功能分布，以提高风险预测的准确率^[36]。从手术决策角度来看，肝硬化患者的功能保留策略需进行相应调整：一方面，应尽量避免大范围肝切除，优先选择基于门静脉流域的精准切除方式，以减少对非受累肝实质的损伤；另一方面，应通过围手术期营养支持及肝功能保护措施改善基础状态，从而提高残余肝的功能适应能力^[38]。

因此，肝硬化背景下的肝切除策略，本质上是在受限功能储备条件下，实现“最小流域清除”与“最大功能保留”的优化平衡。

1.5 现存问题与发展方向

尽管肝脏功能保留理念不断发展，但其在临床实践中仍面临多层面挑战。从整体上看，现存问题主要集中于评估体系、手术策略及生物学机制三个方面。

首先，在评估体系方面，目前尚缺乏统一且可量化的功能评价标准。现有方法多分别基于体积、血流或代谢指标进行评估，缺乏对“体积-功能-区域分布”三者的整合，导致不同中心间结果可比性较差，也限制了其对PHLF的预测能力。其次，在手术策略层面，解剖性与非解剖性肝切除在功能保护及肿瘤学结局方面的优势尚未形成一致结论。尽管基于门静脉流域的精准切除理念逐渐受到重视，但其适应证界定及标准化操作路径仍有待进一步明确。

再次，在机制研究方面，肝脏再生促进策略（如PVE、ALPPS）虽可显著增加FLR，但其对再生肝组织功能质量的影响尚未完全阐明。此外，肝硬化背景下功能异质性及再生能力受限的机制仍缺乏系统性研究^[39]。

当前肝脏功能保留的核心挑战在于：如何建立以功能为导向的综合决策体系，而非依赖单一

指标进行评估或手术选择。基于此,未来研究应重点关注以下方向:构建标准化、多维度的肝功能评估体系,实现体积、功能及区域分布的整合;开展大样本、多中心的前瞻性研究,明确不同切除策略对术后功能及长期预后的影响;加强基础研究,阐明肝脏再生与功能恢复之间的关系,为精准外科提供生物学依据。

总体而言,肝脏外科的发展正从“解剖导向”逐步迈向“功能导向”,而功能保留策略的优化,依赖于评估体系、手术技术与机制研究的协同进步。

2 胰腺功能保留

2.1 胰腺功能损失的系统性影响

胰腺作为兼具外分泌与内分泌功能的器官,其功能损伤不仅表现为局部消化障碍,更涉及全身代谢调控的改变^[40]。胰腺切除术后常见并发症包括胰腺外分泌功能不全(pancreatic exocrine insufficiency, PEI)及胰源性糖尿病(type 3c diabetes mellitus, T3cDM)^[41]。其中,临床表现为脂肪泻、腹胀及营养不良,长期可引发体质量显著下降、脂溶性维生素(A、D、E、K)缺乏及骨质疏松,严重影响患者营养状态与日常活动能力^[42];而T3cDM则因胰岛 β 细胞减少及胰高血糖素分泌调节受损,导致血糖波动更为显著,患者低血糖发生风险较2型糖尿病更高,且血糖控制难度更大,不仅影响患者生活质量,还可能因代谢紊乱而增加围手术期并发症发生风险^[43-44]。近年来,研究^[42]提示,胰腺功能损伤不仅影响生活质量,还可能通过“营养-代谢-免疫”通路影响肿瘤预后。例如,营养不良可削弱免疫功能并降低对辅助治疗的耐受性,而血糖波动则可能促进肿瘤微环境改变。因此,胰腺功能保留逐渐由“改善症状”上升为“影响长期结局的重要因素”。

2.2 功能保留术式的选择及其理论基础

针对良性及低度恶性病变,近年来逐步发展出多种以保留胰腺实质为目的的术式,包括十二指肠保留胰头切除术(duodenum-preserving pancreatic head resection, DPPHR)、保留脾脏的胰体尾切除术及胰腺肿瘤切除术等^[44]。这些术式的提出并不仅基于“减少切除范围”的技术考量,而是建立在对胰腺解剖结构、内分泌分布及神经

调控机制深入认识的基础之上。从机制层面来看,胰腺功能的维持依赖于实质完整性、管道连续性及周边器官协同作用的共同维持,可概括为三个相互耦合的功能层级:实质层(内外分泌基础)-管道层(胰液输送系统)-器官层(消化及免疫协同)。其中,胰腺实质决定胰岛细胞及腺泡细胞的数量,是内外分泌功能的基础;主胰管及分支胰管构成胰液排出通道,其完整性直接影响胰液是否在腺体内滞留或外漏;而十二指肠及脾脏等周围器官则通过肠胰轴激素调节(如促胰液素、胆囊收缩素)及免疫功能参与胰腺功能调控^[45-46]。在上述框架下,胰腺内分泌与外分泌功能差异亦可得到解释。胰岛细胞在胰腺内呈非均匀分布,胰体尾区域相对富集,尤其是 β 细胞密度较高,因此不同部位切除对糖代谢的影响存在显著差异。胰体尾切除更易导致胰岛细胞数量减少,从而增加T3cDM的发生风险;而胰头切除虽对内分泌影响相对较小,但由于胰液分泌及胆胰汇合结构改变,可对外分泌功能产生更明显的影响^[47]。

与此同时,传统胰十二指肠切除术在切除胰头的同时切除十二指肠及部分胃组织,破坏胃排空、胆汁及胰液分泌的生理节律,进而影响消化吸收过程。相比之下,DPPHR通过保留十二指肠及胆道结构,有助于维持肠胰轴的完整性,从而在生理层面减少术后消化功能紊乱。此外,功能保留术式通常强调保留胰周神经丛及血供结构,这不仅有助于维持局部调控功能,还可能减少术后胃肠动力障碍及代谢紊乱的发生^[48]。基于上述机制,不同术式主要对应不同层级的功能保留策略:肿瘤切除术主要实现实质及管道的最大程度保留,但对解剖条件要求较高;DPPHR通过维持器官层调控,有助于稳定内外分泌功能;保留脾脏的胰体尾切除术则在免疫功能及感染控制方面具有优势。因此,胰腺手术方式的选择,本质上并非“术式优劣比较”,而是不同功能层级保留程度与肿瘤侵袭范围之间的匹配过程。

需要强调的是,功能保留术式的理论优势并不意味着其适用于所有胰腺疾病^[44]。对于胰腺导管腺癌等高度恶性肿瘤,由于其具有早期神经浸润及淋巴转移倾向,扩大切除范围仍是保证肿瘤学安全的关键。因此,当前普遍认为功能保留术式主要适用于良性及低度恶性病变,其应用需在肿瘤学安全性与功能获益之间进行严格权衡^[49]。

综上,胰腺功能保留术式的选择本质上是基于功能层级结构、内分泌分布差异及消化道调控机制等多因素综合决策,其关键在于在确保肿瘤学安全的前提下,实现代谢功能损失的最小化。

2.3 胰腺功能保留与手术风险的内在矛盾

在胰腺外科中,功能保留与手术安全性之间存在长期未能完全解决的内在矛盾。总体而言,保留更多胰腺实质有助于维持内分泌及外分泌功能,但同时也显著增加POPF的发生风险^[50]。这一矛盾的争论焦点在于短期手术安全性与长期代谢完整性之间的权衡。这一矛盾并非单纯源于手术技术差异,而是与胰腺独特的生物学特性密切相关。

从机制上看,胰腺外分泌液中含有多种消化酶前体,在术后局部环境改变或激活条件下可转化为具有活性的蛋白水解酶,从而导致组织自我消化及吻合口破坏。因此,与其他消化道器官相比,胰腺吻合口更易发生结构失稳。功能保留术式通常意味着残余胰腺分泌能力较强,在一定程度上增加了胰液外漏及POPF发生的风险^[51]。此外,胰腺质地差异在该矛盾中具有关键作用。临床观察显示,质地柔软、纤维化程度低的“软胰”通常具有较好的内外分泌功能,但其组织脆性较高、胰管细小,吻合难度增加,从而显著增加POPF发生风险;相反,“硬胰”虽功能相对减弱,但因纤维化明显、胰管扩张,吻合更为稳定,POPF发生风险较低^[52]。这一现象提示:胰腺功能状态与手术风险在一定程度上呈反向关系。在手术策略层面,这一矛盾进一步体现为短期安全性与长期代谢结局之间的权衡。对于POPF发生高风险患者(如软胰、细胰管),部分外科医师倾向于采取相对保守的重建策略或扩大切除范围,以降低围手术期并发症发生风险;但此类策略可能导致胰腺实质丢失增加,从而加重术后内、外分泌功能障碍^[53]。近年来,通过建立POPF风险评估模型(如基于胰腺质地、胰管直径及术中出血等因素的评分系统)以及改进胰肠吻合技术,POPF发生率有所下降,使功能保留策略的应用范围逐渐扩大^[54-56]。然而,现有技术进步尚未从根本上消除这一内在矛盾,其内核仍在于如何在个体化风险评估基础上,实现短期手术安全性与长期代谢获益之间的最优平衡。

2.4 影响胰腺功能保留的关键因素

胰腺功能保留效果并非由单一因素决定,而是解剖结构、基础状态及围手术期调控等多维因素相互作用的结果,反映了“功能储备-手术干预-代谢适应”之间的动态耦合关系^[57]。从解剖学角度来看,切除部位与范围构成功能变化的基础框架。由于胰岛细胞在胰腺内呈非均匀分布,胰体尾区域 β 细胞密度较高,因此胰体尾切除更易导致内分泌功能受损,而胰头切除则易影响胰液分泌及胆胰汇合结构,对外分泌功能及消化吸收产生更显著的影响。这种“部位依赖性差异”提示,胰腺功能损失具有明确的空间异质性特征。在此基础上,基础疾病状态进一步调节功能保留的上限。慢性胰腺炎患者由于腺泡细胞减少及纤维化进展,其功能储备已显著下降;而术前存在糖代谢异常的患者,其胰岛功能代偿能力有限,术后更易出现持续性代谢紊乱。这表明,术后功能状态在很大程度上取决于术前功能基础,而非仅由手术方式决定。围手术期管理则构成功能恢复的“调节层”。合理的营养支持、胰酶替代及血糖管理可在一定程度上缓冲功能损失带来的代谢冲击,从而促进机体的适应过程。值得关注的是,近年来提出的“代谢重编程”概念进一步拓展了对胰腺功能保留的认识^[58-59]。机体可通过肝脏葡萄糖代谢调节及肠道激素变化,对部分胰腺功能缺失进行代偿,但其调控机制及长期稳定性尚未完全阐明。

综上,胰腺功能保留的影响因素本质上并非孤立存在,而是解剖结构决定功能基础,基础状态限定恢复空间,而围手术期调控影响功能结局。

2.5 现存问题与发展方向

尽管胰腺功能保留理念不断发展,但其在临床实践中仍面临多层面挑战。从整体上看,这些问题主要集中于评价体系、循证证据及机制研究三个方面。

在评价体系方面,目前尚缺乏统一且可量化的胰腺功能评估标准。内分泌功能多依赖血糖或糖化血红蛋白等指标,而外分泌功能评估方法在临床应用中尚未完全标准化,限制了不同研究之间的可比性。在循证证据层面,不同功能保留术式在长期代谢结局方面缺乏高质量对比研究,尤其是针对内外分泌功能变化的长期随访数据不足,使得术式选择仍在一定程度上依赖经验判断。从机制角度来看,POPF等外分泌相关并发症仍是限

制功能保留术式推广的重要因素,其发生机制虽已部分阐明,但针对高风险人群的精准预测及干预策略仍不完善。此外,T3cDM的发生机制及其防控策略亦有待深入研究。

基于上述问题,未来研究可从以下方向推进:建立标准化、多维度的胰腺功能评价体系;开展大样本、多中心的前瞻性研究,以明确不同术式对长期代谢结局的影响;同时加强基础研究,探索胰岛细胞保护、再生及代谢调控机制,从而在提高肿瘤治疗效果的同时,实现代谢功能的优化。

3 胆道功能保留

3.1 胆道功能保留的范式转变

传统胆道外科以解除梗阻及恢复胆汁引流通畅为核心目标,手术效果主要依据解剖重建质量进行评价^[60]。然而,随着对胆道生理功能认识的深入,越来越多的临床研究^[61]表明,单纯实现胆道通畅并不能充分改善患者远期预后,围手术期风险更多来源于胆汁淤积、感染及肝功能损伤等功能性因素的叠加效应。在此背景下,胆道外科逐渐由“解剖可切除性”转向“功能可切除性(functional resectability)”,即在评估肿瘤可切除性的同时,综合判断患者是否具备维持术后器官功能稳态的能力^[62]。这一转变反映了外科治疗目标由“结构重建”向“功能重建”的延伸。

3.2 胆道功能损伤的机制整合

胆道系统功能损伤并非孤立事件,而是多因素驱动连续病理过程。研究表明,胆道疾病围手术期风险主要集中在胆汁淤积→细菌感染→功能衰竭的级联反应。

胆汁淤积可通过胆汁酸毒性作用及肝内压力升高直接损伤肝细胞,同时削弱Kupffer细胞对内毒素的清除能力;继发细菌感染可诱导炎症因子(如TNF- α 、IL-6)释放,放大炎症反应并抑制肝细胞再生过程,从而加重肝功能损害;在持续炎症及代谢失衡状态下,最终可进展为PHLF^[61,63]。另一方面,胆肠吻合后胆汁排放由括约肌调控的节律性释放转变为持续性流动,肠-胆反流及菌群迁移可导致胆道微生态结构改变,促进慢性炎症及结石复发^[64]。上述改变提示,胆道功能损害的核心问题在于胆汁动力学异常与胆道微生态失衡的协同放大效应。

3.3 “功能安全窗”模型与决策重构

基于上述机制,胆道外科逐渐形成以“功能安全窗”为核心的决策模型。所谓功能安全窗,是指患者在接受手术前需同时满足以下条件:功能安全窗=残余肝功能+胆道通畅/感染控制+全身代谢状态。在临床实践中,该模型可操作化为一组可量化指标:(1)残余肝功能需同时满足体积与功能要求(非肝硬化患者FLR $\geq$ 20%~30%,合并胆汁淤积或基础肝病者 $\geq$ 40%),并结合ICG清除试验或区域功能评估进行校正^[65-67];(2)胆汁淤积及感染需得到有效控制(如总胆红素降至约50 μ mol/L以下且炎症指标稳定)^[68];(3)营养及凝血状态处于可耐受手术水平^[69]。该模型的意义在于,将传统以解剖可行性为核心的决策模式,转变为以“功能可承受性”为前提的动态评估过程,从而为术前干预(如选择性胆道引流、感染控制及PVE)提供明确指征,并有助于降低PHLF及感染相关并发症发生风险。

3.4 功能保留的核心矛盾与理论边界

尽管功能导向理念不断发展,但其在临床实践中仍面临内在张力。一方面,为提高R₀切除率,往往需要扩大切除范围及实施复杂重建,从而增加胆汁淤积及感染风险;另一方面,过度强调功能保护可能限制手术范围,影响肿瘤学彻底性。因此,胆道外科的核心问题可归纳为肿瘤学彻底性与功能安全窗之间的动态平衡,在这一框架下,“功能优先、微创其次”不再仅是技术选择,而是外科决策的基本原则。未来研究需进一步建立标准化功能评估体系,并从胆道动力学及微生态层面阐明其对远期预后的影响,以推动胆道外科由经验驱动向模型驱动转变。

3.5 现存问题与发展方向

目前,胆道功能保留仍面临以下问题:一是,缺乏客观、可量化的功能评价指标,胆道动力学及压力变化尚未纳入常规评估体系;二是,胆道微生态在术后并发症中的作用机制尚未明确;三是,不同重建方式对远期功能的影响缺乏高质量比较研究。未来研究可从以下方面推进:建立胆道动力学及功能评价体系,结合影像学与生物标志物实现功能定量分析;加强胆道微生态研究,探索其在胆管炎及结石复发中的作用;优化手术及内镜策略,在保证引流通畅的同时尽可能保留生理调控机制。

4 专家观点与未来方向

4.1 现存问题总结

肝胆胰器官功能保留的提出，反映了外科理念由“以切除为中心”向“以功能为导向”的重要转变。然而，尽管不同器官在解剖结构及疾病谱方面存在差异，其功能保留面临的核心问题具有一定共性（图1）。

在肝脏领域，主要问题集中于三方面：一是，评估体系尚不完善，FLR与实际功能之间存在偏差，缺乏“体积-功能-区域分布”整合的量化标准；二是，肝硬化背景下功能异质性及再生能力受限的机制仍缺乏系统性研究；三是，肝脏再生促进策略（如PVE、ALPPS）虽可增加FLR，但再

生肝组织的功能质量评估仍不充分。在胰腺领域，核心矛盾体现为功能保留与手术风险之间的权衡：保留更多实质有助于维持内分泌及外分泌功能，但显著增加POPF发生风险；此外，内外分泌功能缺乏统一量化评估标准，不同功能保留术式的长期代谢结局缺乏高质量对比研究。在胆道系统，功能评价仍主要停留在解剖通畅层面，胆道动力学及微生态变化尚未纳入常规评估体系，不同重建方式对远期功能影响的高质量比较研究亦显不足。

上述问题提示，当前肝胆胰外科功能保留策略的实施仍面临评估体系、循证证据及机制研究的多重瓶颈。

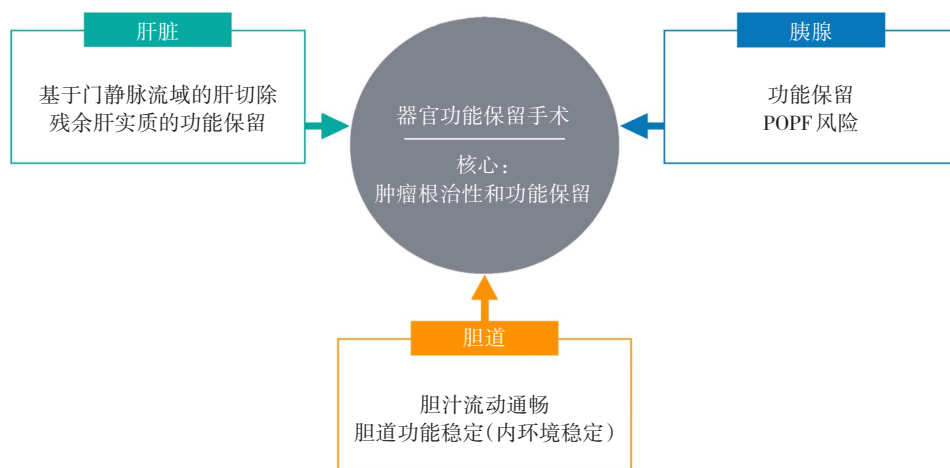


图1 肝胆胰外科器官功能保留的理论模型

Figure 1 Theoretical model of organ function preservation in hepatopancreatobiliary surgery

4.2 未来发展方向

首先，功能评估体系仍不完善是当前限制功能保留策略进一步发展的关键因素。在肝脏领域，FLR与实际功能之间存在偏差；在胰腺领域，内外分泌功能缺乏统一量化标准；在胆道系统，功能评价仍主要停留在解剖通畅层面。总体来看，目前临床决策仍较大程度依赖间接指标，缺乏能够全面反映器官功能状态的统一评价体系。因此，建立标准化、可量化的功能评估方法，是实现精准功能保留的基础^[62]。

其次，肿瘤学安全性与功能保留之间的平衡问题贯穿于肝胆胰外科的各个方面。在肝脏手术中，扩大切除有助于降低复发风险，但可能增加PHLF发生风险；在胰腺手术中，标准根治性切除

虽可提高肿瘤控制率，但往往以牺牲代谢功能为代价；在胆道重建中，结构性重建虽可恢复引流通畅，但可能导致长期功能紊乱。这一矛盾提示，外科决策已由单一终点向多目标优化转变，即短期安全性与长期功能获益之间寻求平衡。

再次，器官功能恢复的生物学机制尚未完全阐明。肝脏再生涉及复杂的细胞信号调控，但“再生体积”与“再生功能”的一致性仍存在争议；胰腺切除后机体代谢适应及胰岛功能代偿机制尚不明确；胆道重建后胆汁动力学及微生态变化对远期结局的影响仍缺乏系统研究。上述问题提示，功能保留不仅是外科技术问题，更涉及器官再生与代谢调控的基础研究。

此外，结合我国临床实际、患者基础疾病负

担及医疗资源差异进一步增加了功能保留策略实施的复杂性。我国肝癌患者多合并肝硬化,胰腺疾病患者就诊时往往已处于进展期,这些因素均限制了功能保留手术的适用范围。同时,不同医疗中心之间技术水平及资源配置的差异,也影响了相关策略的推广与标准化应用。

基于上述分析,未来研究可从以下几个方面进一步推进:其一,建立多维度功能评估体系,将影像学、功能学及生物标志物相结合,提高术前预测准确率;其二,开展多中心前瞻性研究,明确不同功能保留策略在长期预后方面的差异;其三,加强基础研究,阐明肝脏再生、胰腺代谢调控及胆道功能恢复的分子机制;其四,推动多学科协作模式,以实现个体化治疗决策。

综上所述,肝胆胰器官功能保留并非单一技术改进的结果,而是外科决策范式的系统性重构。从肝脏的“流域-功能”平衡,到胰腺的“功能-风险”对抗,再到胆道的“功能安全窗”模型,不同器官虽表现形式各异,但其内在逻辑具有一致性,即在结构干预的基础上,实现系统功能的稳定维持。未来肝胆胰外科的发展方向,不在于“切除范围的进一步优化”,而在于“功能导向决策体系的建立”。在此背景下,外科治疗的核心目标亦应由“最大程度切除病灶”转向在保证肿瘤学安全的前提下,实现器官功能、代谢稳态与生活质量的综合最优。

作者贡献声明:吴涛负责文献检索、全文框架搭建、肝脏与胰腺章节撰写、图表整理、初稿修订;本田五郎负责外文文献补充、胰腺外科国际研究进展梳理、英文摘要润色、稿件逻辑校核;黄洁负责课题总体设计、研究思路统筹、胆道章节撰写、核心观点提炼、全文终审与修改、基金统筹。全体作者均通读全文,对稿件内容、数据及结论无异议,一致同意投稿发表。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

补充材料: <http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/abstract/pw260211>

参考文献

[1] 中国医师协会外科医师分会微创外科专家工作组,中华医学会儿科学分会腹腔镜与内镜外科学组,中国医师协会外科医师分

会机器人外科专家工作组,等. 5G远程控制机器人辅助肝胆胰外科手术中国专家共识(2025版)[J]. 中国实用外科杂志, 2025, 45(6):601-610. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2025.06.01.

Minimally Invasive Surgery Expert Group, Branch of Surgery, Chinese Medical Doctor Association, Laparoscopic & Endoscopic Surgery Group, Chinese Society of Surgery, Chinese Medical Association, Robotic Surgery Expert Group, Branch of Surgery, Chinese Medical Doctor Association, et al. Chinese expert consensus on 5G remote robotic hepatobiliary and pancreatic surgery(2025 edition) [J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2025, 45(6): 601-610. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2025.06.01.

[2] Pitt HA. Benchmark, textbook or optimal pancreatic surgery? [J]. Ann Surg, 2019, 270(2): 219-220. doi: 10.1097/SLA.0000000000003377.

[3] White SA, Shaw JA, Sutherland DE. Pancreas transplantation[J]. Lancet, 2009, 373(9677):1808-1817. doi:10.1016/S0140-6736(09)60609-7.

[4] Aghayan DL, Kazaryan AM, Dagenborg VJ, et al. Long-term oncologic outcomes after laparoscopic versus open resection for colorectal liver metastases: a randomized trial[J]. Ann Intern Med, 2021, 174(2):175-182. doi:10.7326/M20-4011.

[5] 刘智鹏,李子沐,罗宇乐,等.胆囊癌根治性目的切除术达到教科书式结局对远期预后影响的全国多中心队列研究[J]. 中华消化外科杂志, 2024, 23(7):926-933. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20240527-00264.

Liu ZP, Li ZM, Luo YL, et al. Influence of curative-intent resection with textbook outcomes on long-term prognosis of gall-bladder carcinoma: a national multicenter study[J]. Chinese Journal of Digestive Surgery, 2024, 23(7): 926-933. doi: 10.3760/cma. j. cn115610-20240527-00264.

[6] 王冠宇,张修平,刘荣. 机器人肝胆胰外科的创新与发展[J]. 中国普通外科杂志, 2024, 33(9):1357-1367. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.001.

Wang GY, Zhang XP, Liu R. Innovation and development of robotic hepatobiliary and pancreatic surgery[J]. China Journal of General Surgery, 2024, 33(9):1357-1367. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.001.

[7] 肖鸣,项灿宏. 肝门部胆管癌术前预留肝叶储备功能的评估与改善[J]. 中国普通外科杂志, 2024, 33(12):1958-1966. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.12.003.

Xiao M, Xiang CH. Evaluation and improvement of liver reserve function before hepatectomy for perihilar cholangiocarcinoma[J]. China Journal of General Surgery, 2024, 33(12):1958-1966. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.12.003.

[8] Diener MK, Hüttner FJ, Kieser M, et al. Partial

- pancreatoduodenectomy versus duodenum-preserving pancreatic head resection in chronic pancreatitis: the multicentre, randomised, controlled, double-blind ChroPac trial[J]. *Lancet*, 2017, 390(10099):1027-1037. doi:10.1016/S0140-6736(17)31960-8.
- [9] Yamamoto S, Hasegawa K, Inoue Y, et al. Bile duct preserving surgery for hepatocellular carcinoma with bile duct tumor thrombus[J]. *Ann Surg*, 2015, 261(5): e123-e125. doi: 10.1097/SLA.0000000000001209.
- [10] Søreide JA, Deshpande R. Post hepatectomy liver failure (PHLF)-Recent advances in prevention and clinical management[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2021, 47(2):216-224. doi:10.1016/j.ejso.2020.09.001.
- [11] Wang K, Yang Q, Li K, et al. Learning-based early detection of post-hepatectomy liver failure using temporal perioperative data: a nationwide multicenter retrospective study in China[J]. *EClinicalMedicine*, 2025, 83: 103220. doi: 10.1016/j.eclinm.2025.103220.
- [12] Chua DW, Zhao Y, Koh YX. Critical appraisal of novel prediction models and risk calculators for post-hepatectomy liver failure and complications: practicability and generalisability in the real-world setting[J]. *Hepatobiliary Surg Nutr*, 2024, 13(4): 696-698. doi: 10.21037/hbsn-24-289.
- [13] Bekheit M, Grundy L, Salih AK, et al. Post-hepatectomy liver failure: a timeline centered review[J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2023, 22(6):554-569. doi:10.1016/j.hbpd.2023.03.001.
- [14] 国际肝胆胰协会中国分会, 中华医学会外科学分会肝脏外科学组, 中国抗癌协会加速康复肿瘤外科专业委员会. 肝脏切除术围手术期多学科临床管理指南(2025版)[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(9):1801-1841. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250547.
- The Chinese Chapter of the International Hepato- Pancreato-Biliary Association, Group of Liver Surgery, Surgical Society of Chinese Medical Association, Enhanced Recovery of Oncology Surgery Professional Committee, Chinese Anti-Cancer Association. Guidelines for multidisciplinary clinical management of perioperative period of hepatectomy(2025 edition) [J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(9):1801-1841. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250547.
- [15] 杨龙, 元喆悦, 张雅敏. 肝切除术后肝脏再生与肿瘤复发相关性的研究进展[J]. *中华外科杂志*, 2019, 57(7):554-557. doi:10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2019.07.015.
- Yang L, Yuan ZY, Zhang YM. Research progress of the relationship between liver regeneration and tumor recurrence after hepatectomy[J]. *Chinese Journal of Surgery*, 2019, 57(7):554-557. doi:10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2019.07.015.
- [16] Brunner SF, Roberts ND, Wylie LA, et al. Somatic mutations and clonal dynamics in healthy and cirrhotic human liver[J]. *Nature*, 2019, 574(7779):538-542. doi:10.1038/s41586-019-1670-9.
- [17] Andel D, Dassen MG, Reinders-Hut MM, et al. Surgical outcomes of major hepatectomy following "radiation lobectomy" for hepatic malignancies and insufficiently functional future liver remnant: initial experience[J]. *Br J Surg*, 2020, 107(12): e609-e610. doi: 10.1002/bjs.11828.
- [18] Asenbaum U, Kaczirek K, Ba-Ssalamah A, et al. Post-hepatectomy liver failure after major hepatic surgery: not only size matters[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(11): 4748-4756. doi: 10.1007/s00330-018-5487-y.
- [19] Yamamura K, Beppu T. Makuuchi's criteria for liver resection in the modern era of functional liver remnant volume evaluation[J]. *Hepatol Res*, 2023, 53(2):91-92. doi:10.1111/hepr.13872.
- [20] Satoh K, Yamamoto Y, Nishiyama Y, et al. 99mTc-GSA liver dynamic SPECT for the preoperative assessment of hepatectomy[J]. *Ann Nucl Med*, 2003, 17(1): 61-67. doi: 10.1007/BF02988261.
- [21] Diggs LP, Newhook TE. Better outcomes by measuring function? predicting functional future liver remnant using Tc-GSA SPECT/CT in perihilar cholangiocarcinoma[J]. *Ann Surg Oncol*, 2025, 32(9):6201-6202. doi:10.1245/s10434-025-17443-1.
- [22] Arntz PJW, Deroose CM, Marcus C, et al. Joint EANM/SNMMI/IHPBA procedure guideline for [^{99m}Tc] Tc-mebrofenin hepatobiliary scintigraphy SPECT/CT in the quantitative assessment of the future liver remnant function[J]. *HPB (Oxford)*, 2023, 25(10):1131-1144. doi:10.1016/j.hpb.2023.06.001.
- [23] 董家鸿, 王继涛, 闫军. 精准外科理念下肝脏精细解剖临床实践[J]. *中国实用外科杂志*, 2025, 45(8):871-874. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2025.08.04.
- Dong JH, Wang JT, Yan J. Clinical practice of liver fine anatomy under the concept of precision surgery[J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2025, 45(8): 871-874. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2025.08.04.
- [24] 《中华消化外科杂志》编辑委员会, 中国研究型医院学会肝胆胰外科专业委员会. 腹腔镜门静脉流域解剖性肝切除理论及技术标准中国专家共识(2023版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2023, 22(12): 1385-1397. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20230925-00114.
- The Editorial Committee of the Chinese Journal of Digestive Surgery and the Hepatobiliary Pancreatic Surgery Professional Committee of the Chinese Research Hospital Association. Chinese expert consensus on the theoretical and technical system of laparoscopic portal territory staining guided anatomic liver resection (2023 edition)[J]. *Chinese Journal of Digestive Surgery*, 2023, 22(12):1385-1397. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20230925-00114.
- [25] 曹君, 王宏光, 梁霄, 等. 门静脉流域解剖性肝切除治疗肝细胞癌的理论与技术实践[J]. *中华消化外科杂志*, 2022, 21(5):591-597.

- doi:10.3760/cma.j.cn115610-20220413-00202.
- Cao J, Wang HG, Liang X, et al. Theory and technical practice of anatomic liver resection based on portal territory for the treatment of hepatocellular carcinoma[J]. Chinese Journal of Digestive Surgery, 2022, 21(5): 591-597. doi: 10.3760/cma. j. cn115610-20220413-00202.
- [26] 方驰华, 张鹏, 罗火灵, 等. 增强现实导航技术联合吲哚菁绿分子荧光影像在三维腹腔镜肝切除术中的应用[J]. 中华外科杂志, 2019, 57(8): 578-584. doi: 10.3760/cma. j. issn. 0529-5815.2019.08.004.
- Fang CH, Zhang P, Luo HL, et al. Application of augmented-reality surgical navigation technology combined with ICG molecular fluorescence imaging in laparoscopic hepatectomy[J]. Chinese Journal of Surgery, 2019, 57(8): 578-584. doi: 10.3760/cma. j. issn.0529-5815.2019.08.004.
- [27] 中国医师协会外科医师分会肝脏外科医师委员会. 吲哚菁绿荧光成像技术在肝脏外科应用中国专家共识(2023版)[J]. 中国实用外科杂志, 2023, 43(4): 371-383. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2023.04.02.
- Liver Surgery Committee of the Surgical Branch of the Chinese Medical Association. Chinese expert consensus on the application of indocyanine green near-infrared imaging technology in liver surgery(2023 edition) [J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2023, 43(4): 371-383. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2023.04.02.
- [28] Cui Y, Li L, He Y, et al. Retrorsine impairs liver regeneration by inducing progenitor cell-senescence via ROS after partial hepatectomy[J]. Ann Med, 2026, 58(1): 2635821. doi: 10.1080/07853890.2026.2635821.
- [29] Miao X, Dong W, Zhou J, et al. Transcriptional and post-transcriptional activation of GATA4 contributes to liver regeneration[J]. Life Sci, 2026, 392: 124282. doi: 10.1016/j.lfs.2026.124282.
- [30] Yagi S, Hirata M, Miyachi Y, et al. Liver regeneration after hepatectomy and partial liver transplantation[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(21): 8414. doi: 10.3390/ijms21218414.
- [31] Hadjittofi C, Feretis M, Martin J, et al. Liver regeneration biology: Implications for liver tumour therapies[J]. World J Clin Oncol, 2021, 12(12): 1101-1156. doi: 10.5306/wjco.v12.i12.1101.
- [32] Michal K, Sau M, Tamara GMH, et al. A better route to ALPPS: minimally invasive vs open ALPPS[J]. Surg Endosc, 2020, 34(6): 2379-2389. doi: 10.1007/s00464-020-07437-3.
- [33] Kawaguchi D, Hiroshima Y, Matsuo K, et al. Parenchymal congestion is important for rapid regeneration of the future liver remnant following the ALPPS procedure[J]. Anticancer Res, 2016, 36(9): 4731-4738. doi: 10.21873/anticancer.11028.
- [34] Sparrelid E, Hasselgren K, Røskov BI, et al. How should liver hypertrophy be stimulated? A comparison of upfront associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy (ALPPS) and portal vein embolization (PVE) with rescue possibility[J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2021, 10(1): 1-8. doi: 10.21037/hbsn.2019.10.36.
- [35] Wang X, Wang Y, Li X, et al. Exploration of new therapeutic targets for viral hepatic fibrosis, alcoholic hepatic fibrosis, and non-alcoholic hepatic fibrosis[J]. Ann Transl Med, 2022, 10(16): 886. doi: 10.21037/atm-22-3593.
- [36] Rühlmann F, Azizian A, Moosmann C, et al. Perioperative LiMAX Test analysis: impact of portal vein embolisation, chemotherapy and major liver resection[J]. Biomedicine, 2024, 12(2): 254. doi: 10.3390/biomedicine12020254.
- [37] Li Y, Liu YM, Gao YL, et al. Comparison of the accuracy of predictive models in early detection of clinically relevant posthepatectomy liver failure[J]. BMC Cancer, 2025, 25(1): 1400. doi: 10.1186/s12885-025-14738-0.
- [38] 中国研究型医院学会肝胆胰外科专业委员会, 《中华消化外科杂志》编辑委员会. 围手术期肝脏储备功能评估专家共识(2025版)[J]. 中华消化外科杂志, 2025, 24(11): 1383-1396. doi: 10.3760/cma.j.cn115610-20250909-00573.
- Chinese Research Hospital Association Hepatobiliary Pancreatic Surgery Professional Committee, Editorial Committee of Chinese Journal of Digestive Surgery. Expert consensus on perioperative assessment of hepatic reserve function (2025 edition) [J]. Chinese Journal of Digestive Surgery, 2025, 24(11): 1383-1396. doi: 10.3760/cma.j.cn115610-20250909-00573.
- [39] Reese T, Gilg S, Erdmann J, et al. Future liver remnant volumetry: an E-AHPBA international survey of current practice among liver surgeons[J]. HPB (Oxford), 2025, 27(6): 861-868. doi: 10.1016/j.hpb.2025.02.005.
- [40] Cameron JL, He J. Two thousand consecutive pancreaticoduodenectomies[J]. J Am Coll Surg, 2015, 220(4): 530-536. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.12.031.
- [41] Aizpuru M, Starlinger P, Nagorney DM, et al. Contemporary outcomes of pancreaticoduodenectomy for benign and precancerous cystic lesions[J]. HPB (Oxford), 2022, 24(9): 1416-1424. doi: 10.1016/j.hpb.2022.01.007.
- [42] Gorris M, van Bodegraven EA, Abu Hilal M, et al. Outcomes after distal pancreatectomy with or without splenectomy for intraductal papillary mucinous neoplasm: international multicentre cohort study[J]. Br J Surg, 2024, 111(1): znad424. doi: 10.1093/bjs/znad424.
- [43] Dominguez-Muñoz JE, Vujasinovic M, de la Iglesia D, et al. European guidelines for the diagnosis and treatment of pancreatic exocrine insufficiency: UEG, EPC, EDS, ESPEN, ESPGHAN,

- ESDO, and ESPCG evidence-based recommendations[J]. *United European Gastroenterol J*, 2025, 13(1): 125–172. doi: [10.1002/ueg2.12674](https://doi.org/10.1002/ueg2.12674).
- [44] 吴鹏飞, 陈凯, 何进. 保留器官功能的机器人胰腺切除术的应用价值[J]. *中华消化外科杂志*, 2025, 24(4):495–500. doi: [10.3760/cma.j.cn115610-20250212-00054](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115610-20250212-00054).
- Wu PF, Chen K, He J. Application value of robotic organ-sparing pancreatectomy[J]. *Chinese Journal of Digestive Surgery*, 2025, 24(4):495–500. doi: [10.3760/cma.j.cn115610-20250212-00054](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn115610-20250212-00054).
- [45] Takebayashi T, Watanabe J, Sakamoto K, et al. Association between preoperative pancreatic exocrine function and pathological evaluation with postoperative pancreatic fistulas following pancreaticoduodenectomy[J]. *Anticancer Res*, 2023, 43(8): 3563–3569. doi: [10.21873/anticancer.16534](https://doi.org/10.21873/anticancer.16534).
- [46] Gupta V, Bhandare MS, Chaudhari V, et al. Organ preserving pancreatic resections offer better long-term conservation of pancreatic function at the expense of high perioperative major morbidity: a fair trade-off for benign or low malignant potential pancreatic neoplasms-a single-center experience[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2022, 407(4): 1507–1515. doi: [10.1007/s00423-022-02491-y](https://doi.org/10.1007/s00423-022-02491-y).
- [47] Murakami Y, Uemura K, Kondo N, et al. Preservation of pancreatic endocrine and exocrine function of patients who underwent pancreatic resection[J]. *Suizo*, 2017, 32(4): 706–713. doi: [10.2958/suizo.32.706](https://doi.org/10.2958/suizo.32.706).
- [48] Lu WH, Tsai HM, Liao TK, et al. Volume and functional changes of remnant pancreas after different types of pancreatectomy: Exploring the regenerative potential[J]. *Sci. Rep.*, 2026, 16: 6947. doi: [10.1038/s41598-026-36886-4](https://doi.org/10.1038/s41598-026-36886-4).
- [49] 李澄清, 王磊. 保留功能的腹腔镜胰腺手术: 胰腺外科的合理选择[J]. *临床肝胆病杂志*, 2022, 38(12):2696–2700. doi: [10.3969/j.issn.1001-5256.2022.12.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5256.2022.12.004).
- Li CQ, Wang L. Function-preserving laparoscopic pancreatic surgery: a reasonable choice in pancreatic surgery[J]. *Journal of Clinical Hepatology*, 2022, 38(12): 2696–2700. doi: [10.3969/j.issn.1001-5256.2022.12.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5256.2022.12.004).
- [50] Cai W, Zhu YJ, Li DF, et al. Diffusion-based virtual MR elastography: association with pancreatic fibrosis and identification of postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2026, 63(5): 1448–1463. doi: [10.1002/jmri.70214](https://doi.org/10.1002/jmri.70214).
- [51] Nishibeppu K, Kubota T, Inoue H, et al. Impact of reconstruction type and pancreatic atrophy on glycemic variability after distal gastrectomy[J]. *Anticancer Res*, 2026, 46(4): 2153–2162. doi: [10.21873/anticancer.18104](https://doi.org/10.21873/anticancer.18104).
- [52] Machira H, Nitta N, Mori H, et al. Clinical features of postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy in patients with a hard pancreas: focused on estimated functional remnant pancreatic volume[J]. *Am Surg*, 2026, 92(8): 2125–2130. doi: [10.1177/00031348261433648](https://doi.org/10.1177/00031348261433648).
- [53] 李丹, 秦凯, 金佳斌, 等. 保留功能的胰腺手术的临床应用现状与思考[J]. *中华外科杂志*, 2024, 62(4):338–345. doi: [10.3760/cma.j.cn112139-20231116-00225](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112139-20231116-00225).
- Li D, Qin K, Jin JB, et al. Current status and considerations on clinical application of function-preserving pancreatic surgery[J]. *Chinese Journal of Surgery*, 2024, 62(4):338–345. doi: [10.3760/cma.j.cn112139-20231116-00225](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112139-20231116-00225).
- [54] Kapoor D, Desiraju Y, Chaudhari VA, et al. Validation and optimization of the international study group of pancreatic surgery risk classification of high-risk pancreas for postoperative pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy for periampullary tumors[J]. *Ann Surg*, 2026, 283(4): 659–666. doi: [10.1097/sla.0000000000006485](https://doi.org/10.1097/sla.0000000000006485).
- [55] Miyamoto R, Shiihara M, Watanabe M, et al. Prediction of postoperative pancreatic fistula occurrence by the pancreatic stump shape and remnant pancreatic volume measured using AI-guided three-dimensional simulation[J]. *Ann Surg Oncol*, 2026, 33(6): 5038–5047. doi: [10.1245/s10434-026-19267-z](https://doi.org/10.1245/s10434-026-19267-z).
- [56] Barreto SG, Strobel O, Salvia R, et al. Complexity and experience grading to guide patient selection for minimally invasive pancreatoduodenectomy: an international study group for pancreatic surgery (ISGPS) consensus[J]. *Ann Surg*, 2025, 281(3): 417–429. doi: [10.1097/sla.0000000000006454](https://doi.org/10.1097/sla.0000000000006454).
- [57] 谭明达, 颜军, 郭诗翔. 保留十二指肠、胆总管、Oddi括约肌的胰头整块全切除术后并发症分析[J]. *中华肝脏外科手术学电子杂志*, 2024, 13(2): 145–150. doi: [10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2021.04.005](https://doi.org/10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2021.04.005).
- Tan MD, Yan J, Guo SX. Analysis of complications after duodenum, common bile duct and sphincter of Oddi-preserving pancreatic head total resection[J]. *Chinese Journal of Hepatic Surgery: Electronic Edition*, 2024, 13(2):145–150. doi: [10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2021.04.005](https://doi.org/10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2021.04.005).
- [58] Arikath K, Batra SK, Ponnusamy MP. Unveiling the gut-pancreas axis: microbial influence on stemness and tumor microenvironment of PDAC[J]. *Stem Cells*, 2026, 44(2): sxaf064. doi: [10.1093/stmcls/sxaf064](https://doi.org/10.1093/stmcls/sxaf064).
- [59] Deng Y, Zhao Z, Sun Y, et al. Systemic and metabolic control of liver regeneration[J]. *Trends Endocrinol Metab*, 2026, 37(6): 534–549. doi: [10.1016/j.tem.2025.09.008](https://doi.org/10.1016/j.tem.2025.09.008).
- [60] 陈志宇, 何宇, 张雷达, 等. 精准肝胆外科技术体系在复杂胆道外科的应用[J]. *中国实用外科杂志*, 2023, 43(1): 83–89. doi: [10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.01.11](https://doi.org/10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.01.11).

- Chen ZY, He Y, Zhang LD, et al. Application of precision hepatobiliary surgery technology system in complex biliary surgery[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2023, 43(1): 83–89. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.01.11.
- [61] 中国抗癌协会肝胆肿瘤整合护理专业委员会, 重庆市医学会肝胆胰外科分会, 重庆市护理学会肝胆外科护理专业委员会. 胆管癌患者围手术期营养支持中国专家共识(2023版)[J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22(8): 943–952. doi: 10.3760/cma.j.cn115610-20230801-00008.
- China Anti Cancer Association Hepatobiliary Tumor Integrated Nursing Professional Committee, Chongqing Medical Association Hepatobiliary Pancreatic Surgery Branch, Chongqing Nursing Society Hepatobiliary Surgery Nursing Professional Committee. Chinese expert consensus on perioperative nutritional support for patients with cholangio-carcinoma (2023 edition) [J]. Chinese Journal of Digestive Surgery, 2023, 22(8): 943–952. doi: 10.3760/cma.j.cn115610-20230801-00008.
- [62] 冯磊, 李富宇. 以功能保留为核心的胆道肿瘤多阶段治疗体系: 微创、动态功能评估与康复整合[J]. 中国普通外科杂志, 2026, 35(2):230–241. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260052.
- Feng L, Li FY. Function-preserving multistage management for biliary tract cancers: integration of minimally invasive surgery, dynamic functional assessment, and rehabilitation[J]. China Journal of General Surgery, 2026, 35(2):230–241. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260052.
- [63] Kumar A, Chanu AR, Khan D, et al. Reference values for gallbladder ejection fraction in a healthy Indian cohort using fatty meal hepatobiliary scintigraphy[J]. Indian J Nucl Med, 2025, 40(4): 204–210. doi:10.4103/ijnm.ijnm_24_25.
- [64] 张洪科, 刘学民, 曹振杰, 等. 腹腔镜胆肠吻合与手工吻合临床运用比较: 单中心病例对照研究[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2023, 30(10):1188–1192. doi:10.7507/1007-9424.202308059.
- Zhang HK, Liu XM, Cao ZJ, et al. Clinical comparison of laparoscopic magnetic compression cholangiojejunostomy to laparoscopic hand-sutured cholangiojejunostomy: single center case-control study[J]. Chinese Journal of Bases and Clinics in General Surgery, 2023, 30(10): 1188–1192. doi: 10.7507/1007-9424.202308059.
- [65] Primavesi F, Maglione M, Cipriani F, et al. E-AHPBA-ESSO-ESSR Innsbruck consensus guidelines for preoperative liver function assessment before hepatectomy[J]. Br J Surg, 2023, 110(10):1331–1347. doi:10.1093/bjs/znad233.
- [66] European Association for the Study of the Liver. EASL Clinical Practice Guidelines: Drug-induced liver injury[J]. J Hepatol, 2019, 70(6):1222–1261. doi:10.1016/j.jhep.2019.02.014.
- [67] Lin EY, Odisio BC, Pal K, et al. Predicting clinical success of CT-based functional drained liver volume assessment in malignant biliary obstruction[J]. Radiol Imaging Cancer, 2025, 7(5):e250080. doi:10.1148/rycan.250080.
- [68] Wang X, Bai Y, Chai N, et al. Chinese national clinical practice guideline on diagnosis and treatment of biliary tract cancers[J]. Chin Med J, 2024, 137(19): 2272–2293. doi: 10.1097/CM9.0000000000003258.
- [69] Joliat GR, Kobayashi K, Hasegawa K, et al. Guidelines for perioperative care for liver surgery: enhanced recovery after surgery (ERAS) society recommendations 2022[J]. World J Surg, 2023, 47(1):11–34. doi:10.1007/s00268-022-06732-5.

(本文编辑 熊杨)

本文引用格式: 吴涛, 本田五郎, 黄洁. 肝胆胰外科器官功能保留的范式转变: 从解剖导向到功能导向的理论与实践[J]. 中国普通外科杂志, 2026, 35(7):1299–1311. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260211

Cite this article as: Wu T, Goro HONDA, Huang J. Paradigm shift in organ function preservation in hepatopancreatobiliary surgery: from anatomy-oriented to function-oriented strategies[J]. Chin J Gen Surg, 2026, 35(7):1299–1311. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260211