

• 综述 General review •

门静脉栓塞术的临床应用及研究进展

万俊呈, 周永杰, 余彩虹, 金超俏, 周逸柔, 瞿旭东

【摘要】 手术切除是治疗肝癌的重要方法, 术后残肝体积不足导致的肝衰竭是制约手术切除成功率的关键因素。门静脉栓塞术(portal vein embolization, PVE)通过栓塞门静脉以人为诱导肝脏体积增大, 为避免患者术后因肝衰竭而导致的死亡提供了理论支持。近年来, 针对 PVE 的局限性, 尤其是术后肝脏增长率不足等问题, 国内外专家在该领域进行了多项创新。因此, 该文通过总结 PVE 相关文献, 综述了其临床应用及研究进展。

【关键词】 肝脏肿瘤; 门静脉栓塞术; 剩余肝脏体积; 肝切除术; 切除后肝功能衰竭

中图分类号: R735.7 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2025)-005-0538-06

Clinical application and research progress of portal vein embolization WAN Juncheng, ZHOU Yongjie, YU Caihong, JIN Chaoqiao, ZHOU Yirou, QU Xudong. Department of Interventional Radiology, Affiliated Zhongshan Hospital of Fudan University; National Clinical Research Center for Radiation and Therapy; Shanghai Institution of Medical Imaging, Shanghai 200032, China

Corresponding author: QU Xudong, E-mail: qu.xudong@zs-hospital.sh.cn

【Abstract】 Surgical resection is an important method for treating liver cancer, and postoperative liver failure caused by insufficient liver remnant volume is a key factor limiting the success rate of surgical resection. The portal vein embolization (PVE), through artificially obstructing the portal vein, can induce liver volume enlargement, thus, providing theoretical support for preventing postoperative death due to liver failure. In recent years, many innovations and studies on the limitations of PVE, especially on the problem of postoperative insufficient growth rate of liver tissues, have been made by experts both at home and abroad. In view of this, this paper, through summarizing the relevant literature on PVE, makes a detailed review concerning the clinical application and research progress of PVE.

【Key words】 liver tumor; portal vein embolization; future liver remnant; hepatectomy; post hepatectomy liver failure

尽管, 近年来肝脏肿瘤综合治疗及中晚期患者的转化治疗取得了显著进展, 但是肝脏肿瘤的根治性切除仍是实现患者长期生存的重要手段^[1], 而切除残余肝脏体积(future liver remnant, FLR)是否充足是影响肝切除术后肝功能的重要因素, 切除后肝功能衰竭(post hepatectomy liver failure, PHLF)并导致患者死亡, 一直是治疗过程中面临的一大挑战^[2]。因此, 如何在彻底清除肿瘤的同时增加残余肝脏体积, 始终是肝脏外科和介入科研究的一个重

点课题。门静脉栓塞术(portal vein embolization, PVE)作为肝脏恶性肿瘤术前的的重要辅助措施, 因其微创性和安全性, 已得到较为广泛的应用^[3]。然而, 由于 FLR 增长较慢^[4]等原因, 常规 PVE 往往效果不佳, 约有 20% 以上的患者在等待增生期间因肿瘤进展或 FLR 增生不足而最终失去手术机会^[5]。因此, 近年来国内外的专家学者们对如何进一步改良 PVE 效果, 促进 PVE 术后肝脏体积增生, 进行了大量探索。

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2025.05.017

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC2411404)

作者单位: 200032 上海复旦大学附属中山医院介入治疗科, 国家放射与治疗临床研究中心, 上海市影像医学研究所

通信作者: 瞿旭东 E-mail: qu.xudong@zs-hospital.sh.cn

1 PVE 的起源

自 1986 年日本学者 Kinoshita 等^[6]率先开展 PVE 以来,该手术逐步被应用于准备肝大部分切除的患者,主要目的是预防因残余肝脏体积过小(FLR 不足)而导致的术后 PHLF。PVE 有着安全性高、并发症低,但增生速度较慢等特点。从 1986 年至今,介入科及肝脏外科医生在如何促进肝脏体积增生速度上进行了大量的研究。2012 年 Schnitzbauer 等^[7]开始了联合肝脏分隔和门静脉结扎的二步肝切除术(the associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy, ALPPS)的探索,相较于 PVE,ALPPS 具有较高的肝脏增生率,但其围手术期并发症发生率较 PVE 更高,主要为胆瘘、感染、肝功能衰竭等^[8]。因此,近年来随着经验的不断丰富及研究的不断深入,介入科医生对 PVE 进行了改良,以更有效地促进 FLR 的增生,同时降低并发症的发生率。

2 PVE 促进肝脏增生的机制

PVE 促进肝脏增生机制主要为血流动力学变化—细胞因子和生长因子的调节—肝脏实质细胞的再生和肝脏组织结构的建立。有学者使用彩色多普勒超声观察 PVE 前后门静脉血流改变^[9],发现 PVE 后栓塞侧门静脉的血流量明显减少,而肝动脉血流量及流速明显增加,非栓塞侧门静脉血流量则明显增加,肝动脉血流变化不明显,且这种改变一直持续到 PVE 后 3 周。Shimada 等^[10]认为,PVE 后对侧肝脏门静脉灌注增加等血流动力学改变与肝脏增生密切相关。门静脉血同时携带着各类营养物质和肝细胞生长调节因子,从而促进肝细胞的生长和调节,进一步促进肝脏再生。与此同时,体液内细胞因子和生长因子的调节也是重要的一环。多项研究^[11-14]发现,门静脉栓塞后非栓塞侧肝脏白细胞介素 6(IL-6)、肝脏转化生长因子- α (TGF- α)均明显升高,而在血清中肝细胞生长因子(HGF)显著增加。在动物实验中,非结扎侧肝脏中 HGF mRNA 和 DNA 合成迅速增加。同时 MMP-9、NF- κ B、IL-6、TGF- α 等分子在门静脉血流阻断后的调控中发挥了重要作用,激活了肝脏的再生过程^[15-17]。从信号通路上来讲,肝脏的再生涉及多种通路,包括 Wnt/ β -连环蛋白、Notch、TGF- β 、Hippo/Yap/Taz 和 AKT 通路。这些通路协调了转移发展和再生的复杂过程,包括上皮间充质转化、血管生成和细胞外基

质重塑^[18]。而在门静脉血流被阻断后,光镜下可以看到大量的有丝分裂细胞,同时非栓塞侧肝脏有丝分裂指数、线粒体数量及功能、DNA 合成均明显升高^[19]。

3 PVE 的改良及临床应用

PVE 通常面临残余肝脏体积增长缓慢及增生不足的问题。Wilms 等^[20]研究发现,PVE 后节段性门脉新侧支再通,是技术上成功的 PVE 后肝脏未能充分增大的原因之一,而 ALPPS 则没有侧支循环和再通,这可能解释了 ALPPS 相较于 PVE 更高的肝脏增生率。ALPPS 通过额外的步骤成功阻止了结扎和未结扎肝叶的新侧支形成。I 期 ALPPS 的实质横断也会产生创伤性刺激,这也可能是增生的原因之一^[21]。同时有研究认为,随着门静脉压力的增加,增强的剪应力会激发早期再生^[22]。因此,基于 PVE 的改良主要围绕调整栓塞剂材料、改变栓塞部位和优化栓塞技术等方面展开。此外,肝脏再生的抑制因素,包括胆道梗阻、糖尿病、营养不良、病毒感染也已成为临床医生关注的重要治疗影响因素^[23]。

3.1 PVE 的栓塞材料改良

随着技术的更新换代,栓塞剂材料也不断发展,包括碘油、无水乙醇、明胶海绵、纤维蛋白凝胶、N-丁基氰基丙烯酸酯(NBCA)、弹簧圈、聚乙烯醇聚合物(PVA)等^[24]。

有研究对比了 PVA 颗粒加弹簧圈组和 NBCA 加碘油组在 PVE 中的效果,发现虽然 2 组在主要并发症和住院时间方面相似,但 PVA 颗粒加弹簧圈组在手术中透视时间、总门静脉栓塞时间和静脉造影剂使用量均高于 NBCA 加碘油组。同时,NBCA 加碘油组比 PVA 颗粒加弹簧圈组产生更大的肝脏增生率,28 d 分别达到了 57% 和 37% 的比率;NBCA 加碘油组中,87% 的参与者在 PVE 后 14 d 达到了足够的肝脏生长以进行肝切除术,而在 PVA 加弹簧圈组只有 53% 达到了相同的目标。其他研究^[4]也证实了相似的结论。除此之外,另一项研究^[25]比较了弹簧圈 + PVA 颗粒与碘油 + 弹簧圈的效果,发现碘油 + 弹簧圈较弹簧圈 + PVA 颗粒可显著增加 PVE 后肝脏体积和增生程度,缩短手术时间,且 2 组的安全性无显著差异。因此,合理选择栓塞材料可以有效弥补 PVE 在 FLR 增生缓慢方面的不足。除了传统栓塞剂以外,近年来针对 PVE 研发

的新型栓塞剂,如基于离子液体的栓塞材料 LEAD^[26],有着可视化、靶向栓塞、抗菌性等特点,也为提升 PVE 效果提供了新的可能。

3.2 PVE 栓塞部位改良

3.2.1 末梢门静脉栓塞技术 (terminal branches portal vein embolization, TBPVE) 国内有学者于 2016 年提出了 TBPVE^[27-28],其主要方法是基于三维重建模型,制定拟穿刺的肝段门静脉,将组织胶和碘油乳化剂按 1:4 混合,先栓塞末梢门静脉,然后逐级栓塞直至左或右门静脉主干。研究认为,这种术式是通过类似 PVE 的操作方式,能够达到 ALPPS 彻底阻断两侧肝脏间门静脉系统交通支的效果,从而解决传统门静脉栓塞术增生较为缓慢的问题。在一项研究中显示,TBPVE 有着较好的肝脏增生率,150 例患者接受 TBPVE 后肝脏均在短期内迅速增生,第 7 天和第 14 天的 FLR 增生率分别为 56.2% 和 57.8%,达到了手术的要求。相较于 PVE, TBPVE 后 FLR 增生达到手术要求的成功率高;而相较于 ALPPS, TBPVE 的围手术期病死率仅为 1.9%,手术并发症发生率为 20.8%。虽然目前关于 TBPVE 的研究文献较少,但从这些回顾性研究来看, TBPVE 在肝脏术前准备中具有较大的应用前景。

3.2.2 肝静脉-门静脉联合栓塞术 (hepatic and portal vein embolization, HVE + PVE) 在栓塞门静脉的同时,进行肝静脉栓塞也被证实对于肝脏的 FLR 增加有着重要作用。HVE + PVE 可以分为 2 类:PVE 后肝静脉栓塞术和放射学同时性肝门静脉栓塞术,主要区别是在门静脉栓塞 FLR 增生不足之后进行肝静脉栓塞^[30-31],还是同时进行门静脉和肝静脉栓塞^[32]。关于后者,目前尚无统一的名称,不同的学者分别将其命名为 HVE + PVE^[33]、肝静脉剥夺术^[34]、双静脉栓塞术^[31]或放射学同时性门-肝静脉栓塞术^[35]。此外,HVE + PVE 也可依据是否扩大型进行区分,主要区别在于是否将肝右静脉和肝中静脉远端分支以及潜在的静脉-静脉侧支栓塞^[36]。

HVE + PVE 原理是对门静脉和肝静脉进行栓塞来产生更多的肝损伤^[37],从而诱导更高百分比的肝增生,增加 FLR。不少研究^[33-36,38-39]表明,HVE + PVE 与传统 PVE 具有相似的安全性,且其在 FLR 增生速度方面优于单纯 PVE。近年来,关于 HVE + PVE 的全球多中心临床试验——DRAGON 实验^[37,40]正在进行中,初步结果显示:总共纳入了

来自 7 个中心的 199 例患者,其中 39 例患者接受了 HVE + PVE,160 例患者仅接受了 PVE, HVE + PVE 的切除率明显高于单独 PVE (92% vs 68%; $P = 0.007$), HVE + PVE 组 3 年总生存率显著较高,单变量和多变量分析确定 HVE + PVE 是生存的独立预测因子。

HVE + PVE 主要操作方式:一般先栓塞门静脉,随后在肝静脉远端(距肝静脉与下腔静脉汇合处 10~15 mm)置入血管塞,必要时可控塞门静脉肝静脉的远端分支及侧支。但与门静脉栓塞不同,肝静脉栓塞是逆血流方向,且肝静脉近心端的直径大于远端,这使得肝静脉栓塞存在一定的栓塞材料移位风险,从而可能导致异位栓塞。此外,也有研究提示需要考虑栓塞综合征等并发症^[37]。

3.3 PVE 的栓塞技术及策略改良

3.3.1 反复可逆 PVE (repeated reversible portal vein embolization, RRPVE) RRPVE 首次在 2020 年被提出^[41],其主要基于可逆 PVE (reversible portal vein embolization, RPVE) 而提出的一种方法,该方法利用可吸收材料产生 RPVE,在此基础上栓塞剂吸收后重复栓塞,从而诱导显著的肝脏增生。RPVE 已分别在动物实验^[42]和临床研究^[43]上证实了其可行性。经过动物模型证明,RRPVE 有助于进一步促进肝脏增生,尤其适用于 FLR 较小且需要持续增生的患者^[41]。永久性 PVE 后肝脏再生的动力学包括在 2~3 周内快速初始肝脏增生,然后达到平台期^[44],此时非栓塞肝脏体积约达到其增生的 75%,而 RRPVE 提供了第二次机会。尽管 RRPVE 并没有解决 PVE 中 FLR 增生速度较慢的问题,且肿瘤在 RRPVE 多次手术期间可能仍会进展,但这一技术为难以提升 FLR 的患者提供了新的解决思路。

3.3.2 PVE 联合经导管肝动脉化疗栓塞术 (TACE) PVE 联合 TACE 是指在 PVE 的基础上同时行 TACE 治疗,以期达到控制病灶的效果,在等待增生期间控制肿瘤进展。肝癌患者多次重复 TACE 肿瘤病灶内仍在残存癌细胞的原因之一可能与未达到肝动脉和门静脉双重栓塞有关^[45]。而 PVE 治疗不仅可以增大非栓塞侧的肿瘤体积,也可进一步阻断肿瘤门静脉血液供应,延长肝动脉化疗栓塞的栓塞剂等药物局部停留时间,使栓塞区域内药物浓度明显提高,利于杀灭门静脉供血区域微小病灶。同时,PVE 治疗后栓塞侧门静脉血供明显减少,但在机体调节机制作用下会增加动脉血供,而肝

癌主要由肝动脉供血,因此 PVE 治疗后会增加肝癌肝动脉血供^[46]。由此可见,TACE 与 PVE 的联合使用具有互补作用,PVE 能增强 TACE 对肿瘤的疗效,而 TACE 则能阻断肝动脉供血,减少肝内动脉门静脉交通支,消除肝动脉缓冲效应,从而提高患侧的萎缩程度。研究表明,与单纯 PVE 相比,PVE 联合 TACE 在抑制肿瘤生长方面效果更为显著^[29,47-48],具体表现为 PVE 联合 TACE 无复发生率及总生存率均高于单纯 PVE 组^[48]。

3.3.3 经皮微波消融肝实质分隔联合门静脉栓塞计划性肝切除术(percutaneous microwave/radiofrequency ablation liver partition and portal vein embolization for planned hepatectomy, PAPEP) PAPEP 是 PVE 改良的术式中的一种,是对超声引导下微波消融技术的创新应用。PAPEP 将超声引导下经皮微波消融直接作用于肝脏,从而到达阻断左右半肝的交通支血流的效果。主要方法是:寻找肝实质离断切面,超声引导将微波消融针置于已确定肝实质离断面,采用多轴、多点扇形融合消融法分隔肝实质,同时行 PVE^[49]。PAPEP 术的优点是:术后在肝断面止血效果好、同时粘连较轻,便于后续切除手术的操作。虽然此类手术的队列研究^[50-52]较少,多为个案报告,但是大多数个案已取得显著效果,并获得较高的 FLR 增生率。有研究发现,PAPEP 能够取得与 ALPPS 相近的增长率和较低的并发症^[49]。然而,该技术也存在一定局限性:由于消融探针的“筷子效应”,只能完成规则性右三叶或半肝消融,对于门静脉交通支离断得不够完全。另有研究发现,在继发性肝脏肿瘤患者中消融后肝脏绝对体积平均增加约 6%^[53]。这说明了消融在 PAPEP 中除了能够分隔肝实质外,可能对 PVE 也具有协同作用。

3.3.4 门静脉栓塞联合放射性栓塞 门静脉栓塞联合放射性栓塞是指在经动脉放射性栓塞(transarterial radioembolization, TARE)后序贯采用 PVE。TARE 既往就已被报道过与肝脏的增生有关^[54-55],虽然其在诱导增生的效果上弱于 PVE。但近年来有研究发现,将 TARE 和 PVE 相联合后,TARE 后平均增生率为 30.4%,而序贯 PVE 后平均增生率为 37.4%^[56]。与接受 PVE 的患者相比,接受 TARE 序贯 PVE 的患者具有更高的增生比率和增生程度。但在该研究中患者数量较少,且从诊断到肝切除所需时间联合组较 PVE 长,因此仍需更完善的研究去证明 TARE 联合 PVE 在 FLR 增生

中的潜力。

3.4 围绕 PVE 的其他改良

随着 PVE 栓塞材料、技术、部位改良的同时,越来越多的学者开始关注患者自身因素对 FLR 增生的影响。有研究发现,PVE 术前胆道感染和碱性磷酸酶升高是 FLR 增生速度的影响因素^[57]。此外,肌肉减少症也被认为和 PVE 术后的 FLR 增生率不佳相关^[58]。但最近的研究表明,尽管肌肉减少症患者 PVE 术后的体积增生率不佳,但其功能增生率并没有受到显著影响^[59]。这些发现为围绕 PVE 的围手术期管理改进提供了新的视角。此外,既往有研究提出,通过术前干细胞增强 PVE 效果,且在多项临床试验及动物实验中得到验证^[60]。然而近年来相关研究较少,可能与其机制尚不明确,以及未能从机制上排除对肿瘤生长的影响有关。另有学者认为,在 PVE 术中应用三维可视化技术不仅能够精准判断门静脉血管的 3D 分型和走行,还能为评价 PVE 治疗后 FLR 增生效果提供准确的测量依据^[61]。

综上所述,PVE 已经在过去的研究中证明了其显著的优势,为原本无法手术的肝脏肿瘤患者创造了手术机会。尽管该技术仍存在一些不足,但通过技术的改良以及新材料的探索,这项技术将拥有更为广阔的发展前景。改良后的 PVE 有望与 TACE、免疫治疗及靶向药物联合应用,进一步提高切除率,更大程度地使肝脏肿瘤患者获益。

[参考文献]

- [1] Tong YF, Meng N, Chen MQ, et al. Maturity of associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy-derived liver regeneration in a rat model [J]. World J Gastroenterol, 2018, 24: 1107-1119.
- [2] 韩亚庆,丁宁宁,周丽,等. CTA 与 DSA 评估慢性肢体缺血性患者全球肢体解剖学分期系统分期的一致性分析[J]. 介入放射学杂志, 2024, 33: 300-303.
- [3] 宋晓科,李星悦,张志,等. ALPPS 与门静脉栓塞治疗未来剩余肝脏体积不足肝癌临床疗效的 Meta 分析[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30: 3340-3346.
- [4] 倪俊声,李曜,葛乃建,等. ALPPS 与采用不同栓塞材料 PVE 对肝再生及手术切除率影响研究[J]. 中国实用外科杂志, 2021, 41: 1043-1048, 1055.
- [5] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 原发性肝癌诊疗指南(2024 年版)[J]. 中华肝脏病杂志, 2024, 32: 581-630.
- [6] Kinoshita H, Sakai K, Hirohashi K, et al. Preoperative portal vein embolization for hepatocellular carcinoma [J]. World J Surg, 1986, 10: 803-808.
- [7] Schnitzbauer A, Lang S, Goessmann H, et al. Right portal vein

- ligation combined with in situ splitting induces rapid left lateral liver lobe hypertrophy enabling 2-staged extended right hepatic resection in small-for-size settings [J]. *Ann Surg*, 2012, 255: 405-414.
- [8] 洪德飞, 刘合春, 彭淑牖, 等. 联合肝脏离断和门静脉结扎二步肝切除术治疗肝硬化肝癌疗效分析(附 1 例报告)[J]. *中国实用外科杂志*, 2014; 739-743.
- [9] Kito Y, Nagino M, Nimura Y. Doppler sonography of hepatic arterial blood flow velocity after percutaneous transhepatic portal vein embolization[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2001, 176: 909-912.
- [10] Shimada R, Imamura H, Nakayama A, et al. Changes in blood flow and function of the liver after right portal vein embolization[J]. *Arch Surg*, 2002, 137: 1384-1388.
- [11] Kawai M, Naruse K, Komatsu S, et al. Mechanical stress-dependent secretion of interleukin 6 by endothelial cells after portal vein embolization; clinical and experimental studies[J]. *J Hepatol*, 2002, 37: 240-246.
- [12] Kusaka K, Imamura H, Tomiya T, et al. Expression of transforming growth factor- α and- β in hepatic lobes after hemihepatic portal vein embolization[J]. *Dig Dis Sci*, 2006, 51: 1404-1412.
- [13] Hayashi H, Beppu T, Sugita H, et al. Serum HGF and TGF- β 1 levels after right portal vein embolization[J]. *Hepatol Res*, 2010, 40: 311-317.
- [14] Uemura T, Miyazaki M, Hirai R, et al. Different expression of positive and negative regulators of hepatocyte growth in growing and shrinking hepatic lobes after portal vein branch ligation in rats[J]. *Int J Mol Med*, 2000, 5: 173-179.
- [15] 章世海, 储建, 杭化莲, 等. 80% 门静脉结扎后肝脏组织中 MMP-9 的表达与肝再生作用的相关性研究[J]. *现代生物医学进展*, 2011, 11: 1834-1837.
- [16] 代雪梅, 李可洲, 姚豫桐, 等. 极限门静脉结扎后增生肝脏组织中 NF- κ B 和 IL-6 表达变化的实验研究[J]. *重庆医科大学学报*, 2009, 34: 1366-1370.
- [17] 姚豫桐, 李可洲, 吴晓玲, 等. 转化生长因子 α 和 β 1 在极限门静脉结扎肝脏组织中的表达及其意义[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2010, 17: 719-724.
- [18] Riddiough GE, Jalal Q, Perini M, et al. Liver regeneration and liver metastasis[J]. *Semin Cancer Biol*, 2021, 71: 86-97.
- [19] Zou RH, Li AH, Han F, et al. Liver hypertrophy and accelerated growth of implanted tumors in nonembolized liver of rabbit after left portal vein embolization[J]. *J Surg Res*, 2012, 178: 255-263.
- [20] Wilms C, Mueller L, Lenk C, et al. Comparative study of portal vein embolization versus portal vein ligation for induction of hypertrophy of the future liver remnant using a mini-pig model [J]. *Ann Surg*, 2008, 247: 825-834.
- [21] Tanaka K, Matsuo K, Murakami T, et al. Associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy (ALPPS): short-term outcome, functional changes in the future liver remnant, and tumor growth activity[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2015, 41: 506-512.
- [22] Dhar DK, Mohammad GH, Vyas S, et al. A novel rat model of liver regeneration; possible role of cytokine induced neutrophil chemoattractant-1 in augmented liver regeneration [J]. *Ann Surg Innov Res*, 2015, 9: 11.
- [23] Roy BL, Dupre A, Gallon A, et al. Liver hypertrophy: underlying mechanisms and promoting procedures before major hepatectomy[J]. *J Visc Surg*, 2018, 155: 393-401.
- [24] Quenet F, Carrere S, Sgarbura O. Contribution of intraperitoneal chemotherapy in the treatment of colorectal peritoneal carcinoma. HIPEC, PIPAC, state of the art and future directions[J]. *Bulletin du Cancer*, 2024, 111: 285-290.
- [25] Wu B, Huang X, Ren Z, et al. Comparing iodized oil with polyvinyl alcohol for portal vein embolization in promoting liver remnant increase before partial hepatectomy[J]. *Asian J Surg*, 2024, 47: 874-879.
- [26] Cevik E, Albadawi H, Zhang Z, et al. Catheter-directed ionic liquid embolic agent for rapid portal vein embolization, segmentectomy, and bile duct ablation[J]. *Adv Mater*, 2024, 36: e2402570.
- [27] 彭淑牖, 黄从云, 李江涛, 等. 末梢门静脉栓塞术在计划性肝切除术中的应用初探[J]. *中华外科杂志*, 2016, 54: 664-668.
- [28] 彭淑牖, 黄从云, 王许安, 等. 末梢门静脉栓塞联合肝肿瘤动脉化疗栓塞 13 例报告[J]. *中华外科杂志*, 2017, 55: 655-660.
- [29] 彭淑牖, 黄从云, 王许安, 等. 末梢门静脉栓塞技术在余肝体积不足肝细胞癌中的应用价值[J]. *中华外科杂志*, 2021, 59: 829-835.
- [30] Balzan SM, Gava VG, Magalhaes MA, et al. Outflow modulation to target liver regeneration: something old, something new[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2014, 40: 140-143.
- [31] Le Roy B, Gagniee J, Chabrot P, et al. Non-lethal right liver atrophy after TIPS occlusion in a cirrhotic patient; introducing the hepatic biembolization[J]. *J Gastrointest Surg*, 2016, 20: 1671-1672.
- [32] Munene G, Parker RD, Larrigan J, et al. Sequential preoperative hepatic vein embolization after portal vein embolization for extended left hepatectomy in colorectal liver metastases[J]. *World J Surg Oncol*, 2013, 11: 134.
- [33] 王晓颖, 瞿旭东, 许剑民, 等. 肝静脉-门静脉联合栓塞术促进预留肝脏快速增生——结直肠癌肝转移转化切除新策略[J]. *中国实用外科杂志*, 2022, 42: 672-679.
- [34] Guiu B, Chevallier P, Denys A, et al. Simultaneous transhepatic portal and hepatic vein embolization before major hepatectomy; the liver venous deprivation technique[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26: 4259-4267.
- [35] Laurent C, Fernandez B, Marichez A, et al. Radiological simultaneous portohepatic vein embolization (RASPE) before major hepatectomy; a better way to optimize liver hypertrophy compared to portal vein embolization [J]. *Ann Surg*, 2020, 272: 199-205.
- [36] 王明宇, 梁英健, 尹兵, 等. 肝静脉剥夺术——残余肝脏不足时手术新思路[J]. *中国实用外科杂志*, 2020, 40: 102-105.

- [37] Heil J, Korenblik R, Heid F, et al. Preoperative portal vein or portal and hepatic vein embolization: DRAGON collaborative group analysis[J]. *Br J Surg*, 2021, 108:834-842.
- [38] 刘畅, 张晓赞, 金 湛, 等. 肝静脉系统栓堵术在第二阶段根治性肝癌切除术中的应用[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2019, 26:841-846.
- [39] Guiu B, Quenet F, Escal L, et al. Extended liver venous deprivation before major hepatectomy induces marked and very rapid increase in future liver remnant function[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27:3343-3352.
- [40] Korenblik R, Heil J, Smits J, et al. Liver regeneration after portal and hepatic vein embolization improves overall survival compared with portal vein embolization alone: mid-term survival analysis of the multicentre DRAGON 0 cohort[J]. *Br J Surg*, 2024, 111:znae087.
- [41] Gaillard M, Hornez E, Lecuelle B, et al. Liver regeneration and recanalization time course following repeated reversible portal vein embolization in swine[J]. *Eur Surg Res*, 2020, 61:62-71.
- [42] Lainas P, Boudechiche L, Osorio A, et al. Liver regeneration and recanalization time course following reversible portal vein embolization[J]. *J Hepatol*, 2008, 49:354-362.
- [43] Tranchart H, Catherine L, Maitre S, et al. Efficient liver regeneration following temporary portal vein embolization with absorbable gelatin sponge powder in humans[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2015, 26:507-515.
- [44] Ribero D, Abdalla EK, Madoff DC, et al. Portal vein embolization before major hepatectomy and its effects on regeneration, resectability and outcome[J]. *Br J Surg*, 2007, 94:1386-1394.
- [45] 张 雯, 周永杰, 颜志平. 再论精细 TACE[J]. *介入放射学杂志*, 2021, 30:971-975.
- [46] Sun JH, Zhang YL, Nie CH, et al. Effects of liver cirrhosis on portal vein embolization prior to right hepatectomy in patients with primary liver cancer[J]. *Oncol Lett*, 2018, 15:1411-1416.
- [47] 李 韧, 李江伟, 张 澍, 等. 右半肝切除术前序贯肝动脉-门静脉栓塞治疗肝癌的临床价值[J]. *现代消化及介入诊疗*, 2018, 23:602-605.
- [48] 倪俊声, 李 曜, 刘 学, 等. PVE 或 PVE 联合 TACE 对肝细胞癌二期手术及预后的影响[J]. *中华消化外科杂志*, 2024, 23:257-264.
- [49] 吕慧瑶. 对比门静脉栓塞与其联合经皮微波消融肝实质分隔促剩余肝增生的临床研究[D]. 杭州: 杭州师范大学, 2021.
- [50] 张远标, 洪德飞, 黄东胜, 等. 经皮微波或射频消融肝实质分隔联合门静脉栓塞计划性肝切除术治疗肝硬化肝癌[J]. *中华消化外科杂志*, 2016, 15:510-514.
- [51] 成 剑, 张远标, 范小明, 等. 经皮微波消融肝实质分隔联合门静脉栓塞治疗肝硬化晚期肝癌的补救性治疗策略探讨[J]. *中华普通外科杂志*, 2020, 35:77-79.
- [52] 洪德飞, 范小明, 罗祖炎, 等. 经皮微波或射频消融肝实质分隔联合门静脉栓塞计划性肝切除术治疗余肝体积不足肝癌及胆管癌 3 例报告[J]. *中国实用外科杂志*, 2016, 36:96-101.
- [53] Knapen R, Korenblik R, James S, et al. The effect of microwave and radiofrequency ablation (MWA/RFA) on liver volume in patients with primary and secondary liver tumours: a retrospective analysis[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2023, 46:991-999.
- [54] Garlipp B, de Baere T, Damm R, et al. Left-liver hypertrophy after therapeutic right-liver radioembolization is substantial but less than after portal vein embolization[J]. *Hepatology*, 2014, 59:1864-1873.
- [55] Bekki Y, Marti J, Toshima T, et al. A comparative study of portal vein embolization versus radiation lobectomy with Yttrium-90 microspheres in preparation for liver resection for initially unresectable hepatocellular carcinoma [J]. *Surgery*, 2021, 169:1044-1051.
- [56] Addeo P, de Mathelin P, De Marini P, et al. Sequential Y(90) liver radioembolization and portal vein embolization: an additional strategy to downstage liver tumors and to enhance liver hypertrophy before major hepatectomies[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2023, 408:339.
- [57] 黄 剑, 张小锋, 闫少磊, 等. 肝门部胆管癌门静脉栓塞后剩余肝脏体积增生速度预测因素分析[J]. *介入放射学杂志*, 2023, 32:970-974.
- [58] Heil J, Heid F, Bechstein WO, et al. Sarcopenia predicts reduced liver growth and reduced resectability in patients undergoing portal vein embolization before liver resection: a DRAGON collaborative analysis of 306 patients [J]. *HPB (Oxford)*, 2022, 24:413-421.
- [59] Arntz P, Olthof PB, Korenblik R, et al. Effect of sarcopenia on the increase in liver volume and function after portal vein embolization [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2024, 47:642-649.
- [60] Barcena A, Owens TC, Melancon S, et al. Current perspectives and progress in preoperative portal vein embolization with stem cell augmentation (PVESA) [J]. *Stem Cell Rev Rep*, 2024, 20:1236-1251.
- [61] 徐 伟, 蔡 飞, 黄 剑, 等. 三维可视化技术在巨块型肝癌 PVE 治疗中的应用 [J]. *介入放射学杂志*, 2021, 30:1006-1009.

(收稿日期:2024-11-15)
(本文编辑:茹 实)