

## 大鼠原位肝移植解剖重建研究进展

吴伟康 李霄 王旭丹 丁睿 陶开山

**【摘要】** 大鼠肝移植模型的构建，为解决临床肝移植术后并发症及围手术期治疗等问题提供了理想的动物模型。随着对大鼠肝移植模型建立的深入研究，逐渐形成了经典的“二袖套”法。然而，在移植手术过程中，手术视野差、血管扭转、胆道损伤和无肝期较长等问题仍是传统方法无法避免的。目前国内外大鼠肝移植模型改进方式主要围绕肝上下腔静脉、门静脉、肝下下腔静脉和胆管这4个重要解剖结构的重建展开。为此，本文就肝上下腔静脉、门静脉、肝下下腔静脉和胆管重建领域的最新进展进行整理总结，以便为大鼠肝移植模型的构建提供参考，促进肝移植技术的进一步发展。

**【关键词】** 原位肝移植；大鼠；血管吻合；磁环吻合；肝上下腔静脉；门静脉；肝下下腔静脉；胆管  
**【中图分类号】** R617, R-322 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2024) 03-0020-05

**Research progress on anatomic vascular reconstruction in rat models of orthotopic liver transplantation** Wu Weikang, Li Xiao, Wang Xudan, Ding Rui, Tao Kaishan. Department of Hepatobiliary-pancreatic-splenic Surgery, Xijing Hospital of Air Force Medical University, Xi'an 710032, China  
Corresponding author: Tao Kaishan, Email: taokaishan0686@163.com

**【Abstract】** Establishment of rat models of liver transplantation provides an ideal animal model for resolving the problems of postoperative complications and perioperative treatment of liver transplantation. With in-depth study of the establishment of rat models of liver transplantation, classic "two-cuff" technique has been gradually employed. However, poor surgical field, vascular torsion, biliary tract injury and long anhepatic phase remain unresolved in the process of liver transplantation using traditional techniques. At present, the rat models of liver transplantation at home and abroad are modified mainly from the reconstruction of four vital anatomic structures including the suprahepatic inferior vena cava, portal vein, infrahepatic inferior vena cava and bile duct. Therefore, the latest progress in the reconstruction of the suprahepatic inferior vena cava, portal vein, infrahepatic inferior vena cava and bile duct was reviewed, aiming to provide reference for the establishment of rat models of liver transplantation and promote further development of liver transplantation techniques.

**【Key words】** Orthotopic liver transplantation; Rat; Vascular anastomosis; Magnetic ring anastomosis; Suprahepatic inferior vena cava; Portal vein; Infrahepatic inferior vena cava; Bile duct

世界首例人体肝移植由 Starzl 教授于 1963 年完成，经历 60 年的发展，肝移植已经成为终末期肝病治愈的唯一希望<sup>[1-2]</sup>。肝移植虽然在临床上取得了很大的进展，但在排斥反应、胆道并发症、缺血-再灌注损伤等方面仍面临严峻挑战<sup>[3-5]</sup>。因此，仍需更多实验性研究来解决肝移植领域存在的问题。大鼠肝移植模型已成为临床供肝保存、缺血-再灌注损伤、排

斥反应及生物肝研究的理想动物模型<sup>[6-9]</sup>。回顾国内外大鼠肝移植模型的建立方法，发现各种改进方式都是围绕肝上下腔静脉（suprahepatic inferior vena cava, SHVC）、门静脉、肝下下腔静脉（infrahepatic inferior vena cava, IHVC）和胆管的重建展开。本综述就上述 4 个重要结构重建技术的创新研究进行分析汇总，旨在为肝移植大鼠模型的构建提供参考。

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2024037

基金项目：国家自然科学基金面上项目（81970566、82070681）

作者单位：710032 西安，空军军医大学西京医院肝胆胰脾外科

作者简介：吴伟康（ORCID 0009-0007-4239-4983），硕士研究生，研究方向为肝移植，Email: wuweikang0832@163.com

通信作者：陶开山（ORCID 0000-0002-8573-0445），博士，主任医师，研究方向为肝移植，Email: taokaishan0686@163.com

## 1 肝上下腔静脉的重建

SHVC 的重建是大鼠原位肝移植手术的难点之一。其原因在于大鼠 SHVC 短而薄<sup>[10]</sup>，需要在分离供受体 SHVC 时尽可能保留长的血管壁，避免 SHVC 过短导致缝合失败。此外，SHVC 重建时极易出现吻合口狭窄、血管壁撕裂等问题，故 SHVC 的重建技术最受关注。

### 1.1 显微缝合技术

显微缝合技术最早由 Lee 等<sup>[11]</sup>提出，其报道的 SHVC、门静脉、IHVC 均采用缝合法，因显微缝合操作难度较大、缝合时间过长等问题，该方法并未得到广泛推广。之后，研究者们不断探索改良缝合技术，最终形成了双定点缝合法，但该方法存在术野被遮盖、遗漏间隙等问题，从而导致开放血流后出现严重出血<sup>[12-13]</sup>。

为解决这一问题，Ariyakagorn 等<sup>[14]</sup>提出无结显微缝合技术，该方法能够有效地暴露 SHVC 周围视野，避免因术野遮挡而出现缝合不充分导致的出血，且能有效缩短无肝期时间（即夹闭受体门静脉至开放血流所需时间），由传统方法的 14 min 缩短至 11 min，但易因缝线拉得太紧而使吻合口变窄。为此，王洪东等<sup>[15]</sup>改进缝合方法，提出“同向-双针单线-松线转角-单节缝合技术”，首先将两根 8-0 带针缝合线尾部打结，制作成了一个中间带结的双针缝合线。在吻合血管时，先从供肝 SHVC 左侧腔外进针，将中间的线结卡在腔外，再完成后壁缝合，缝合后壁最后一针时使用 Marni 等<sup>[16]</sup>提出的“吻合动脉时的转角技术”来处理，最后用另一根缝线完成前壁缝合。整个 SHVC 吻合过程中，只在右侧打一个结。该技术能在显微缝合的基础上有效缩短无肝期时间。

### 1.2 袖套技术

尽管显微缝合最符合生理状态，但也势必会导致无肝期时间过长的的问题。Kamada 等<sup>[17]</sup>提出无肝期的最长时间不能超过 26 min，否则大鼠很难存活。因此，为优化手术步骤和缩短无肝期时间，Miyata 等<sup>[18]</sup>于 1980 年提出“三袖套法”，该技术将袖套应用于供体胸腔内腔静脉。该方法能够缩短无肝期时间，但也存在一些缺陷，例如肝流出量少、静脉血栓形成、扭转等风险，而且操作难度极大。Tan 等<sup>[19]</sup>为解决血栓和结扎困难等问题，在研究改进袖套技术时，提出“静脉内衬支架法”，利用此法制作的支架连接 SHVC 可有效避免血栓形成，该技术通过特制的工具将支架从 IHVC 送至 SHVC，而后与供肝连接。该技

术能有效避免吻合口出血和显微缝合时血管撕裂的风险，但可能致使血管吻合狭窄，限制流出量，进而造成静脉并发症和门静脉高压等问题。

为进一步完善袖套技术，Oldani 等<sup>[20]</sup>发明出一种名为“Quicker-Linker”的微型仪器，利用这种装置，SHVC 吻合所需时间平均为 2 min，门静脉夹闭时间为 6 min，显著减少无肝期时间。虽然三袖套法及其各种改良技术可以有效地缩短无肝期时间，且易于操作，但由于其同样存在肝流出量少以及需要特殊装置等问题，该法始终没得到广泛应用。

### 1.3 磁环压榨吻合技术

在 SHVC 吻合的各种方法中，相较于显微缝合和袖套支架法，Shi 等<sup>[21]</sup>提出的“磁环压榨吻合技术”是一种全新的技术，能够在肝移植过程中实现无缝线快速吻合。该技术已经被广泛应用于胆道狭窄疏通、冠状动脉搭桥、微创消化道重建等领域<sup>[22-24]</sup>。该团队研发的可用于快速对接的钛涂层微型磁环，成功对大鼠进行了 SHVC 的快速重建。利用该技术可使 SHVC 吻合时间缩短至仅约 1 min，无肝期缩短至 5.63 min，大大提高了实验成功率和大鼠存活率。Yang 等<sup>[25]</sup>和 Qu 等<sup>[26]</sup>对磁环吻合技术进行了进一步的验证，结果显示 SHVC 重建时间为  $(3.2 \pm 1.8)$  min，有效缩短了无肝期时间，且磁环组肿瘤坏死因子（tumor necrosis factor, TNF）- $\alpha$ 、白细胞介素（interleukin, IL）- $1\beta$ 、干扰素（interferon, IFN）- $\gamma$ 、IL-6 等炎症因子水平明显低于缝合组，表明极短无肝期可使缺血-再灌注损伤明显减轻。

总体来说，磁环法易于操作，学习周期短，模型建立稳定，大鼠远期存活率高。但也存在一些问题，笔者在使用磁环法进行大鼠肝移植时，发现在对供受体进行套环时，都需要将大部分组织先穿过磁环，然后再进行修整，而在这一过程中，血管壁受损的可能性比较大。为避免这一情况，可考虑将磁环做成 C 型，可刚好将血管从缺口置入磁环内。但就现有技术而言，磁环压榨吻合技术在 SHVC 吻合中具有迅速、学习曲线最短、不良反应小等特点，未来极有可能得到广泛应用。

## 2 门静脉和肝下下腔静脉的重建

门静脉是大鼠肝移植手术中第二个需要吻合的血管，也是手术能否成功的主要影响因素。由于肝脏的血流供应主要来自门静脉，因此门静脉的吻合速度直接影响到无肝期时间的长短。IHVC 解剖位置和构造与门静脉相似，可以采用同种方法进行吻合，因此，将两种血管吻合技术归为一类。

## 2.1 显微缝合技术

与SHVC相似,显微缝合技术使用8-0或9-0丝线对供体和受体的门静脉和IHVC分别进行端对端缝合。存在对术者缝合要求高、学习曲线长、耗时长等问题。

## 2.2 袖套技术

为设法缩短血管吻合时间, Kamada等<sup>[17]</sup>和Miyata等<sup>[18]</sup>先后提出利用袖套支架对门静脉和IHVC进行吻合的方法,与显微缝合相比,该方法能将无肝期时间缩短至15~17 min,移植大鼠1周存活率达83.3%,这是大鼠肝移植领域一大进步。但袖套技术的使用也存在缺陷,如容易造成血流紊乱,导致血栓形成和异物反应,长期使用可导致原位肝移植后的门静脉高压伴广泛的门体分流。尽管如此,“袖套法”依然是目前公认最适合也是应用最广泛的技术。笔者在实际操作中发现,门静脉直径小且管壁薄,在管壁两侧带线牵拉时,管壁存在被撕裂的情况,而且,门静脉时常有发生扭转,影响入肝的血流量。

为防止血管扭转, Li等<sup>[27]</sup>提出一种称为“门静脉分支悬吊法”的改良方法,该法将两根5-0的丝线分别置于门静脉左右分支初始段,留作门静脉牵引使用。实验显示,利用该法可将门静脉吻合时间缩短至2 min左右,且成功率为94.3%,较传统方法有较大的提高。此外,该法在有效避免血管壁因缝针穿刺挂线引起管壁撕裂的同时,使悬吊牵引更稳定;而且两侧的分支有助于正确定位门静脉,进而避免了术后出现静脉扭转的问题。

## 2.3 显微缝合-临时支架技术

Marni等<sup>[28]</sup>开发了一种名为“临时支架缝合”的新技术,该技术在原有袖套技术的基础上,利用缝合法,将门静脉和IHVC分别进行供受体的端端缝合。采用该技术重建门静脉和IHVC能使血管更接近生理状态,减少因异物或血流异常等问题而导致的后续并发症。但该方法较目前传统的袖套吻合法步骤更繁杂,学习曲线更长,对术者要求更高,因此,并未得到广泛应用。

## 2.4 门静脉动脉化技术

在对供受体进行血管吻合时,静脉夹闭端血流缓慢,易形成血栓,是造成术后并发症和死亡的主要原因<sup>[29-30]</sup>。通过将供体门静脉动脉化成为了一种选择,即供肝的血流由腹主动脉来提供。为此, Müller等<sup>[31]</sup>提出利用供体的主动脉节段来实现移植大鼠肝脏的门静脉动脉化的新技术。他们将一段供体主动脉段的一端与门静脉进行端端缝合,另一端与受体的腹主动脉进行端侧吻合,后将受体门静脉靠近肝脏离断,并在右肾静脉水平与IHVC进行端侧吻合,其余结构按照

“二袖套法”进行吻合。结果表明移植肝除初期出现纤维化外,结构和功能基本正常,未出现坏死迹象。此外,门静脉动脉化能够增加肝脏的门静脉血流量、组织灌注和氧合<sup>[32]</sup>。Fan等<sup>[33]</sup>研究表明可以利用门静脉的动脉化来控制入肝的血流,从而影响大鼠肝脏的再生性。利用该技术建立的动物模型,能够很好地适用于研究肝脏再生机制及肝脏和血管纤维化的发生。

也有研究者提出,肝动脉的重建在大鼠肝移植中十分必要,实验表明重建肝动脉能够避免肝脏出现部分缺血坏死、脓肿及胆管缺血等并发症,并且肝动脉对肝脏组织形态和肝功能恢复都具有促进作用<sup>[34-35]</sup>。此外,对于小体积肝移植,重建肝动脉能够明显改善移植肝的功能,促进肝细胞再生<sup>[36]</sup>。然而,由于大鼠肝动脉极为细小,重建会增加手术难度,初学者需要更长的时间进行学习。故可考虑使用门静脉动脉化技术改善供肝的血液供应问题。

## 3 胆管的重建

胆管是原位肝移植手术中最后一个重建的解剖结构,虽然此时大鼠肝脏已经建立完整的血液循环系统,但胆管吻合仍需重视,因为胆道梗阻、胆漏等胆道并发症导致模型建立失败的情况并不少见。

Lee等<sup>[11]</sup>提出利用显微缝合技术吻合胆肠,即将受体胆管植入供体十二指肠内。这种方法操作复杂,且会破坏Oddi括约肌,常常会出现胆总管远端坏死、上行胆管炎和十二指肠局部坏死等问题。而后Kamada等<sup>[17]</sup>使用伸缩技术进行胆管重建,在受体和供体胆管上分别置入大小不同的支架,连接时,将较小的支架插入较大的支架内完成胆管重建。该法简化了吻合的步骤,降低了手术难度。Spiegel等<sup>[37]</sup>对胆管支架技术进行验证,该技术只选用一根支架进行供受体胆管连接吻合。即在供体胆管远端剪一V字开口,插入支架并用6-0丝线环扎固定,用同样的方法将支架另一头插进受体胆管内并环扎固定,再将供受体胆总管结扎线拉拢打结,大网膜组织覆盖于胆道吻合口。该法在简化操作难度的同时,也降低了胆道并发症的发生率。研究发现,胆道并发症不仅是因为胆管狭窄造成的,更是与移植胆管缺血、感染、排斥反应以及手术技术有关<sup>[38-40]</sup>。为此,目前支架技术在大鼠肝移植领域已被广泛接受和使用。

## 4 小结与展望

磁环吻合技术作为一种新兴的吻合技术,具有无肝期短,操作方便,学习时间短等优势,该技术为研究者们探索改进方法提供了一个可行的方向。袖套吻

合 SHVC 和门静脉同样可有效缩短血管吻合时间。为此,选择何种手术方式仍需根据实验需求和条件进行合理选择,并且可以多种方法联合使用,更有利于快速稳定地建立模型。上述各种吻合技术仍旧存在需要解决的问题,首先,IHVC 作为最后一个吻合的血管,夹闭时间最长,最容易产生血栓,尽管在重建时会放出断口处的部分血栓,但仍有血栓存在的可能;其次,门静脉和 IHVC 在利用传统袖套吻合时,由于供肝摆放受限,在重建时势必会使血管出现扭曲旋转等情况,进而影响供肝血流及后期出现门静脉高压等并发症;最后,供受体大鼠均存在胆管过细的情况,在插入支架时容易使胆管撕裂,导致胆漏及腹腔感染。笔者结合自身实验操作认为可注意以下几点:

(1) 避免血栓形成最好的方法是减少血管夹闭时间,因此,可在游离门静脉和 IHVC 后,在预计离断位置附近进行预先带线,可有效缩短操作时间,提高血管吻合速度;(2) SHVC 重建后,可利用棉球将供肝垫平,尽量使门静脉朝向受体门静脉方向,避免重建后血管扭转;(3) 实验大鼠体质量在 250 g 以上者,胆管直径能够确保支架顺利置入而不被撕裂,因此,进行实验时需将大鼠体质量纳入考虑范围。总之,大鼠原位肝移植对于研究移植方面的研究有着巨大的贡献,探索一个稳定的、学习曲线短的建立方法是非常有必要的。

#### 参考文献:

- [1] LUCEY MR, FURUYA KN, FOLEY DP. Liver transplantation[J]. *N Engl J Med*, 2023, 389(20): 1888-1900. DOI: 10.1056/NEJMr2200923.
- [2] 中国医师协会器官移植医师分会,中华医学会器官移植学分会肝移植学组. 中国肝癌肝移植临床实践指南(2021 版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2022, 21(4): 433-443. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20220316-00135. Branch of Organ Transplant Physician of Chinese Medical Doctor Association, Liver Transplantation Group of Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association. Chinese clinical practice guidelines on liver transplantation for hepatocellular carcinoma (2021 edition)[J]. *Chin J Dig Surg*, 2022, 21(4): 433-443. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20220316-00135.
- [3] MONTANO-LOZA AJ, RODRIGUEZ-PERÁLVAREZ ML, PAGEAUX GP, et al. Liver transplantation immunology: immunosuppression, rejection, and immunomodulation[J]. *J Hepatol*, 2023, 78(6): 1199-1215. DOI: 10.1016/j.jhep.2023.01.030.
- [4] LIU J, MAN K. Mechanistic insight and clinical implications of ischemia/reperfusion injury post liver transplantation[J]. *Cell Mol Gastroenterol Hepatol*, 2023, 15(6): 1463-1474. DOI: 10.1016/j.jcmgh.2023.03.003.
- [5] FASULLO M, GHAZALEH S, SAYEH W, et al. Prognostic factors for non-anastomotic biliary strictures following adult liver transplantation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Dig Dis Sci*, 2023, 68(6): 2683-2694. DOI: 10.1007/s10620-023-07861-0.
- [6] MASPERO M, ALI K, CAZZANIGA B, et al. Acute rejection after liver transplantation with machine perfusion versus static cold storage: a systematic review and meta-analysis[J]. *Hepatology*, 2023, 78(3): 835-846. DOI: 10.1097/HEP.0000000000000363.
- [7] GUO B, ZHOU Q, CHEN J, et al. Orthotopic transplantation of functional bioengineered livers in rats[J]. *ACS Biomater Sci Eng*, 2023, 9(4): 1940-1951. DOI: 10.1021/acsbiomaterials.2c01213.
- [8] 魏思东,陈凯歌,张继翔,等. 白细胞分化抗原 74 和 CXC 趋化因子配体 9 阳性巨噬细胞亚群在大鼠肝移植排斥反应中的作用[J]. *实用医学杂志*, 2023, 39(23): 3027-3033. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2023.23.002. WEI SD, CHEN KG, ZHANG JX, et al. Changes and role of CD74 and CXCL9 positive macrophage subsets in rejection of rat liver transplantation[J]. *J Pract Med*, 2023, 39(23): 3027-3033. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2023.23.002.
- [9] GUO Z, XU J, HUANG S, et al. Abrogation of graft ischemia-reperfusion injury in ischemia-free liver transplantation[J]. *Clin Transl Med*, 2022, 12(4): e546. DOI: 10.1002/ctm2.546.
- [10] MARTINS PN, NEUHAUS P. Surgical anatomy of the liver, hepatic vasculature and bile ducts in the rat[J]. *Liver Int*, 2007, 27(3): 384-392. DOI: 10.1111/j.1478-3231.2006.01414.x.
- [11] LEE S, CHARTERS AC, CHANDLER JG, et al. A technique for orthotopic liver transplantation in the rat[J]. *Transplantation*, 1973, 16(6): 664-669. DOI: 10.1097/00007890-197312000-00019.
- [12] 赵姣姣,莽源祎,李立,等. 大鼠原位肝移植模型不同灌注方式和吻合方法的效果比较[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2023, 30(5): 549-553. ZHAO JJ, MANG YY, LI L, et al. Effect of different perfusion and anastomosis methods in rat orthotopic liver transplantation model[J]. *Chin J Base Clin Gen Surg*, 2023, 30(5): 549-553.
- [13] 张继翔,闫宏宪,轩娟娟,等. 门脉优先反向吻合快速建立肝移植大鼠模型[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(17): 2696-2701. DOI: 10.12307/2022.537. ZHANG JX, YAN HX, XUAN JJ, et al. Rapid establishment of rat liver transplantation model by portal vein preferential reverse anastomosis[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2022, 26(17): 2696-2701. DOI: 10.12307/2022.537.
- [14] ARIYAKHAGORN V, SCHMITZ V, OLSCHESKI P, et al. Improvement of microsurgical techniques in orthotopic rat liver transplantation[J]. *J Surg Res*, 2009, 153(2): 332-339. DOI: 10.1016/j.jss.2008.04.003.
- [15] 王洪东,葛新兰,潘可,等. 单人显微操作下大鼠肝移植模型的建立[J]. *大连医科大学学报*, 2021, 43(6): 487-493. DOI: 10.11724/jdmu.2021.06.02. WANG HD, GE XL, PAN K, et al. Establishment of rat liver transplantation model by a single operator using microsurgical technique[J]. *J Dalian Med Univ*, 2021, 43(6): 487-493. DOI: 10.11724/jdmu.2021.06.02.
- [16] MARNI A, FERRERO ME, FORTI D. End-to-side anastomosis in heterotopic rat organ transplantation[J]. *Microsurgery*, 1996, 17(1): 21-24.
- [17] KAMADA N, CALNE RY. Orthotopic liver transplantation in the rat. technique using cuff for portal vein anastomosis and biliary drainage[J].

- Transplantation, 1979, 28(1): 47-50. DOI: 10.1097/00007890-197907000-00011.
- [18] MIYATA M, FISCHER JH, FUHS M, et al. A simple method for orthotopic liver transplantation in the rat. cuff technique for three vascular anastomoses[J]. Transplantation, 1980, 30(5): 335-338. DOI: 10.1097/00007890-198011000-00005.
- [19] TAN F, CHEN Z, ZHAO Y, et al. Novel technique for suprahepatic vena cava reconstruction in rat orthotopic liver transplantation[J]. Microsurgery, 2005, 25(7): 556-560. DOI: 10.1002/micr.20161.
- [20] OLDANI G, MAESTRI M, GASPARI A, et al. A novel technique for rat liver transplantation using Quick Linker system: a preliminary result[J]. J Surg Res, 2008, 149(2): 303-309. DOI: 10.1016/j.jss.2007.12.779.
- [21] SHI Y, ZHANG W, DENG YL, et al. Magnetic ring anastomosis of suprahepatic vena cava: novel technique for liver transplantation in rat[J]. Transpl Int, 2015, 28(1): 89-94. DOI: 10.1111/tri.12418.
- [22] ZHANG M, HE S, SHA H, et al. A novel self-shaping magnetic compression anastomosis ring for treatment of colonic stenosis[J]. Endoscopy, 2023, 55(S 01): E1132-E1134. DOI: 10.1055/a-2183-8942.
- [23] ÖDEMIŞ B, BAŞPINAR B, TOLA M, et al. Magnetic compression anastomosis is a good treatment option for patients with completely obstructed benign biliary strictures: a case series study[J]. Dig Dis Sci, 2022, 67(10): 4906-4918. DOI: 10.1007/s10620-022-07381-3.
- [24] 李秀梅, 曾义霞, 陈曦, 等. 磁压榨吻合技术在快速消化道重建中的研究进展[J]. 实用医学杂志, 2022, 38(9): 1166-1170. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2022.09.023.
- LI XM, ZENG YX, CHEN X, et al. Research progress of magnetic compression anastomosis technique in rapid digestive tract reconstruction[J]. J Pract Med, 2022, 38(9): 1166-1170. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2022.09.023.
- [25] YANG L, LU J, WANG Y, et al. A rat model of orthotopic liver transplantation using a novel magnetic anastomosis technique for suprahepatic vena cava reconstruction[J]. J Vis Exp, 2018(133): 56933. DOI: 10.3791/56933.
- [26] QU B, YU F, SHENG GN, et al. Protective effect of a novel technique for liver transplantation in the rat[J]. Transplant Proc, 2018, 50(1): 267-273. DOI: 10.1016/j.transproceed.2017.12.020.
- [27] LI N, CAI CJ, WU YR, et al. A technique of recipient portal venoplasty and cuff insertion for portal revascularization in orthotopic rat liver transplantation [J]. J Surg Res, 2012, 176(1): 317-320. DOI: 10.1016/j.jss.2011.09.026.
- [28] MARNI A, FERRERO ME. A four-technique comparative study of orthotopic liver transplantation in the rat[J]. Am J Surg, 1988, 156(3 Pt 1): 209-213. DOI: 10.1016/s0002-9610(88)80069-2.
- [29] BARRERA-LOZANO LM, RAMÍREZ-ARBELÁEZ JA, MUÑOZ CL, et al. Portal vein thrombosis in liver transplantation: a retrospective cohort study[J]. J Clin Med, 2023, 12(12): 3951. DOI: 10.3390/jcm12123951.
- [30] STEVENS JP, XIANG Y, LEONG T, et al. Portal vein complications and outcomes following pediatric liver transplantation: data from the Society of Pediatric Liver Transplantation[J]. Liver Transpl, 2022, 28(7): 1196-1206. DOI: 10.1002/lt.26412.
- [31] MÜLLER V, OTT R, TANNAPFEL A, et al. Arterialization of the portal vein in liver transplantation: a new microsurgical model in the rat[J]. Transplantation, 2001, 71(7): 977-981. DOI: 10.1097/00007890-200104150-00024.
- [32] 陈文斌, 赵铁彦, 弓戎冬, 等. 门静脉动脉化对扩大肝切除术后门脉血液动力学及肝脏组织形态的影响[J]. 中华实验外科杂志, 2013, 30(7): 1536. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9030.2013.07.074.
- CHEN WB, ZHAO TY, GONG XD, et al. Effect of portal vein arterialization on portal hemodynamics and liver tissue morphology after extended hepatectomy[J]. Chin J Exp Surg, 2013, 30(7): 1536. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9030.2013.07.074.
- [33] FAN YD, PRAET M, VAN HUYSSSE J, et al. Effects of portal vein arterialization on liver regeneration after partial hepatectomy in the rat[J]. Liver Transpl, 2002, 8(2): 146-152. DOI: 10.1053/jlts.2002.30887.
- [34] 李欣澄, 黄帆, 王国斌, 等. 肝动脉重建技术对肝移植预后的影响[J]. 器官移植, 2023, 14(1): 128-134. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023.01.017.
- LI XC, HUANG F, WANG GB, et al. Effect of hepatic artery reconstruction techniques on prognosis of liver transplantation[J]. Organ Transplant, 2023, 14(1): 128-134. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023.01.017.
- [35] LIN TS, LIN CH, KUO PJ, et al. Management of difficult hepatic artery reconstructions to reduce complications through continual technical refinements in living donor liver transplantations[J]. Int J Surg, 2022, 104: 106776. DOI: 10.1016/j.ijssu.2022.106776.
- [36] 徐贵云, 江艺, 陈海燕, 等. 大鼠 40% 小体积肝移植肝动脉重建的意义[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2009, 16(9): 718-722.
- XU GY, JIANG Y, CHEN HY, et al. Significance of hepatic arterial reconstruction on model of small-for-size orthotopic liver transplantation in rats[J]. Chin J Base Clin Gen Surg, 2009, 16(9): 718-722.
- [37] SPIEGEL HU, SCHLEIMER K, KRANZ D, et al. Orthotopic rat liver transplantation and bile duct reconstruction by a splint technique[J]. Eur Surg Res, 1997, 29(6): 421-428. DOI: 10.1159/000129553.
- [38] 朱明强, 杨大帅, 裴俊鹏, 等. 原位肝移植术后胆道并发症发生的影响因素分析[J]. 临床肝胆病杂志, 2023, 39(7): 1627-1632. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2023.07.017.
- ZHU MQ, YANG DS, PEI JP, et al. Analysis of influencing factors on biliary complications after orthotopic liver transplantation[J]. J Clin Hepatol, 2023, 39(7): 1627-1632. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2023.07.017.
- [39] SEVMIS M, ZARBALIYEV E, YILDIZ H, et al. Factors affecting bile complications after liver transplantation: single-center experience[J]. Sisli Etfal Hastan Tip Bul, 2022, 56(2): 227-231. DOI: 10.14744/SEMB.2021.17362.
- [40] FORDE JJ, BHAMIDIMARRI KR. Management of biliary complications in liver transplant recipients[J]. Clin Liver Dis, 2022, 26(1): 81-99. DOI: 10.1016/j.cld.2021.08.008.

(收稿日期: 2024-02-01)

(本文编辑: 方引超 鄢加佳)