



评述

动态流域理论——肝脏结构功能学的概念与实践

刘荣^{1*}, 刘渠^{1,2}, 汪洋¹, 张修平¹, 李梦阳¹, 张卓越¹, 王斐¹, 张恭¹

1. 解放军总医院第一医学中心肝胆胰外科医学部, 北京 100853

2. 解放军总医院第三医学中心器官移植科, 北京 100039

* 联系人, E-mail: liurong301@126.com

收稿日期: 2023-11-30; 接受日期: 2024-02-25; 网络版发表日期: 2024-08-08

摘要 目前临床上普遍采用的肝脏解剖方法是“Couinaud八段法”, 但是在临床中经常会遇到传统肝段解剖法无法解释的现象. 研究者在临床实践的基础上, 提出肝脏的动态流域理论, 即: (i) 肝脏内管道呈相互交通的网络状分布结构; (ii) 在正常情况下, 肝叶或段血流供应和回流呈相对独立又相互联系的平衡状态; (iii) 病理条件下, 网络交通或新生血管可以替代受损血管来维持肝脏功能. 动态流域理论能够解释肝动脉、肝静脉和门静脉的交通支代偿性再通, 以及缺血肝脏恢复血供这些临床现象. 通过大鼠部分入肝及出肝血流阻断模型, 研究者进一步证实肝脏缺血和淤血能够通过血管交通支的开放来缓解. 在动态流域理论的指导下, 研究者提出适时分合控血技术、肿瘤靶域切除技术、门静脉的分流补偿技术以及入肝血流的限流技术. 动态流域理论是对传统肝脏解剖学的发展和补充, 在该理论指导下衍生出的多种手术技术, 有望提高肝脏手术的安全性和彻底性, 使患者获得最优的治疗结果.

关键词 肝脏解剖, 解剖性肝切除, 动态流域, 结构功能, 靶域切除

解剖学的发展推动外科的进步, 外科的进步也促进解剖学的发展. 人类对于肝脏解剖最早的探索始于15世纪末, 那时主要是从形态学上研究肝脏的外部形态, 并没有涉及到肝内解剖及血管胆管解剖. 1954年, 法国科学家Couinaud^[1]根据门静脉左右支的次级属支分布, 提出“Couinaud八段法”. “Couinaud八段法”后来经过几次校正, 目前成为接受度最广泛的肝脏分段法. 1986年日本Takasaki^[2]提出锥形单元的分段法, 将肝段分为更小的锥形单元, 每个锥形单元的基底均位于肝脏表面, 尖部均朝向肝门, 是可安全手术切除的最小肝脏单元.

随着肝脏解剖学的发展, 肝脏外科也由非解剖性肝切除向解剖性肝切除转变. Makuuchi等人^[3]提出解剖性肝切除, 并首先使用术中超声引导下精细肝蒂解剖和肝段亚甲蓝染色等方法实行解剖性肝切除. 随着对肝内管道分布认识的日益加深, 出现超声引导下门静脉染色、Glisson 鞘外解剖, 吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)荧光显影下肝段切除和循肝静脉切除等一系列解剖性肝切除的方法^[4-8]. 然而解剖性肝切除能否给患者带来显著的生存获益还存在争议, 尚需大规模前瞻性临床研究进一步探索^[9-12].

引用格式: 刘荣, 刘渠, 汪洋, 等. 动态流域理论——肝脏结构功能学的概念与实践. 中国科学: 生命科学, 2025, 55: 90-97

Liu R, Liu Q, Wang Y, et al. Dynamic watershed theory: concept and practice of liver structure and function (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2025, 55: 90-97, doi: 10.1360/SSV-2023-0137

1 动态流域理论

尽管肝段解剖学受到学术界的普遍认可,但是它是建立静止的尸体解剖的基础上,在临床中外科医生经常会遇到传统肝段解剖法无法解释的现象.考虑到肝脏是一个动态变化的整体,外科医生不能忽略肝段与肝段之间的相互联系.经过大量的临床实践及经验总结,研究者认为可以将肝脏内的血管及血流可以类比成流域中的河流.在正常状态下,某一流域内的肝组织由周边的多只肝动脉及门静脉分支共同供血,并通过周边的多条肝静脉实现回流^[13~15].当流域内某只或某几只血管出现阻塞、离断的情况下,断流流域内的肝组织呈现相应的缺血或瘀血状态,但在度过一定的时间窗后,流域内的网络交通支和/或新生血管将为此处肝组织提供额外的血供或流出道,肝脏血流将达到一个新的平衡状态.

1.1 概念

在此基础上,研究者提出肝脏的动态流域理论^[16],即:(i) 肝脏内管道呈相互交通的网络状分布结构;(ii) 在正常情况下,肝叶或段血流供应和回流呈相对独立又相互联系的平衡状态;(iii) 在病态或手术干预使血供或回流失衡后,肝脏为维护自身功能,可以借助网络交通支和/或新生血管达到新的动态平衡状态,从而改变其解剖结构.

1.2 特点

肝脏动态流域理论在肝段解剖学的基础上,引入动态和流域的概念,阐述肝脏内的血管及血流可变的分布状态,描述在疾病、手术等外界因素的影响下,为维持肝脏功能,肝脏流域和解剖结构可以改变的现象.肝脏动态流域理论的特点在于:(i) 是基于肝脏功能和结构相互联系的理论^[17];(ii) 以动态血流变化为基础,而不是固定静止的尸体解剖;(iii) 认为肝内管道间呈联系紧密的融合网络,而不是孤立的;(iv) 为维持肝脏功能,其血管解剖分布是可以改变的.

2 临床验证

2.1 动脉再通

理论上来讲肝动脉结扎或者栓塞以后,远端肝脏

组织产生缺氧诱导因子,同时释放多种炎症因子,在多种机制介导下促进动脉内皮新生和移行,为肝动脉的再通打下基础^[18].本研究在临床实践中也观察到这种肝动脉的代偿再通的现象.如图1A所示,患者因术后左肝动脉出血,经介入行左肝动脉的完全栓塞,之后患者因为再次出血行肝动脉造影术,术中发现左肝动脉远端血管有充盈的造影剂,左肝远端动脉与右肝动脉之间形成细交通支.图1B所示的患者术中离断右肝动脉,术后行肝动脉造影,提示右肝动脉远端区域恢复血供,右肝远端动脉的血供也是来自于左肝动脉的交通支形成.以上案例说明左右肝动脉主干的离断,肝动脉依然可以通过交通支来实现代偿.

2.2 静脉回流再通

肝切除术中经常会发现肿瘤侵犯肝静脉主干的情况,如果仅按所在肝段来切除肿瘤,靠近肝静脉的切缘仍难以保证.为达到满意的切缘,研究者通常实施肿瘤切除联合肝静脉切除.肝静脉切除后会伴随着相应肝组织的回流障碍,出现肝脏的淤血,但随着时间的发展,术中发现剩余肝脏的淤血逐渐缓解,这可能和潜在的静脉回流交通支的开放有关(图2).Makdissi等人^[19]报道肿瘤同时侵犯肝右静脉和肝中静脉根部的时候,行S7/S8/S4a段联合肝右静脉/肝中静脉根部切除的术式,研究认为残肝可以通过右后下及左肝静脉回流,即便是无右后下静脉的情况下,肝脏也能够通过左肝静脉回流完全代偿.然而,静脉回流的代偿并不是无止境的,Miyata等人^[20]报道22例肝中静脉切除未进行重建的患者中,3例发生术后肝衰竭.因此,术前明确肝静脉分型,合理地进行动态流域理论指导下的切除才能降低术后淤血的发生.

此外,学者们在继发性肝静脉回流障碍形成布-加综合征以及肝包虫病灶压迫第二肝门的患者中也发现肝静脉间存在代偿的交通支,能够将淤血肝脏血流从正常的肝静脉回流至下腔静脉,从而实现淤血肝脏的代偿与分流.Torzilli等人^[21]报道在20例肿瘤位于肝静脉腔静脉汇合处的肝癌患者中术中超声发现有16例患者肝静脉之间存在交通支.Gai等人^[22]也通过超声发现布加综合征患者存在多种形式肝静脉交通支.

2.3 门静脉交通网络

与肝动脉类似,左右半肝的门静脉之间也会存

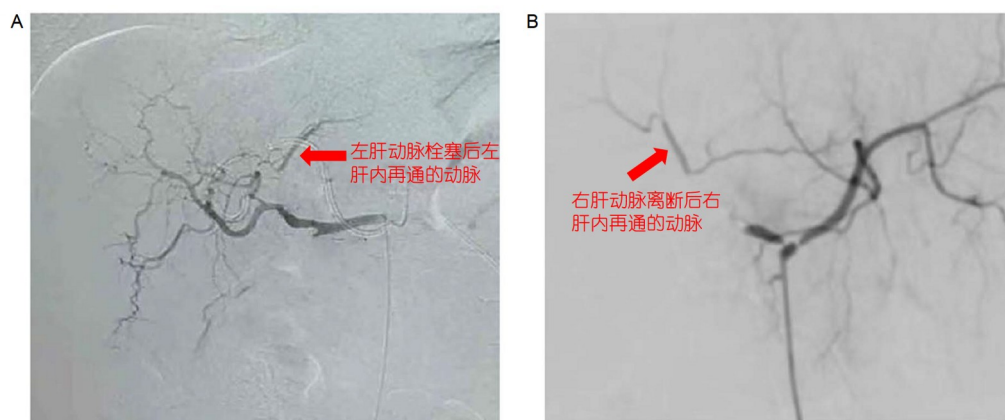


图 1 动脉再通. A: 左肝动脉栓塞后左肝内再通的动脉; B: 右肝动脉离断后右肝内再通的动脉

Figure 1 Arterial recanalization. A: Left hepatic artery recanalized after left hepatic artery embolization; B: right hepatic artery recanalized after right hepatic artery dissection

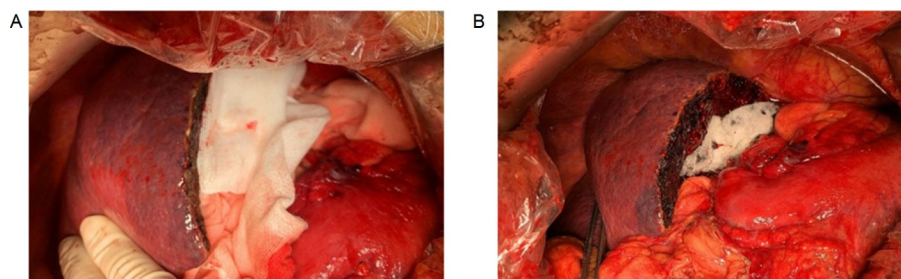


图 2 静脉回流再通. A: 中肝静脉离断后肝脏淤血; B: 中肝静脉回流再通

Figure 2 Venous recanalization. A: Liver congestion after middle hepatic vein dissection; B: middle hepatic venous recanalization

在潜在交通支, 在一侧门静脉栓塞或离断后, 另一侧的门静脉仍然会通过潜在交通支的开放给切除侧的肝组织供血. 联合肝脏分割和门静脉结扎的分阶段肝切除术(associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy, ALPPS)能够促进残肝体积增大就是典型的例子^[23]. 有研究表明, 与门静脉栓塞相比, ALPPS术后一周剩余肝脏体积能够增加40%~160%, 显著提高手术切除率^[24,25]. ALPPS促进剩余肝脏体积明显增大的机制可能在于除阻断切除侧肝脏的门静脉血, 通过离断肝实质也能够去除肝脏之间门静脉交通支对切除侧肝脏的供血, 使门静脉血流更多的供应保留侧肝组织, 进而促进其增生.

2.4 缺血肝脏恢复血供

半肝血流阻断仅阻断肿瘤所在半肝的肝动脉及门

静脉血流, 保留对侧半肝的正常入肝血流, 可有效控制术中出血, 并减少保留侧肝脏的缺血再灌注损伤^[26]. 研究者发现在半肝血流阻断过程中常常发现切除侧肝脏的缺血线会随着时间的推移而变得模糊, 这就表明离断切除侧肝蒂的方法并不能完全阻断其入肝血流. 根据动态流域学说理论, 肝脏内血液的流入和流出, 会根据周围循环的血流情况适时变化. 肝脏切除侧的入肝血流被阻断后, 随着时间的推移, 保留侧的入肝血流会通过潜在交通支进入切除侧肝脏, 在切除过程中表现为缺血线模糊、推移, 如果用ICG荧光导航, 则能够看到缺血肝脏的荧光显影. 研究者还发现离断供血肝蒂的肝组织, 在随访过程中仍能存活, 没有出现缺血、萎缩、坏死的现象. 这种现象Couinaud肝脏分段理论无法解释, 而动态流域理论则认为通过缺血的肝段可以通过交通支或新生血管, 来维持缺血区域肝脏的血液供应.

3 对肝脏外科的影响

3.1 适时分合控血技术

慢性肝病的患者接受长时间的肝脏血流阻断后有出现肝功能损害甚至肝衰的可能。基于动态流域学说,研究者提出适时分合控血技术,其核心是强调控制各肝段区域间交汇带内的血流。“适时”即个体化选择各种控血手段,针对不同患者病情、不同术式,单独或联合应用全入肝血流阻断、解剖性肝段/肝叶血流阻断、出肝血流控制/阻断等控血技术^[14]。适时分合控血技术能够有效控制肝段及肝叶间交汇带血流,让术野更加“干净”的同时,能够避免全入肝血流阻断带来的缺血再灌注损伤。以肝脏4/5/8段切除为例,当切开左侧肝组织时选择性阻断左半肝的入肝血流,而非行全肝的Pringle阻断;当切开右侧肝组织时则选择性阻断右侧半肝血流,从而避免全肝血流阻断,减轻缺血再灌注损伤。适时分合控血技术适用于开腹、腹腔镜和机器人肝脏切除术,有较好的临床应用价值,但该技术的解剖学基础仍待相关临床试验和动物实验验证。

3.2 靶域切除

在动态流域理论指导下,研究者提出肝脏恶性肿瘤的靶域切除技术^[15],该技术有别于解剖性或非解剖性肝切除,不强调按照人为设定的肝段解剖进行切除,而是以病灶和可能存在浸润和转移流域(动脉、门静脉、静脉、胆管、淋巴、神经)为导向,结合肝脏恶性肿瘤的生物学特性,个体化决定手术切除靶域范围。靶域切除不再以肝段/叶为切除目标,而是以肿瘤区域为切除目标,在切除过程中更加注重肝脏的结构与功能,强调在保证肿瘤根治性切除的同时保留足够的正常肝组织,以维持人体正常生理功能。当肿瘤位于肝段交界处或临近主要的肝静脉,往往难以保证充足的切缘,靶域切除技术选择联合肝静脉切除的方法,以确保肿瘤的完整切除,同时尽可能地保留肝静脉引流区的肝实质,以提高手术的安全性^[27]。

按照动态流域理论,研究者将肝脏分为L区、M区和R区三大区域(图3),其中L区包括1, 2, 3, 4, 5, 8段, M区包括1, 4, 5, 8段, R区包括1, 4, 5, 6, 7, 8段。根据术中需要离断入肝及出肝血管的数量将手术分为I~IV级,其中:

I级手术不需要离断入肝及出肝的1级血管,

II级手术不需要离断入肝的1级血管,但要联合切除1~2支出肝的肝静脉,

III级手术需要离断1侧入肝血管及1支出肝的肝静脉,

IV级手术需要离断1侧入肝血管及2支出肝的肝静脉。

具体手术分类所对应的术式如下:

L区:

I: 局部切除、肝段切除、左外叶切除、左内叶切除、右前叶切除

II: 2, 4, 8段联合肝静脉切除、4/5/8段切除、左内叶及右前叶联合肝静脉切除

III: 左半肝切除

IV: 左半肝联合中肝静脉切除、左三叶切除

M区:

I: 局部切除、肝段切除、左内叶切除、右前叶切除

II: 4, 8段联合肝静脉切除、4/5/8段切除、左内叶、右前叶联合肝静脉切除

R区:

I: 局部切除、肝段切除、右后叶切除、右前叶切除、左内叶切除

II: 4, 7, 8段联合肝静脉切除、4/5/8段切除、左内叶、右前叶、右后叶联合肝静脉切除

III: 右半肝切除

IV: 右半肝联合中肝静脉切除、右三叶切除

按照动态流域学说建立的肝脏分区及手术分级方法更加关注需要离断入肝及出肝的1级血管的数量,充分利用保留的入肝及出肝血管与剩余肝组织之间形成的代偿来保留尽可能多的肝组织。传统的IMM和IWATE肝脏手术难度评分系统将肿瘤部位、大小、切除范围作为评分的重要指标,而并没有将是否要行主要血管的切除作为评分指标。在临床实践中,肿瘤与血管的关系,以及是否涉及主要的血管切除是影响手术难度的重要因素,该方法将其作为手术分级的关键因素是对既往手术难度评分的补充,其合理性和有效性还需要进一步的临床研究予以证实。

3.3 分流补偿

分流补偿是无法实现肝动脉重建时,为防止切除动脉后的肝脏功能衰竭,把动脉的血流分流到门静脉

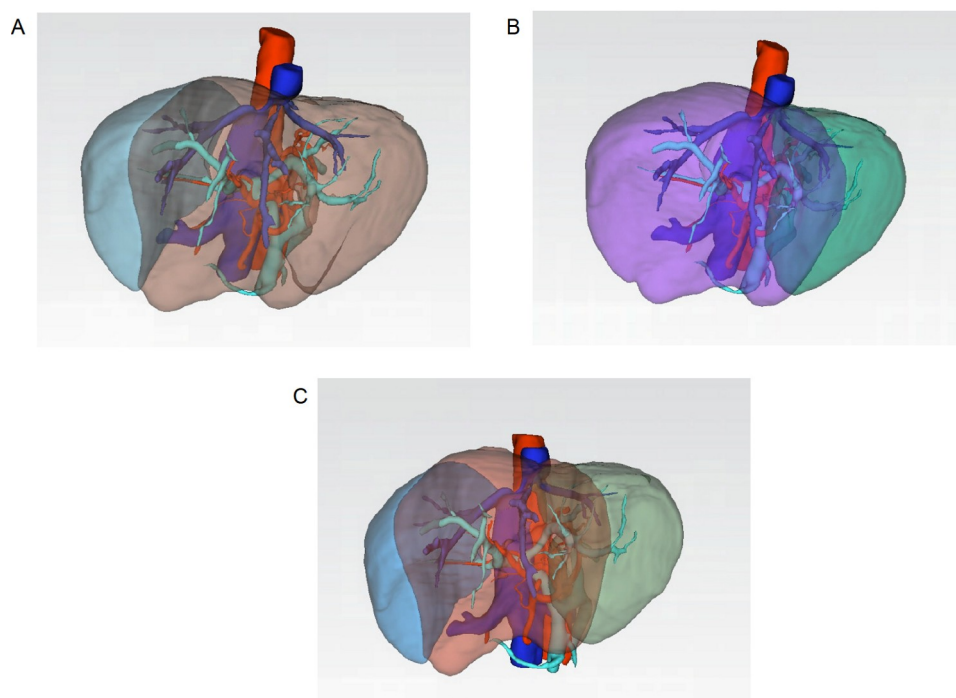


图3 肝脏流域分区. A: L区: 左三叶; B: R区: 右三叶; C: M区: 中肝叶

Figure 3 Liver watershed partitioning. A: L region: left trisegment of the liver; B: R region: right trisegment of the liver; C: M region: middle hepatic lobe.

中, 可用于补偿肝脏流域供血不足, 使肝细胞代谢、肝功能及肝储备功能有所改善. Iseki等人^[28]于1992年首次报道缺失肝动脉肝脏中的分流补偿技术. 在国内, 黄志强院士对于分流补偿术在肝门部胆管癌和肝移植术后的应用进行进一步探索和研究^[29]. 陈永亮课题组^[30]研究发现, 在梗阻性黄疸的动物模型中实行分流补偿术的肝脏功能和结构的恢复要明显快于非分流补偿组. Nardo等人^[31]研究也表明, 在急性肝衰竭的模型中分流补偿组的存活率要远远高于非分流补偿组. 然而, 受限于适应症、手术技术、围手术期管理等各种因素, 分流补偿技术的应用范围还有所受限, 分流补偿的远期效果还缺乏大样本的临床研究.

3.4 限流技术

小肝综合征是由于剩余肝脏体积没有达到人体需求, 入肝血流过度供养小体积肝脏, 使肝脏急速肿胀, 最终发展为肝功能衰竭^[32]. 肝脏血流动力学是小肝综合征发生、发展过程中的重要因素, 主要包括门静脉压力过高和门静脉超灌注. 动态流域理论认为控制并限流剩余肝脏的入肝的门静脉血流, 能够降低门静脉

压力, 从而降低术后小肝综合征的发生率. 多项研究也证明控制入肝血流可以减少过高血流量对肝的直接损伤. Sato等人^[33]研究报告表明, 在扩大肝切除手术中同时进行脾动脉结扎, 可通过门静脉限流来降低患者围手术期的并发症发生率. Kohler等人^[34]采用聚四氟乙烯止血带捆扎猪门静脉, 限制门静脉口径. 结果显示, 该方法可将门静脉血流量降低至基线水平的70%, 并改善扩大肝切除术后肝损伤指标. Boillot等人^[35]最早于2002年尝试进行肠系膜上静脉与上腔静脉吻合, 通过分流的方式改善术后移植物的生存状况. 多项研究也表明通过生长抑素、列腺素E1可降低门静脉压力梯度预防小肝综合征^[36-39].

4 展望

结合临床中与肝段解剖学相悖的现象, 参照河流域的特点, 纳入时间这个第四维的概念, 研究者提出肝脏动态流域的新理论. 该理论强调肝脏内部血管网络化及肝脏结构功能动态平衡的特点, 使研究者们能够更深入地解肝血流网络化及互联性在生理和病

理条件下的动态特征, 能够解释目前临床中难以理解的现象. 同时, 在该理论的指导下衍生出的多种手术技术, 对目前肝脏疾病的诊治模式进行补充和发展,

有望提高肝脏手术的安全性和彻底性, 使患者获得最优的治疗结果.

参考文献

- Couinaud C. Anatomic principles of left and right regulated hepatectomy: technics. *J Chir (Paris)*, 1954, 70: 933–966
- Takasaki K. Glissonean pedicle transection method for hepatic resection: a new concept of liver segmentation. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 1998, 5: 286–291
- Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S, et al. Four new hepatectomy procedures for resection of the right hepatic vein and preservation of the inferior right hepatic vein. *Surg Gynecol Obstet*, 1987, 164: 68–72
- Cai S W, Yang S Z, Lv W P, et al. Sustained methylene blue staining to guide anatomic hepatectomy for hepatocellular carcinoma: initial experience and technical details. *Surgery*, 2015, 158: 121–127
- Giordano M, Lopez-Ben S, Codina-Barreras A, et al. Extra-Glissonian approach in liver resection. *HPB*, 2010, 12: 94–100
- Rotellar F, Pardo F, Benito A, et al. A novel extra-glissonian approach for totally laparoscopic left hepatectomy. *Surg Endosc*, 2012, 26: 2617–2622
- Liu F, Wang H, Ma W, et al. Short- and long-term outcomes of indocyanine green fluorescence navigation- versus conventional-laparoscopic hepatectomy for hepatocellular carcinoma: a propensity score-matched, retrospective, cohort study. *Ann Surg Oncol*, 2023, 30: 1991–2002
- Nakano Y, Abe Y, Kitago M, et al. Extrahepatic approach for taping the common trunk of the middle and left hepatic veins or the left hepatic vein alone in laparoscopic hepatectomy (with videos). *J Hepato Biliary Pancreat*, 2023, 30: 192–201
- Zhang X P, Xu S, Lin Z Y, et al. Significance of anatomical resection and resection margin status in patients with HBV-related hepatocellular carcinoma and microvascular invasion: a multicenter propensity score-matched study. *Int J Surg*, 2023, 109: 679–688
- Dai X, Xiang Z, Wang Q, et al. Oncological outcomes of anatomic versus non-anatomic resections for small hepatocellular carcinoma: systematic review and meta-analysis of propensity-score matched studies. *World J Surg Onc*, 2022, 20: 299
- Moris D, Tsilimigras D I, Kostakis I D, et al. Anatomic versus non-anatomic resection for hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Surg Oncol*, 2018, 44: 927–938
- Su C M, Chou C C, Yang T H, et al. Comparison of anatomic and non-anatomic resections for very early-stage hepatocellular carcinoma: the importance of surgical resection margin width in non-anatomic resection. *Surg Oncol*, 2021, 36: 15–22
- Liu R, Zhao G D. Liver anatomy: from trunk theory under static cadaver anatomy to watershed theory under clinical potential morphology (in Chinese). *Chin J Laparosc Surg (Electron Ed)*, 2018, 11: 257–260. [刘荣, 赵国栋. 肝脏解剖: 从尸体静态解剖学下的树干理论到临床潜能形态学下的流域学说. *中华腔镜外科杂志(电子版)*, 2018, 11: 257–260]
- Zhao G D, Ma B, Liu R. A new blood controlling concept based on the dynamic liver blood watershed theory: cross interface blood control maneuver (in Chinese). *Natl Med J China*, 2021, 101: 3261–3265 [赵国栋, 马奔, 刘荣. 肝脏流域学说下的控血新理念: 适时分合肝脏控血技术. *中华医学杂志*, 2021, 101: 3261–3265]
- Liu R, Wang Z Z, Wang Z H, et al. Liver dynamic watershed theory and target-territory resection techniques (in Chinese). *Acad J Chin PLA Med Sch*, 2023, 44: 1–5 [刘荣, 王子政, 王兆海, 等. 肝脏动态流域学说与恶性肿瘤靶域切除技术. *解放军医学院学报*, 2023, 44: 1–5]
- Liu R, Wang Y, Zhang X P. Revisiting human liver anatomy: dynamic watershed theory. *Hepatobil Surg Nutr*, 2021, 10: 139–141
- Zhou Y. Social structure from construction to deconstruction: tend towards the struc-functionalism, structuralism, and post-structuralism (in Chinese). *Sociol Res*, 2000, 3:55–66 [周怡. 社会结构: 由“形构”到“解构”——结构功能主义、结构主义和后结构主义理论之走向. *社会学研究*, 2000, 3: 55–66]
- Kim Y, Park Y N, Park C. Increased proliferation activities of vascular endothelial cells and tumour cells in residual hepatocellular carcinoma following transcatheter arterial embolization. *Histopathol*, 2001, 38: 160–166
- Makdissi F F, Kruger J A P, Jeismann V B, et al. Feasibility of right upper transversal hepatectomy in the absence of an inferior right hepatic vein: new insights regarding this complex procedure. *Case Rep Surg*, 2021, 1–10
- Miyata A, Sakamoto Y, Yamamoto S, et al. Aggressive hemihepatectomy combined with resection and reconstruction of middle hepatic vein for

- intrahepatic cholangiocarcinoma. [Ann Surg Oncol](#), 2016, 23: 494–500
- 21 Torzilli G, Procopio F, Viganò L, et al. Hepatic vein management in a parenchyma-sparing policy for resecting colorectal liver metastases at the caval confluence. [Surgery](#), 2018, 163: 277–284
- 22 Gai Y H, Cai S F, Guo W B, et al. Sonographic classification of draining pathways of obstructed hepatic veins in Budd-Chiari syndrome. [J Clin Ultrasound](#), 2014, 42: 134–142
- 23 de Santibañes E, Clavien P A. Playing Play-Doh to prevent postoperative liver failure. [Ann Surg](#), 2012, 255: 415–417
- 24 Chen H, Wang X, Zhu W, et al. Application of associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy for initially unresectable hepatocellular carcinoma. [BMC Surg](#), 2022, 22: 407
- 25 Tomida H, Notake T, Shimizu A, et al. Rescue percutaneous transhepatic portal vein embolization after failed associated liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy in a patient with multiple liver metastases of rectal cancer: a case report. [surg case rep](#), 2022, 8: 132
- 26 Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S. Ultrasonically guided subsegmentectomy. *Surgery Gynecol Obstet*, 1985, 16: 346–50
- 27 Liu R, Liu Q. Hepato-pancreato-biliary surgery should strive to achieve the “Four Standards” (in Chinese). *Natl Med J China*, 2022, 102: 1323–1325 [刘荣, 刘渠. 肝胆胰外科应努力达到“四标”. *中华医学杂志*, 2022, 102: 1323–1325]
- 28 Iseki J, Touyama K, Noie T, et al. Partial portal arterialization for the prevention of massive liver necrosis following extended pancreatobiliary surgery: experience of two cases. [Surg Today](#), 1992, 22: 568–571
- 29 Li W G, Chen Y L, Chen J X, et al. Portal venous arterialization resulting in increased portal inflow and portal vein wall thickness in rats. [World J Gastroenterol](#), 2008, 14: 6681
- 30 Chen Y, Li W, Huang Z, et al. Effects of portal venous arterialization on acute occlusion of hepatic artery in rats. [Chin Med J](#), 2008, 121: 1302–1306
- 31 Nardo B, Vaccarisi S, Pellegrino V, et al. Extracorporeal portal vein arterialization in man after extended hepatectomy to prevent acute liver failure: a case report. [Transplant Proc](#), 2011, 43: 1193–1195
- 32 Chen Y, Liu Q, Liu R. Management of small-for-size syndrome under guidance of liver dynamic watershed theor (in Chinese), *Acad J Chin PLA Med Sch*, 2022, 43: 1–5 [陈洋, 刘渠, 刘荣. 流域学说指导下的小肝综合征处置. *解放军医学院学报*, 2022, 43: 1–5]
- 33 Sato Y, Kobayashi T, Nakatsuka H, et al. Splenic arterial ligation prevents liver injury after a major hepatectomy by a reduction of surplus portal hypertension in hepatocellular carcinoma patients with cirrhosis. [Hepatogastroenterology](#), 2001, 48: 831–835
- 34 Kohler A, Moller P W, Frey S, et al. Portal hyperperfusion after major liver resection and associated sinusoidal damage is a therapeutic target to protect the remnant liver. [Am J Physiol Gastrointestinal Liver Physiol](#), 2019, 317: G264–G274
- 35 Boillot O, Delafosse B, Méchet I, et al. Small-for-size partial liver graft in an adult recipient; a new transplant technique. [Lancet](#), 2002, 359: 406–407
- 36 Onoe T, Tanaka Y, Ide K, et al. Attenuation of portal hypertension by continuous portal infusion of PGE1 and immunologic impact in adult-to-adult living-donor liver transplantation. [Transplantation](#), 2013, 95: 1521–1527
- 37 Rammohan A, Rela M, Kim D S, et al. Does modification of portal pressure and flow enhance recovery of the recipient after living donor liver transplantation? A systematic review of literature and expert panel recommendations. [Clin Transplant](#), 2022, 36: e14657
- 38 Suehiro T, Shimada M, Kishikawa K, et al. Effect of intraportal infusion to improve small for size graft injury in living donor adult liver transplantation. [Transplant Int](#), 2005, 18: 923–928
- 39 Di Domenico D S, Andorno. E, Varotti. G, Valente. U. Hepatic flow optimization in full right split liver transplantation. [World J Gastrointest Surg](#), 2011, 3: 110

Dynamic watershed theory: concept and practice of liver structure and function

LIU Rong^{1*}, LIU Qu^{1,2}, WANG Yang¹, ZHANG XiuPing¹, LI MengYang¹, ZHANG ZhuoChao¹,
WANG Fei¹ & ZHANG Gong¹

¹*Faculty of Hepatopancreatobiliary Surgery, the First Medical Center of Chinese People's Liberation Army (PLA) General Hospital, Beijing 100853, China*

²*Organ Transplantation Department, the Three Medical Center of Chinese People's Liberation Army (PLA) General Hospital, Beijing 100039, China*

* Corresponding author, E-mail: liurong301@126.com

Currently, the Couinaud method is widely used in liver resection; however, certain clinical phenomena that cannot be explained by the traditional Couinaud method often occur. Based on clinical practice, the authors propose the dynamic watershed theory, which states the following: (i) The distribution structure of the intrahepatic ducts is a network. (ii) Normally, the blood supply and reflux of the liver lobe or segment are relatively independent and interrelated. (iii) Under pathological conditions, network traffic or new blood vessels can replace damaged blood vessels to maintain liver function. The dynamic watershed theory can explain clinical phenomena such as compensatory recanalization of hepatic arteries, hepatic and portal veins, and restoration of blood supply to the ischemic liver. Furthermore, hepatic ischemia and congestion can be alleviated by opening vessel communication branches in a model of partial occlusion of blood flow in and out of the liver in rats. Under the guidance of the dynamic watershed theory, the authors propose techniques for the timely control of blood flow, tumor-target resection, shunt compensation of the portal vein, and liver flow limitation. The dynamic watershed theory was developed to complement the traditional liver anatomy, and various surgical techniques developed following this theory are expected to improve the safety and thoroughness of liver surgery and achieve the best treatment results.

liver anatomy, anatomic hepatectomy, dynamic drainage basin, structural function, target area resection

doi: [10.1360/SSV-2023-0137](https://doi.org/10.1360/SSV-2023-0137)