

肝移植术后严重门静脉狭窄的三维可视化成像与门静脉支架植入术疗效分析

赵洪强 刘影 马建明 李昂 于里涵 童翊 吴广东 卢倩 张跃伟 汤睿

【摘要】 目的 分析肝移植术后严重门静脉狭窄的三维成像特征与优势，评估门静脉支架植入术效果。方法 回顾性分析 10 例肝移植术后因严重门静脉狭窄接受门静脉支架植入术患者的临床资料，分析严重门静脉狭窄的影像学特征、三维重建的成像优势及介入治疗效果。结果 10 例患者中狭窄类型包括向心性狭窄 3 例，曲折成角致狭窄 2 例，受压狭窄 2 例，长段狭窄和（或）血管闭塞 3 例。三维重建图像在狭窄的准确判断、狭窄类型的辨别和狭窄累及长度判断方面具有优势。所有患者均成功接受门静脉支架植入术，支架植入后门静脉最狭窄处直径较治疗前增加 $[(6.2\pm 0.9) \text{ mm} \text{ 比 } (2.6\pm 1.7) \text{ mm}, P<0.05]$ ，吻合口流速较治疗前下降 $[(57\pm 19) \text{ cm/s} \text{ 比 } (128\pm 27) \text{ cm/s}, P<0.05]$ ，近肝处门静脉主干流速较治疗前增加 $[(41\pm 6) \text{ cm/s} \text{ 比 } (18\pm 6) \text{ cm/s}, P<0.05]$ 。1 例患者因介入穿刺引起肝内血肿，经保守观察治疗后好转，其余患者均未出现相关并发症。结论 三维可视化技术可以立体直观展示狭窄部位、特征与严重程度，有利于临床医师进行治疗决策和辅助介入操作。及时的门静脉支架植入术可以有效逆转病变进程并改善门静脉血流。

【关键词】 肝移植；血管并发症；门静脉狭窄；介入治疗；三维可视化成像；门静脉支架；血流加速；门静脉高压

【中图分类号】 R617, R543 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2024) 01-0011-08

Analysis of three-dimensional visualization imaging of severe portal vein stenosis after liver transplantation and clinical efficacy of portal vein stent implantation Zhao Hongqiang*, Liu Ying, Ma Jianming, Li Ang, Yu Lihan, Tong Xuan, Wu Guangdong, Lu Qian, Zhang Yuewei, Tang Rui. *Hepatopancreatobiliary Center, Beijing Tsinghua Changgung Hospital Affiliated to Tsinghua University, Key Laboratory of Digital Intelligence Hepatology of Ministry of Education, School of Clinical Medicine, Tsinghua University, Beijing 102218, China

Corresponding author: Tang Rui, Email: tangrui_hs@163.com

【Abstract】 Objective To analyze three-dimensional imaging characteristics and advantages for severe portal vein stenosis after liver transplantation, and to evaluate clinical efficacy of portal vein stent implantation. **Methods** Clinical data of 10 patients who received portal vein stent implantation for severe portal vein stenosis after liver transplantation were retrospectively analyzed. Imaging characteristics of severe portal vein stenosis, and advantages of three-dimensional reconstruction imaging and interventional treatment efficacy for severe portal vein stenosis were analyzed.

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2023201

基金项目：国家自然科学基金重点项目（81930119）；中国医学科学院医学与健康科技创新工程创新单元（2019-I2M-5-056）；北京清华长庚医院青年启动基金资助项目（12019C1012）

作者单位：102218 北京，清华大学附属北京清华长庚医院肝胆胰中心 数智肝胆病学教育部重点实验室 清华大学临床医学院（赵洪强、刘影、李昂、于里涵、童翊、吴广东、卢倩、张跃伟、汤睿）；拉萨市人民医院普外科（马建明、汤睿）

作者简介：赵洪强（ORCID 0000-0002-8544-2865），博士，住院医师，研究方向为肝脏移植的临床与基础研究，Email: zhaohongqiang2009@163.com

通信作者：汤睿（ORCID 0000-0003-3118-3842），博士，副主任医师，研究方向为肝脏移植的临床与基础研究，Email: tangrui_hs@163.com

Results Among 10 patients, 3 cases were diagnosed with centripetal stenosis, tortuosity angulation-induced stenosis in 2 cases, compression-induced stenosis in 2 cases, long-segment stenosis and/or vascular occlusion in 3 cases. Three-dimensional reconstruction images possessed advantages in accurate identification of stenosis, identification of stenosis types and measurement of stenosis length. All patients were successfully implanted with portal vein stents. After stent implantation, the diameter of the minimum diameter of portal vein was increased [(6.2±0.9) mm vs. (2.6±1.7) mm, $P<0.05$], the flow velocity at anastomotic site was decreased [(57±19) cm/s vs. (128±27) cm/s, $P<0.05$], and the flow velocity at the portal vein adjacent to the liver was increased [(41±6) cm/s vs. (18±6) cm/s, $P<0.05$]. One patient suffered from intrahepatic hematoma caused by interventional puncture, which was mitigated after conservative observation and treatment. The remaining patients did not experience relevant complications. **Conclusions** Three-dimensional visualization technique may visually display the location, characteristics and severity of stenosis, which is beneficial for clinicians to make treatment decisions and assist interventional procedures. Timely implantation of portal vein stent may effectively reverse pathological process and improve portal vein blood flow.

【Key words】 Liver transplantation; Vascular complication; Portal vein stenosis; Interventional therapy; Three-dimensional visualization imaging; Portal vein stent; Accelerated blood flow; Portal hypertension

术后门静脉狭窄是肝移植主要的血管并发症之一, 尽管发生率低, 但可能造成移植物丢失、患者死亡等严重后果^[1]。介入治疗是肝移植术后门静脉狭窄的重要治疗方式, 而支架植入相较于单纯球囊扩张更具有优势^[2-3]。较正常门静脉狭窄 50% 以上, 存在门静脉高压表现, 彩色多普勒超声 (彩超) 提示门静脉无血流或狭窄处血流加速、狭窄后喷射血流, 均为需要介入干预的严重狭窄情况^[4-5]。目前三维可视化技术已应用于介入手术, 有研究认为基于患者个体化三维模型的术前模拟能较准确地指导包括经颈静脉肝内门体分流术和经导管心血管介入手术等操作^[6-7]。本文结合三维可视化技术对肝移植术后严重门静脉狭窄进行三维成像, 分析特征并指导介入治疗, 探讨三维可视化技术在肝移植术后严重门静脉狭窄临床诊治中的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究回顾性分析 2018 年 6 月至 2023 年 6 月在清华大学附属北京清华长庚医院因肝移植术后门静脉狭窄接受介入治疗的 10 例患者的临床资料, 其中男 6 例, 女 4 例, 年龄 42 (38, 51) 岁。10 例患者中接受经典原位肝移植 5 例、改良背驮式肝移植 3 例、亲体右半肝移植 1 例、体外肝切除+自体肝移植 1 例。原发病包括肝包虫病 1 例、乙型病毒性肝炎 (乙肝) 肝硬化 2 例、原发性肝细胞癌 4 例、原发性胆汁性肝硬化 1 例、不明原因肝硬化 1 例、血管周围上皮样细胞肿瘤 1 例。术前门静脉内无血栓 2 例,

Yerdel I 级血栓 3 例, Yerdel II 级血栓 4 例, Yerdel III 级血栓 1 例。本研究经清华大学附属北京清华长庚医院伦理委员会批准 (批准号: 23 602-6-01)。

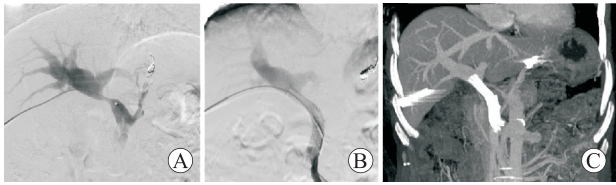
1.2 门静脉狭窄三维可视化成像及介入治疗

将患者的增强 CT 数据通过 IQQA®-3D Liver 系统处理, 构建出真实的门静脉-肠系膜上静脉-脾静脉等主要相关属支的数字化三维模型, 基于三维模型测量狭窄处直径与正常血管区域管径, 狭窄处距门静脉左右分叉、肠系膜上静脉-脾静脉汇合点距离。由 1 名肝移植科医师、1 名放射科医师和 1 名介入科医师对狭窄的特征进行形态学分析和讨论, 并制定治疗方案。门静脉狭窄处血管直径 < 5 mm, 较正常门静脉狭窄 50% 以上, 门静脉高压表现, 门静脉主干流速 < 20 cm/s 为本研究判定肝移植术后门静脉狭窄介入治疗指征。

门静脉支架植入术步骤见图 1。患者取仰卧位, 彩超定位门静脉右支远端分支, 局麻满意后采用 22 G Chiba 针经皮经肝穿刺门静脉右支, 透视下造影明确穿刺成功后置入 6 F 血管鞘, 置入 5 F 单弯导管至脾静脉及肠系膜上静脉造影, 结合术前影像学明确狭窄程度及范围, 并给予 3 000 U 肝素钠。部分门静脉严重狭窄患者先行球囊扩张, 支架直径选择 10 mm 或 12 mm, 长度选择 4~8 cm, 10 例患者共置入自膨式支架 12 枚, 造影明确支架开放良好后予以 4 mm×14 cm 弹簧圈封闭穿刺道, 术后继续予以低分子肝素钠抗凝治疗并监测凝血功能。

1.3 研究内容

收集患者一般资料, 包括性别、年龄、原发病情



注：A 图为门静脉造影，显示狭窄区域；B 图为支架植入并造影显示狭窄改善情况；C 图为术后 CT 提示门静脉血流通畅，血管直径正常。

图 1 经皮经肝穿刺介入支架植入治疗肝移植术后门静脉狭窄

Figure 1 Percutaneous transhepatic puncture and stent implantation for the treatment of portal vein stenosis after liver transplantation

况、肝移植手术方式、介入治疗距肝移植手术时间、介入治疗前后影像学（彩超和增强 CT）特征，介入治疗前及治疗后 2 周肝功能、白细胞和血小板情况，介入治疗相关并发症，介入治疗效果及后续随访情况等。总结 10 例肝移植术后严重门静脉狭窄患者的狭窄情况及介入治疗效果。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示，比较采用配对 *t* 检验；不符合正态分布的计量资料以中位数（下四分位数，上四分位数）表示，比较采用符号秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

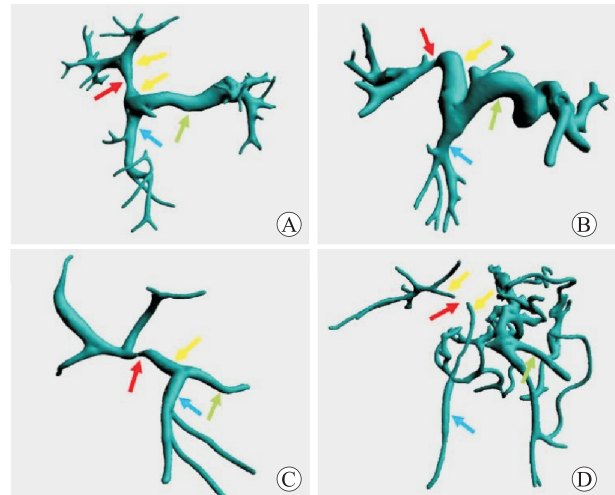
2.1 三维可视化成像显示狭窄情况

对二维、三维图像分析发现，10 例患者中狭窄类型包括向心性缩窄 3 例，曲折成角致狭窄 2 例，受压狭窄 2 例，长段狭窄和（或）血管闭塞 3 例（图 2）。对介入治疗前增强 CT 的门静脉期最大/最小密度投影（maximum/minimum intensity projection, MIP）重建图像和三维重建图像进行比照分析，发现尽管 MIP 图像可以较好显示门静脉及其主要属支系统，但在空间结构显示方面，较三维重建图像存在一定不足。其主要表现为：（1）二维图像在狭窄处显示不清晰，可能造成误判和漏诊；（2）对曲折成角狭窄的显示效果欠佳，无法呈现空间血管行走形态；（3）对狭窄累及长度判断不准，不便于介入治疗方案的规划（图 3）。结合二维、三维图像显示可以更好地判断狭窄部位、类型和累及长度并协助介入治疗。

2.2 介入治疗的疗效分析

所有患者均成功接受门静脉支架植入术。10 例肝移植术后门静脉狭窄接受介入治疗患者的临床资料见表 1、2。介入治疗时间距离肝移植时间间隔为 132（74，185）d。与肝移植术后首次门静脉最狭窄处直径比较，介入治疗前门静脉最狭窄处直径差异有统计学意义 [（5.7±2.4）mm 比（2.6±1.7）mm， $P < 0.05$]。与介入治疗前比较，介入治疗后门静脉最狭窄处直径 [（2.6±1.7）mm 比（6.2±0.9）mm]、吻合口流速 [（128±27）cm/s 比（57±19）cm/s] 和近肝处门静脉主干流速 [（18±6）cm/s 比（41±6）cm/s] 差异均有统计学意义（均为 $P < 0.05$ ）。

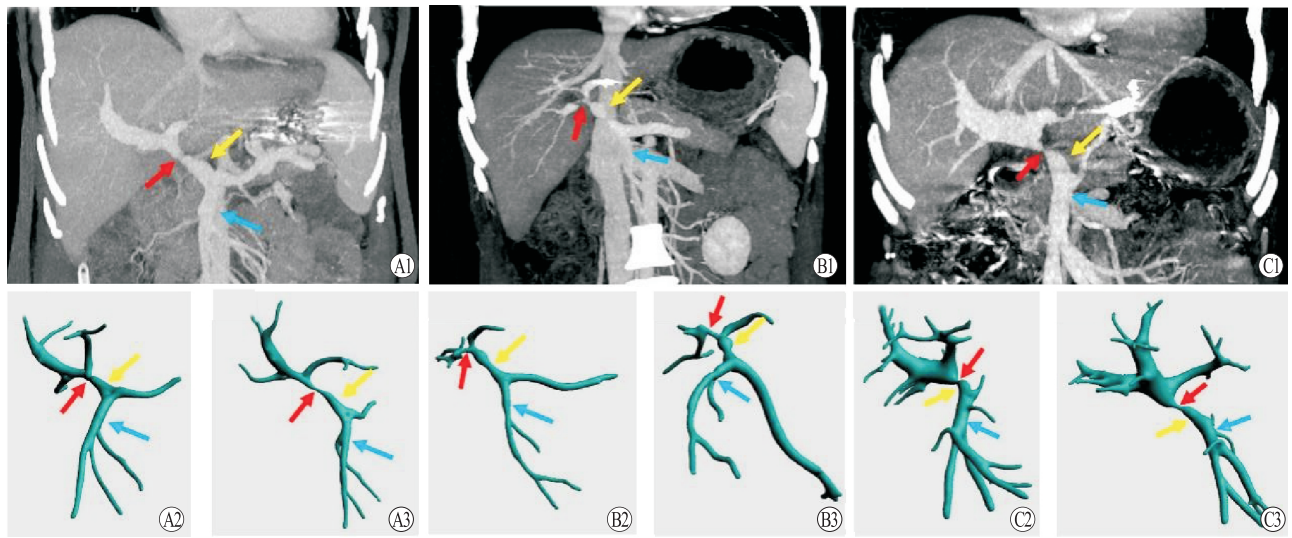
与介入治疗前比较，介入治疗后患者丙氨酸转氨酶（alanine aminotransferase, ALT）、天冬氨酸转氨酶（aspartate aminotransferase, AST）、总胆红素（total bilirubin, TB）、碱性磷酸酶（alkaline phosphatase, ALP）水平呈下降趋势，白细胞和血小板呈上升趋势，但差异均无统计学意义（表 2，均为



注：A 图示向心性缩窄，血管环周均匀向中心内缩直径变小（红色箭头所示）；B 图示曲折成角致狭窄，亲属活体右半肝移植术后门静脉右支与门静脉主干之间成角（红色箭头所示）导致狭窄；C 图示受压狭窄，可见门静脉受压（红色箭头所示）偏心性狭窄并向腹侧推挤；D 图示长段狭窄并伴随区域血管闭塞，可见门静脉长距离纤细，且局部结构消失（红色箭头所示）。黄色箭头示门静脉，蓝色箭头示肠系膜上静脉，绿色箭头示脾静脉。

图 2 三维重建显示肝移植术后门静脉、肠系膜上静脉、脾静脉重建图像及相应狭窄情况

Figure 2 3D reconstruction images of portal vein, superior mesenteric vein, splenic vein and corresponding stenosis after liver transplantation



注：A1 图中 MIP 的二维图像在狭窄处显示不清晰，可能造成漏诊；A2 图利用三维重建图形旋转模拟 MIP 显示效果；A3 图利用三维重建的空间构象与全方位成像优势清晰展示门静脉狭窄情况（红色箭头所示）；B1 图中可见门静脉狭窄，但具体类型不清；B2 图利用三维重建图形模拟 MIP 显示效果；B3 图通过旋转明确狭窄为血管成角扭曲所致（红色箭头所示）；C1 图可见门静脉狭窄区域但长度难以准确判断；C2 图利用三维重建图形模拟 MIP 显示较短的狭窄范围；C3 图通过空间成像精确展示狭窄累及长度（红色箭头所示）。黄色箭头示门静脉，蓝色箭头示肠系膜上静脉。

图 3 增强 CT 的冠状位 MIP 图像与三维重建显示门静脉、肠系膜上静脉及相应狭窄情况

Figure 3 Coronal MIP and 3D reconstruction images of enhanced CT showing conditions of portal vein, superior mesenteric vein and corresponding stenosis

表 1 10 例肝移植术后门静脉狭窄接受介入治疗患者的临床资料

Table 1 Clinical data of 10 patients with portal vein stenosis undergoing interventional treatment after liver transplantation

例序	性别	年龄 (岁)	原发病	门静脉情况	血栓分级	手术方式	术后狭窄发生时间 (d)	狭窄类型	支架相关并发症	随访时间 (月)	远期支架再狭窄
1	女	38	肝包虫病	包虫压迫闭塞	Yerdel II 级	经典原位	204	中心缩窄	无	50	无
2	男	54	原发性肝细胞癌	门静脉海绵样变性	Yerdel II 级	改良背驮	512	长段狭窄闭塞	无	22	无
3	男	42	不明原因肝硬化	门静脉海绵样变性	Yerdel II 级	经典原位	6	长段狭窄闭塞	无	15	无
4	男	42	原发性肝细胞癌	门静脉血栓	Yerdel I 级	改良背驮	113	中心缩窄	无	19	无
5	男	37	乙肝肝硬化	门静脉海绵样变性	Yerdel III 级	改良背驮	3	长段狭窄	无	12	无
6	男	30	乙肝肝硬化	正常	无	亲属活体右半肝	194	曲折成角	肝内血肿	50	无
7	男	51	原发性肝细胞癌	灭活癌栓	Yerdel II 级	经典原位	112	中心缩窄	无	40	无
8	女	50	原发性肝细胞癌	TIPS ^① 支架术后	Yerdel I 级	经典原位	61	挤压狭窄	无	10	无
9	女	51	原发性胆汁性肝硬化	TIPS 支架术后	Yerdel I 级	经典原位	159	挤压狭窄	无	2	无
10	女	38	血管周围上皮样细胞肿瘤	受压变形	无	自体肝移植	515	曲折成角	无	16	无

注：①TIPS为经颈静脉肝内门体静脉分流术。

表 2 10 例肝移植术后门静脉狭窄患者介入治疗前后指标变化 [M (P₂₅, P₇₅)]

Table 2 The index changes of 10 patients with portal vein stenosis after liver transplantation before and after interventional therapy

时间	n	ALT (U/L)	AST (U/L)	TB (μmol/L)	ALP (U/L)	白细胞 (×10 ⁹ /L)	血小板 (×10 ⁹ /L)
治疗前	10	34 (24, 84)	39 (29, 51)	12 (10, 30)	120 (89, 139)	2.8 (2.7, 3.7)	118 (38, 164)
治疗后	10	26 (19, 57)	23 (19, 26)	12 (10, 21)	104 (91, 126)	4.1 (3.0, 4.8)	155 (117, 168)
P值		0.353	0.052	0.684	0.631	0.075	0.247

$P>0.05$)。排除介入治疗前白细胞水平正常的例 3 后, 与介入治疗前比较, 介入治疗后患者白细胞水平升高, 差异有统计学意义 [$(2.9\pm 0.7)\times 10^9/L$ 比 $(3.9\pm 1.0)\times 10^9/L$, $P<0.05$]。

介入治疗后随访时间为 17.3 (12.7, 35.5) 个月, 所有患者最后一次影像学检查提示门静脉血流通畅, 治疗有效率 100%。1 例患者因介入穿刺引起肝内血肿, 经保守观察治疗后好转, 其余患者均未出现相关并发症。

3 讨论

肝移植术后门静脉并发症发生率在 3% 以下, 包括门静脉血栓或狭窄。门静脉并发症严重影响移植物和受者存活率^[8-9], 术前门静脉系统病变、手术技术和解剖异常是其主要诱因^[10-11]。本研究提示术后门静脉周围组织粘连、门静脉受压、血管整形后的成角畸形、血管冗长是造成肝移植术后门静脉严重狭窄的主要原因。

早期轻微的门静脉并发症没有明显临床表现, 但严重的门静脉狭窄可能引起移植肝功能受损和门静脉高压症状^[12-13]。本研究中, 介入治疗前门静脉最狭窄处直径狭窄明显, 提示肝移植术后门静脉狭窄进行性加重, 因此及时诊治对维持移植功能和改善患者长期预后至关重要。

肝移植术后门静脉狭窄主要通过彩超、增强 CT 监测与诊断^[14-15]。因彩超具有无创、灵敏、准确、廉价、方便、可重复性强的优势, 因此常作为术后门静脉血流检测的主要手段。当发现吻合口狭窄、门静脉血流不足、吻合口流速异常增快时, 可进一步进行增强 CT 检查明确门静脉血管形态。而增强 CT 因价格相对昂贵且存在辐射, 故仅在特定时间节点进行规律复查, 存在明确门静脉狭窄时可考虑增加复查频率。数字减影血管造影虽为金标准, 但因其为

有创性检查且存在一定并发症风险, 故不推荐作为常规诊断方式, 可在进行介入治疗的同时应用^[16-17]。

术后门静脉并发症可分为早期 (<30 d) 和晚期 (≥ 30 d) 并发症^[18]。依据不同时期采取相应临床治疗决策。除全身抗凝治疗与术后 72 h 内可采取急诊手术取栓重新吻合外, 介入治疗进行溶栓、球囊扩张和支架植入是主要的治疗方式^[19]。由于门静脉狭窄单纯抗凝效果不好, 往往需要接受支架植入。对于本文中各类严重的狭窄病变, 单纯球囊扩张和溶栓可能难以长期维持门静脉的形态, 可能因血管受压曲折等原因再次发病, 反复治疗或可增加并发症风险。既往的研究也提示支架植入比单纯球囊扩张的技术成功率更高, 而再狭窄率更低^[20]。本研究中 2 例早期支架植入患者, 由于其术前有严重的门静脉病变, 因此无法接受再次手术吻合。同时术后早期患者凝血功能尚未完全恢复, 额外的抗凝治疗除存在风险外, 预期效果不佳, 故选择积极介入治疗^[21]。经支架植入后成功恢复门静脉血流, 狭窄得到显著改善。而晚期并发症患者, 可以经过一段时间的全身抗凝和严密监测。由于狭窄渐进性发展, 其余 8 例患者均接受支架植入。本研究中所有患者均获得了满意的治疗效果。

支架植入可通过经皮经肝穿刺和经颈内静脉入路, 本研究采取前者, 由于其可直接经超声引导, 也是目前报道较为常见的方法^[22]。目前经脾脏入路也被认为是安全易行的方法, 且不需要穿刺移植肝, 降低了移植风险^[23-25]。但由于部分患者接受过脾切除手术、且术前血管病变常自门静脉主干发展至肠系膜上静脉、术中直接自肠系膜上静脉的架桥吻合等客观因素, 此类患者可能不适合经脾脏入路。安全性方面, 仅 1 例出现穿刺相关并发症——肝内血肿, 并存在一过性肝损伤表现, 其余患者均未发生相关并发症。支架植入前后各项肝功能指标差异无统计学意义, 但指标有所下降, 呈正常恢复趋势。所有患者经介入治疗

后门静脉狭窄均得到有效缓解, 肝门处门静脉血流速度恢复, 狭窄造成的吻合口喷射血流速度下降。同时狭窄带来的门静脉高压表现得到改善, 支架植入后, 原有的脾功能亢进造成的白细胞下降有所逆转。支架植入后的抗凝治疗是必要的, 建议维持至少 1 年以上的抗凝治疗, 以避免新生门静脉血栓, 此后再评估是否需要维持长期抗凝治疗, 但停药应慎重^[26-28]。对于支架植入的患者, 更加严密和规律的超声随访是必要的^[29-31]。

综上所述, 三维可视化及其衍生技术目前已常规应用于各种介入治疗^[32-33]。本研究结果提示三维可视化技术比传统二维影像更加直观地展示门静脉系统的空间立体解剖构象, 对判断门静脉狭窄部位、狭窄程度有直观辅助效果, 并有利于制定介入干预策略。二维横断面影像虽然可以清晰显示狭窄部位的严重程度并测量门静脉狭窄处直径, 但难以判断狭窄部位距肝门左右门静脉分叉和肠系膜上静脉与脾静脉汇合部位的长度。二维冠状位重建及 MIP 图像中可能受到不同狭窄形态特点的干扰, 尤其是当门静脉前后径显著受压变小, 而左右横径尚可时, 狭窄程度难以呈现。因此在门静脉系统病变治疗中采用三维可视化技术具有一定优势^[34-38]。

总之, 肝移植术后严重门静脉狭窄显著影响门静脉血流速度, 并带来门静脉高压相关表现。及时的介入干预并植入支架可以有效逆转病变进程并改善门静脉血流。三维可视化技术可以立体直观展示狭窄部位, 特征与严重程度, 有利于临床医师进行治疗决策和辅助介入操作。

参考文献:

- [1] BUROS C, DAVE AA, FURLAN A. Immediate and late complications after liver transplantation[J]. *Radiol Clin North Am*, 2023, 61(5): 785-795. DOI: 10.1016/j.rcl.2023.04.002.
- [2] KIM KS, KIM JM, LEE JS, et al. Stent insertion and balloon angioplasty for portal vein stenosis after liver transplantation: long-term follow-up results[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2019, 25(3): 231-237. DOI: 10.5152/dir.2019.18155.
- [3] BUKOVA M, FUNKEN D, PFISTER ED, et al. Long-term outcome of primary percutaneous stent angioplasty for pediatric posttransplantation portal vein stenosis[J]. *Liver Transpl*, 2022, 28(9): 1463-1474. DOI: 10.1002/lt.26488.
- [4] MULLAN CP, SIEWERT B, KANE RA, et al. Can Doppler sonography discern between hemodynamically significant and insignificant portal vein stenosis after adult liver transplantation?[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 195(6): 1438-1443. DOI: 10.2214/AJR.10.4636.
- [5] YABUTA M, SHIBATA T, SHIBATA T, et al. Long-term outcome of percutaneous transhepatic balloon angioplasty for portal vein stenosis after pediatric living donor liver transplantation: a single institute's experience[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2014, 25(9): 1406-1412. DOI: 10.1016/j.jvir.2014.03.034.
- [6] 魏欣, 胡鸿, 钟立明, 等. 术前模拟在经颈静脉肝内门体静脉分流术治疗中的价值[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2019, 26(12): 1424-1428. DOI: 10.7507/1007-9424.201908053.
WEI X, HU H, ZHONG LM, et al. Value of preoperative simulation in the treatment of transjugular intrahepatic portosystemic shunt[J]. *Chin J Bases Clin Gen Surg*, 2019, 26(12): 1424-1428. DOI: 10.7507/1007-9424.201908053.
- [7] SCHOENHAGEN P, NUMBURI U, HALLIBURTON SS, et al. Three-dimensional imaging in the context of minimally invasive and transcatheter cardiovascular interventions using multi-detector computed tomography: from pre-operative planning to intra-operative guidance[J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(22): 2727-2740. DOI: 10.1093/eurheartj/ehq302.
- [8] DE ASSIS A, DE CARVALHO MELO JA JR, KAWAKAMI WY, et al. Life-threatening variceal bleeding after liver transplantation and extensive portal vein thrombosis: desperate times call for desperate measures[J]. *Pediatr Transplant*, 2023, 27(8): e14555. DOI: 10.1111/ptr.14555.
- [9] DUFFY JP, HONG JC, FARMER DG, et al. Vascular complications of orthotopic liver transplantation: experience in more than 4, 200 patients[J]. *J Am Coll Surg*, 2009, 208(5): 896-903; discussion 903-905. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2008.12.032.
- [10] 贺英杰, 温培豪, 张嘉凯, 等. 肝移植术后早期门静脉并发症的危险因素分析及诊治经验[J]. *中华器官移植杂志*, 2019, 40(11): 660-664. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1785.2019.11.003.
HE YJ, WEN PH, ZHANG JK, et al. Risk factor analysis and diagnosis and treatment of early portal vein complications after liver transplantation[J]. *Chin J Organ Transplant*, 2019, 40(11): 660-664. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1785.2019.11.003.
- [11] HU LS, ZHAO Z, LI T, et al. The management of portal

- vein thrombosis after adult liver transplantation: a case series and review of the literature[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(16): 4909. DOI: 10.3390/jcm11164909.
- [12] 张佳斌, 栗光明. 成人肝移植术后血管并发症的诊治[J]. *器官移植*, 2022, 13(5): 555-560. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2022.05.002.
ZHANG JB, LI GM. Diagnosis and treatment of vascular complications after liver transplantation in adults[J]. *Organ Transplant*, 2022, 13(5): 555-560. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2022.05.002.
- [13] NACIF LS, ZANINI LY, PINHEIRO RS, et al. Portal vein surgical treatment on non-tumoral portal vein thrombosis in liver transplantation: systematic review and meta-analysis[J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2021, 76: e2184. DOI: 10.6061/clinics/2021/e2184.
- [14] MARRA P, DULCETTA L, CARBONE FS, et al. The role of imaging in portal vein thrombosis: from the diagnosis to the interventional radiological management[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(11): 2628. DOI: 10.3390/diagnostics12112628.
- [15] 田明国, 卜阳, 丁荣华, 等. 门静脉高压症食管旁静脉的 CT 检查解剖特征及临床意义[J]. *中华消化外科杂志*, 2022, 21(2): 295-302. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20220129-00063.
TIAN MG, BU Y, DING RH, et al. CT examination anatomical features and clinical significance of paraesophageal vein in portal hypertension[J]. *Chin J Dig Surg*, 2022, 21(2): 295-302. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20220129-00063.
- [16] 张梅, 张晓刚, 田敏, 等. 肝移植术后门静脉狭窄 18 例临床分析[J]. *器官移植*, 2017, 8(6): 445-449. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2017.06.007.
ZHANG M, ZHANG XG, TIAN M, et al. Clinical analysis of 18 patients with portal vein stenosis after liver transplantation[J]. *Organ Transplant*, 2017, 8(6): 445-449. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2017.06.007.
- [17] KREFT B, STRUNK H, FLACKE S, et al. Detection of thrombosis in the portal venous system: comparison of contrast-enhanced MR angiography with intraarterial digital subtraction angiography[J]. *Radiology*, 2000, 216(1): 86-92. DOI: 10.1148/radiology.216.1.r00j12386.
- [18] BHANGUI P, LIM C, LEVESQUE E, et al. Novel classification of non-malignant portal vein thrombosis: a guide to surgical decision-making during liver transplantation[J]. *J Hepatol*, 2019, 71(5): 1038-1050. DOI: 10.1016/j.jhep.2019.08.012.
- [19] HAKODA H, AKAMATSU N, SHIBATA E, et al. Interventional treatment for portal vein complications utilizing a hybrid operating room after liver transplantation[J]. *HPB (Oxford)*, 2023, 25(5): 589-592. DOI: 10.1016/j.hpb.2023.01.020.
- [20] SARE A, CHANDRA V, SHANMUGASUNDARAM S, et al. Safety and efficacy of endovascular treatment of portal vein stenosis in liver transplant recipients: a systematic review[J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2021, 55(5): 452-460. DOI: 10.1177/1538574421994417.
- [21] KIRCHNER VA, O'FARRELL B, IMBER C, et al. What is the optimal management of thromboprophylaxis after liver transplantation regarding prevention of bleeding, hepatic artery, or portal vein thrombosis? a systematic review of the literature and expert panel recommendations[J]. *Clin Transplant*, 2022, 36(10): e14629. DOI: 10.1111/ctr.14629.
- [22] 张华, 王建华, 刘嵘, 等. 经皮穿肝介入治疗肝移植(LT)术后门静脉发症(PVC)——附长期随访报告[J]. *复旦学报(医学版)*, 2019, 46(6): 764-768. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8467.2019.06.007.
ZHANG H, WANG JH, LIU R, et al. Percutaneous transhepatic interventional therapy for portal vein complications (PVC) after liver transplantation (LT): long-term follow-up results[J]. *Fudan Univ J Med Sci*, 2019, 46(6): 764-768. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8467.2019.06.007.
- [23] OHM JY, KO GY, SUNG KB, et al. Safety and efficacy of transhepatic and transsplenic access for endovascular management of portal vein complications after liver transplantation[J]. *Liver Transpl*, 2017, 23(9): 1133-1142. DOI: 10.1002/lt.24737.
- [24] CAVALCANTE ACBS, CARNEVALE FC, ZURSTRASSEN CE, et al. Recanalization of portal vein thrombosis after pediatric liver transplantation: efficacy and safety of the transsplenic access[J]. *Pediatr Transplant*, 2023, DOI: 10.1111/petr.14537[Epub ahead of print].
- [25] WEI BJ, ZHAI RY, WANG JF, et al. Percutaneous portal venoplasty and stenting for anastomotic stenosis after liver transplantation[J]. *World J Gastroenterol*, 2009, 15(15): 1880-1885. DOI: 10.3748/wjg.15.1880.
- [26] TANG R, YU L, WU G, et al. Modified Meso-Rex bypass with umbilical vein recanalization and intraoperative stenting[J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2021, 406(7): 2553-2562. DOI: 10.1007/s00423-021-02308-4.
- [27] LIAO Z, WANG Z, SU C, et al. Long term prophylactic anticoagulation for portal vein thrombosis after splenectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2023, 18(8): e0290164. DOI: 10.1371/

- journal.pone.0290164.
- [28] GUERRERO A, CAMPO LD, PISCAGLIA F, et al. Anticoagulation improves survival in patients with cirrhosis and portal vein thrombosis: the IMPORTANT competing-risk meta-analysis[J]. *J Hepatol*, 2023, 79(1): 69-78. DOI: 10.1016/j.jhep.2023.02.023.
- [29] 中华医学会器官移植学分会围手术期管理学组. 肝移植围手术期血管并发症诊治专家共识(2021版)[J]. *中华外科杂志*, 2021, 59(8): 641-645. DOI: 10.3760/cma.j.cn112139-20210502-00192.
- Perioperative management Group of Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association. Expert consensus on perioperative vascular complications for liver transplantation(2021)[J]. *Chin J Surg*, 2021, 59(8): 641-645. DOI: 10.3760/cma.j.cn112139-20210502-00192.
- [30] ZHONG L, REN TT, SHI L, et al. Global research on portal vein thrombosis and liver transplantation: a bibliometric and visualized study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(32): e34497. DOI: 10.1097/MD.00000000000034497.
- [31] UENO T, TOYAMA C, DEGUCHI K, et al. Long-term outcome of portal vein stenting after pediatric living donor liver transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2022, 54(2): 454-456. DOI: 10.1016/j.transproceed.2022.01.008.
- [32] 赫嵘, 贾哲, 蒋力, 等. 三维可视化消融辅助系统在肝细胞癌射频消融术中的应用价值[J]. *临床肝胆病杂志*, 2022, 38(9): 2046-2052. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2022.09.019.
- HE R, JIA Z, JIANG L, et al. Application of the three-dimensional visualization ablation planning system in radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma[J]. *J Clin Hepatol*, 2022, 38(9): 2046-2052. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2022.09.019.
- [33] 胡鑫, 蒲先智, 陈林, 等. 三维 DSA 彩色融合技术在大脑中动脉远端血管介入术中导航定位的应用[J]. *介入放射学杂志*, 2022, 31(6): 538-542. DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2022.06.003.
- HU X, PU XZ, CHEN L, et al. The application of 3D-DSA color fusion technique in interventional intraoperative navigation and positioning of the distal vessels of middle cerebral artery[J]. *J Interv Radiol*, 2022, 31(6): 538-542. DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2022.06.003.
- [34] 李自恒, 赵卫, 胡继红, 等. 影像融合技术引导经颈静脉肝内门体分流术中穿刺门静脉的可行性[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2021, 18(9): 526-530. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2021.09.004.
- LI ZH, ZHAO W, HU JH, et al. Feasibility of image fusion technique for guiding portal vein puncture during transjugular intrahepatic portosystemic shunt[J]. *Chin J Interv Imag Ther*, 2021, 18(9): 526-530. DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2021.09.004.
- [35] BALCI D, KIRIMKER EO, RAPTIS DA, et al. Uses of a dedicated 3D reconstruction software with augmented and mixed reality in planning and performing advanced liver surgery and living donor liver transplantation (with videos)[J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2022, 21(5): 455-461. DOI: 10.1016/j.hbpd.2022.09.001.
- [36] 赵文博, 李长贤, 季顾惟, 等. 基于三维可视化的肝中静脉及其属支的解剖研究[J]. *中华消化外科杂志*, 2021, 20(1): 125-130. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20201107-00702.
- ZHAO WB, LI CX, JI GW, et al. Anatomical study of middle hepatic vein and its tributaries based on three-dimensional visualization technology[J]. *Chin J Dig Surg*, 2021, 20(1): 125-130. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20201107-00702.
- [37] RUZZENENTE A, ALAIMO L, CONCIS S, et al. Hyper accuracy three-dimensional (HA3D™) technology for planning complex liver resections: a preliminary single center experience[J]. *Updates Surg*, 2023, 75(1): 105-114. DOI: 10.1007/s13304-022-01365-8.
- [38] LI XL, XU B, ZHU XD, et al. Simulation of portal/hepatic vein associated remnant liver ischemia/congestion by three-dimensional visualization technology based on preoperative CT scan[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(9): 756. DOI: 10.21037/atm-20-7920.

(收稿日期: 2023-10-08)

(本文编辑: 林佳美 吴秋玲)