

田全发,郑卫华,王子航,等.肝双重动脉血供模型的建立与理论应用[J].中国比较医学杂志,2021,31(7):15-20.

Tian QF, Zheng WH, Wang ZH, et al. Establishment and theoretical application of a liver double artery blood supply model [J]. Chin J Comp Med, 2021, 31(7): 15-20.

doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2021.07.003

肝双重动脉血供模型的建立与理论应用

田全发^{1,2}, 郑卫华¹, 王子航¹, 李朋飞¹, 张俊晶^{1,3*}

(1. 内蒙古医科大学附属医院肝胆外科, 呼和浩特 010030; 2. 山西省汾阳医院泌尿男科, 山西 汾阳 032200;
3. 呼和浩特市第一医院肝胆外科, 呼和浩特 010030)

【摘要】 目的 建立稳定、成功率高的显微镜下大鼠70%肝切除+肝双重动脉血供的动物模型。**方法** 纳入研究大鼠76只,分训练组40只、造模组36只。训练组模拟手术操作,优化围术期管理;模型组行显微镜下制备大鼠70%肝切除(肝左叶和中叶)+肝双重动脉血供手术,术后观察大鼠一般情况,计算造模成功率和1周存活率。**结果** 通过训练组模拟操作,渡过学习曲线。造模组手术时间为(65.3±6.56) min,血管吻合时间(11.1±2.53) min。术中无明显副损伤,出血量(0.6±0.21) mL。1周后造模成功率88.9%(32/36);造模成功,大鼠术后状态良好。**结论** 显微镜下制备大鼠70%肝切除+LDABS模型操作较为复杂,但通过一定时间显微技能训练后,通过对术式,特别是血管吻合及围手术期护理的改良及创新,使得该模型成功率高、可重复性强,为进一步研究其在肝再生、急性肝功能衰竭和肝移植等中应用奠定基础。

【关键词】 门静脉动脉化;肝双重动脉血供;围手术期;血管吻合;肝切除

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856 (2021) 07-0015-06

Establishment and theoretical application of a liver double artery blood supply model

TIAN Quanfa^{1,2}, ZHENG Weihua¹, WANG Zihang¹, LI Pengfei¹, ZHANG Junjing^{1,3*}

(1. Hepatobiliary Surgery, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010030, China.
2. Andrology of Urology, Fenyang Hospital of Shanxi Province, Fenyang 032200.
3. Hepatobiliary Surgery, Huhhot First Hospital, Hohhot 010030)

【Abstract】 Objective An animal model of 70% partial hepatectomy + liver dual arterial blood supply (LDABS) was established. **Methods** Seventy-six rats were divided into a training group ($n=40$) and a model group ($n=36$). In the model group, 70% partial hepatectomy (left lobe and middle lobe of liver) + double artery blood supply surgery of the liver was performed under a microscope. The general status of rats was observed after surgery, and the success and 1 week survival rates were calculated. **Results** Through simulated surgery in the training group, the learning curve was crossed. The surgery duration of the model group was (65.3 ± 6.56) min, and the vascular anastomosis time was (11.1 ± 2.53) min. During the surgery, there were no obvious side injuries and less bleeding, of no more than 0.8 mL, was observed. One week later, the modeling success rate was 88.9% (32/36), and the rats were in good condition. **Conclusions** Surgery consisting of 70% hepatectomy + LDABS in rats under a microscope is relatively complicated. However, after a

【基金项目】 国家自然科学基金(81560113);内蒙古自然科学基金重大项目(2015ZD(LH)01);内蒙古自然科学基金(2014MS0850);内蒙古自治区高等学校青年科技领军人才支持计划(NJYT-17-A15)。

【作者简介】 田全发(1986—),男,主治医师,研究方向:泌尿男科。E-mail:137646675@qq.com

【通信作者】 张俊晶(1978—),男,教授,主任医师,博士研究生。研究方向:肝胆胰疾病的基础与临床研究。E-mail:zhang.jj@vip.163.com

period of microsurgery training, the improvements and innovation of the surgical mode, especially vascular anastomosis and perioperative nursing, resulted in a high success rate and strong repeatability of the model, laying the foundation for further research on its application in liver regeneration, acute liver failure, and liver transplantation.

【Keywords】 portal vein arterialization; liver double artery blood supply; perioperative period; vascular anastomosis; partial hepatectomy

正常肝由门静脉和肝动脉双重血液供应。将肝动脉血保持不变,门静脉血完全或部分被动脉血替代灌注入肝称之为肝双重动脉血供(liver double artery blood supply, LDABS)。此术式是门静脉动脉化的一个分支(portal vein arterialization, PVA),最早由 Qiao 等^[1]提出。LDABS 目前主要应用于急性肝功能衰竭、原位肝移植以及辅助肝移植前后的门静脉血栓形成等^[2-4],已显示较好的效果,且可维持肝功能和形态^[5-7]。但 LDABS 毕竟改变了正常的生理解剖关系,特殊情况下应用产生的良好效果是否说明该技术可常规应用于此类患者,需要临床前的深入研究^[8-9]。因此,建立适宜的动物模型,对于解决上述问题具有重要的意义。目前有关 LDABS 模型制备方法少有系统文献阐述,尤其在模型中涉及血流控制、血管吻合等问题更是让研究者望而却步。本研究旨在建立一种成熟稳定、易于操作的 LDABS 动物模型,在此基础上,探讨其理论应用价值。

1 材料和方法

1.1 实验动物

6~8 周龄 SPF 级雄性 SD 大鼠 76 只,体重 300~330 g,购自浙江维通利华实验动物技术有限公司[SCXK(浙)2019-0001]。本课题组适应性饲养,无菌手术在上海懿贝瑞生物医药科技有限公司中心屏障动物实验设施进行[SYXK(沪)2017-0014],饲养环境:温度 21℃~24℃,湿度 40%~50%,光照:12 h/12 h 明暗交替,噪声<50 dB,IVC 笼内饲养,自由饮食。实验过程中按“3R”原则给予人道的关怀。手术显微镜(Leica M 525 F20)双人配合完成,本实验研究通过内蒙古医科大学伦理审查(YKD2015102)。

1.2 主要试剂与仪器

0.9%氯化钠注射液,山东齐都药业有限公司;碳酸氢钠注射液,山西省芮城科龙兽药有限公司;肝素钠,上海化学试剂厂;低分子肝素钙,兆科药业(合肥)有限公司;5%葡萄糖注射液,广东圣戈生物科技有限公司;异氟烷,深圳市瑞沃德生命科技有限公司;注射用青霉素钠,华北制药股份有限公司;

10-0\6-0\4-0 缝合线,宁波医用缝线有限公司;医用纱布敷料,南昌市恩惠医用卫生材料有限公司;医用棉签,湖南永康医疗器械有限公司;M525F20 莱卡显微镜,长沙医疗器械厂;小动物气体麻醉呼吸机,上海玉研科学仪器有限公司;显微镊、显微血管夹,上海医疗器械(集团)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 手术步骤

(1) 100% O₂ 2~4 L/min 混合异氟烷吸入麻醉,浓度 3.5%~5%诱导,1.5%~2.5%吸入维持。麻醉成功后取仰卧位,将大鼠四肢固定于自制固定板,术野常规脱毛消毒处理。采用腹正中切口,逐层进腹,自制拉钩暴露手术视野。

(2) 血管夹阻断门静脉 2 min,4-0 线结扎肝左外叶及中叶,开放门静脉,可见剩余肝叶充血性改变(图 1A),沿结扎线切除肝左外叶、中叶(图 1B),可见残腹腔(图 1C)。

(3) 下腔静脉下方作隧道放 4-0 线预防出血。剥除下腔静脉与门静脉外膜,分离右肾动脉(图 1D),斜形半剪开右肾动脉(图 1E),插入聚乙烯管(管内充满肝素水,长度 23 mm,内直径 0.5 mm)后再离断右肾动脉,6-0 线固定管。

(4) 将门静脉骨骼化(图 1F),冲洗腹腔。显微镊夹闭门静脉远端,调整脾静脉端在显微镊最里侧,定为“0”点。斜形 45°半剪开门静脉(图 2A),插入聚乙烯管另一端,6-0 线绑定,再离断门静脉。门静脉开放过程不超过 1 s。

(5) 4-0 线阻断下腔静脉两端。显微镊尖端提起下腔静脉,剪成鱼口状,修剪鱼状口直径与门静脉斜形断端直径大致相等,肝素水冲洗断端。可将门静脉近脾静脉端、下腔静脉近心端定为 0 点,门静脉远离脾静脉端、下腔静脉远心端定位为 6 点。“米”字形八个点使用找中点法按门静脉定点 9-10.5-7.5-6-0-3-1.5-4.5 顺序依次缝合(图 2B)。每一针按“血管外-里-里-外”用 10-0 线与相对点缝合,“0”“6”两点拐角位置,采用拐角水平褥式缝合(图 2C)。拐角即血管吻合形成折角的位置。缝合最后一针前短暂开放门静脉使高凝血

流出,再大量肝素水冲洗管腔,在肝素水里缝合最后一针。开放下腔静脉两端及门静脉,观察吻合口是否漏血及狭窄(图 2D)。

(6)术毕检验聚乙烯管是否通畅。一是观察肝颜色判断管是否通畅,如肝颜色鲜红则通。如肝发黄或暗黄难判定时,显微镊从远心端朝近心端夹闭并撸、刮聚乙烯管,人为制造小气泡观察管是否通畅(图 2E)。如通,小气泡被快速推走,如不通,小气泡在原处。

(7)观察如无活动性出血,6-0 连续缝合肌肉层连同腹膜,4-0 间断缝合大鼠皮层,动物模型成功。

1.3.2 围手术期处理

术前 12 h 禁食,不限饮水。术前 1 h 称重,低分子肝素钙 100 U/kg 皮下注射,阿托品 0.03 mg/kg 肌注,同时颈部皮下注射生理盐水、5%葡萄糖及 5%碳酸氢钠共 4 mL(比例 3:3:1 配置)。术中根据大鼠呼吸频率判断麻醉深度以便调节异氟烷浓度,术毕停止吸入麻醉药,大鼠在术后 4 min 内苏醒,可翻身活动。术后暖光照射 1 h,自由进水,术后第 1 天给食。术后前 3 d 青霉素肌注 10000 U/100(g·d),皮下注射低分子肝素钙 100 u/kg,q12 h。

1.4 观察内容

记录手术时间,计算造模成功率,观察大鼠术后一般情况,包括毛发、色泽、尿液颜色、体重、肝体积变化及色泽改变。术后 24 h 采用 Vero 2100 超高分辨率小动物超声影像系统(加拿大 Visual Sonics)检测大鼠门静脉静脉及吻合口血流情况。

2 结果

共纳入 76 只大鼠,40 只作为训练组,36 只大鼠作为模型组。训练组动物术中门静脉出血 3 只,吻合口缝合完有渗血数量为 10 只;术后死亡尸检出血 8 只,肺栓塞 10 只,肝坏死 4 只,肠坏死 5 只。模型组大鼠死亡 4 只,尸检:肺栓塞 2 只,肝坏死 1 只,肠道坏死 1 只。模型组手术时间为(65.3±6.56)min,血管吻合时间(11.1±2.53)min。术中无明显副损伤,出血量(0.6±0.21)mL,术后存活超过 24 h 标志造模成功,成功率 100%(36/36),相关并发症发生率为 0%。大鼠术后能自由进食水,警觉,活动如常,毛发光泽略暗。术后 24 h 尿液呈淡红色,48~72 h 后尿液颜色恢复正常色泽。术后 24 h 超声检测门静脉血流(5.8±1.5)mL/(min·g)肝重(与原门静脉

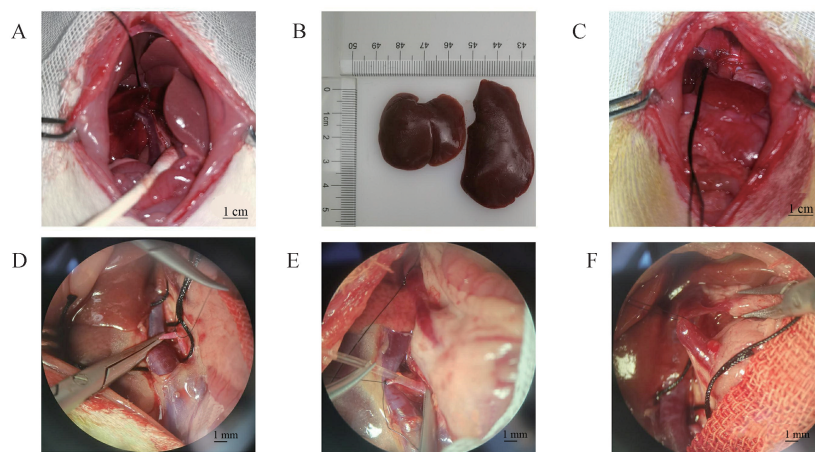
血流量相似),吻合口血流通畅,无明显狭窄。1 周后造模成功率 88.9%(32/36),相关并发症发生率为 11.1%。1 周后大鼠取材,剖腹探查发现肝呈鲜红色色泽改变,肝体积饱满及增大明显,右肾实质发黄萎缩,吻合口愈合良好,通畅无狭窄(图 2F)。

3 讨论

3.1 手术操作技巧及改进

此模型术式主要包括三个步骤:肝切除、门腔静脉吻合及门静脉动脉化。70%肝切除是经典肝再生研究模型,其手术技巧大多文献谈及^[10]。此不再赘述,但得需注意以下问题:在结扎肝叶前阻断门静脉 2 min,可使血量丢失更少。结扎位置较深肝叶时,避免撕扯、牵拉肝组织。打结时尽量靠近被切除的肝叶,避免结扎下腔静脉。门静脉动脉化指将门静脉改道,门静脉远端注入下腔静脉,近端引入右肾动脉血。

血管吻合口漏血及狭窄是主要并发症^[11-13],这也是早期模拟训练需解决的主要问题之一。因门静脉及腔静脉位置固定、内径小、壁薄、位置深,门腔吻合在技术上更具有挑战性。吻合方式方法有多种,但至今没有一个理想的方法可供借鉴,完美的微血管缝合技术应具备吻合方式易操作、血管缺血时间短、血管壁损伤小及最佳的近远期通畅率等优点。陈永亮等^[14]运用缝合的方式,将门静脉端侧与肝动脉吻合,侧侧吻合连接下腔静脉与门静脉制作完全门静脉动脉化(CPVA)大鼠模型。此方法对于外科手术者操作要求较高且稳定性较差,手术时间长,血液形成逆流,易致大量血栓形成,且创伤大。陈鹏等^[15]通过切除左肾,利用同种异体材料作为套管,将左肾动脉与原有门静脉血共同汇入门静脉制作门静脉动脉化,优点是术式简单,手术时间短。但缺点也明显:门静脉属支有发生回流受阻的可能,易形成免疫反应,术后随时间推移发生血管扭转,引起狭窄的可能性较传统术式高。基于文献和课题组前期的工作基础^[16-17],针对门腔静脉解剖特点,课题组再次对血管吻合进行了改进与创新。吻合口修剪为鱼口状,以脾静脉汇合处作为参照,按照特定的顺序进行(图 2B),特定顺序能够在不必牵引血管情况下,保证外翻缝合。Qiao 等^[17]多采用定点缝合,反复牵引、调整位置用来保证外翻缝合,增加了血管壁损伤的概率,牵引张力不均匀亦出现针距的不均匀。而本研究提出的“米”吻合顺

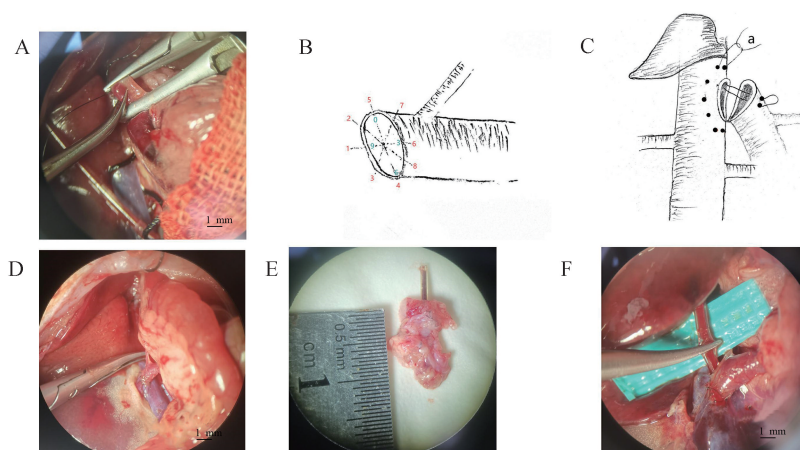


注:A:右叶、乳头状叶、尾叶充血性改变;B:切除的肝组织;C:肝切除后的腹腔;D:分离右肾动脉;E:右肾动脉插管;F:门静脉骨骼化。

图1 肝双重动脉血供手术步骤

Note. A, Results showed that the right lobe, papillary lobe and caudate lobe were congestive. B, Liver tissue removed. C, Abdominal cavity after partial hepatectomy. D, Separation of right renal artery. E, Catheterization of right renal artery. F, Skeletonization of portal vein.

Figure 1 Operative steps for the liver arterial blood supply



注:A:斜45°半剪开门静脉;B:斜形45°剪开门静脉,圆圈内数字代表钟表的时间,管壁外数字表示缝合顺序;C:门腔静脉吻合示意图,a:拐角两点水平褥式缝合;D:门静脉下腔静脉吻合口(0 h);E:取材吻合口通畅(168 h);F:人为制造小气泡观察管是否通畅。

图2 肝双重动脉血供手术步骤及手术技巧简图

Note. A, Oblique 45° half cut open-door vein. B, Oblique 45° cut open-door vein, the circle is the cross-section of blood vessel. The number in the tube wall represents the time of the clock and the number outside the tube wall indicates the suture sequence. C, Schematic diagram of portal vein anastomosis. a, Horizontal mattress suture at two points at the corner. D, Portal vena cava anastomosis (0 h). E, Unobstructed anastomosis (168 h). F, Artificially made small bubbles to observe whether the tube is unobstructed.

Figure 2 Schematic diagram of the operative steps and surgical technique for the liver dual arterial blood supply

序无需反复翻转血管牵引缝合,可以避免上述情况发生。门腔静脉吻合时需将系膜组织以及肠管整体向左侧翻转,血管吻合时存在一定的张力,“米”顺序吻合时“0”“6”两点拐角位置尤为明显,当恢复正常解剖位置时,容易渗、出血。前期训练组常规方法吻合拐角,有渗血数量为10只,需用压迫3 min;术后出血死亡数为8只,尸检发现大部分是因两拐角出现问题,这种现象与门腔静脉血管解剖位置、吻合手法技巧有关。在此,笔者课题组创新

性采用拐角两点水平褥式缝合法,既有利于外翻缝合,又让拐角结合处受力均匀,避免血管牵张力不均而形成漏,又使吻合口出血极少。36只模型组大鼠使用拐角两点水平褥式缝合法后实现了术中吻合口出血极少,术后出血死亡数均为零。但需注意水平褥式缝合时缘距及针距不可过大,否则易狭窄。

门静脉动脉化时,因动脉壁厚且直径小,静脉壁薄且直径大,如直接吻合并并发症多,且不易控制血流量。既往文献研究证实,门静脉压力过高过低

都会抑制肝再生^[18-20]。本研究借助内径 0.5 mm 聚乙烯管将右肾动脉血液引入门静脉,形成肝双重动脉血供。此管内径出血量与门静脉原有血流量相似,且可避免血管吻合所带来并发症。门静脉血流通畅是保证模型成功的基础,既往有文献报道,门静脉动脉化后肝萎缩,考虑与门静脉架桥血流不通畅有关^[18]。架桥血管是否通畅,包含肾动脉侧因素、架桥血管因素以及门静脉侧因素。肾动脉侧需注意假道,肾动脉插入聚乙烯管时易把动脉内膜或肌层强推到管径内人为造成堵塞。此时手法技巧很重要,本研究首次使用斜形半剪开肾动脉后,镊子轻提肾动脉断端的全层,管旋转插入可避免。

门静脉侧置管,是本研究的创新点之一,本研究首次提出利用自身牵引法,斜形 45°半剪开门静脉方法(图 2A 注意角度及位置)置管,然后离断,避免了门静脉回缩。45°斜切可使吻合口面积扩大 2 倍,不至于产生吻合口狭窄。此外,还需观察右肾动脉血液流出情况。可以短暂开放右肾动脉,如血流速度快,呈喷射状,可以置入;如血流速度较慢,注意观察右肾动脉有无分支。如有,需结扎肾动脉分支,否则会影响血流速度。操作过程中,保持肝素水不定时冲洗聚乙烯管腔,防止血栓形成。

3.2 并发症的预防

血管吻合前已述及,是模型制备的关键,而由血管吻合导致的并发症发生率可以通过大量的模拟训练降低或避免。除此而外,其他并发症亦影响模型制备的效果和成功率,如模型操作过程中脏器功能保护、麻醉护理等等。通过前期模拟操作后,造模组仍有 4 只大鼠死亡,其原因考虑如下。

3.2.1 出血

分术中出血及术后出血,术后出血在门腔静脉吻合处已经谈及,此处不再赘述。术中出血多发生在门静脉骨骼化过程中,由于门静脉解剖结构复杂,门静脉下方紧贴肝固有动脉,左侧有脾动静脉分支,且无明显分离界限,由纤维组织缠绕相连。因此,术中动作尽量轻柔,必要时可用显微剪刀剪断纤维组织,不可强撕扯,易造成血管壁破裂。本组没有术中出血导致的死亡,但术中出血影响术后存活。

3.2.2 肺栓塞

为最严重及最常见的并发症之一。熟练显微操作,缩短手术阻断时间是关键因素之一,同时皮下注射低分子肝素钙^[21]。及时清理吻合口周围微

小杂物,缝合完毕前肝素水多次冲洗管腔。在吻合最后一针前,短暂开放门静脉释放淤阻的高凝血液与血凝块。通过改进,造模组此并发症大大减少,但仍有 2 只动物因此而死亡。

3.2.3 肝坏死

尸检时发现肝土黄色改变,肝表面有散在出血点。前已述及,结扎肝蒂时线尽量靠近预切除的肝叶,同时注意不能结扎了肝叶后方的下腔静脉。本组有 1 例动物肝坏死死亡,考虑与此有关。

3.2.4 肠道坏死

避免肠管长时间受到压力,暴露视野时,可暂将肠道置于腹腔外。每隔 3 min 暴露的肠管上滴加生理盐水,肠管放回原位时,采用棉签轻拨、动作轻柔,避免肠道折叠甚至打结造成肠梗阻。吻合口狭窄、血栓形成也是肠道坏死的重要原因,术后第 1 天内禁食,可预防急性胃肠扩张。通过模拟训练,此种情况在后期较为少见。

3.2.5 感染

由于实验环境在相对无菌条件下进行,加之术中及术后 3 d 常规应用青霉素肌注,同时注意术中严格按照无菌操作进行。本组大鼠均未因感染而死亡。

围术期护理方面:(1)吸入性麻醉剂异氟烷在肝代谢率低,肝毒性小,对胃肠道机能影响小,是理想的麻醉剂^[22]。术中麻醉剂摄入量越小,副作用越小。当术中调整至浓度 1.5% 甚至更低时,此时应密切注意大鼠呼吸频率及幅度。当在大鼠出现首次惊厥,或呼吸频率急促,表示大鼠即将苏醒,说明给的剂量低,大鼠会在 3~5 min 内恢复意识。需立即调高流量 0.3%~0.5% 剂量。(2)术前肌注阿托品,可减少呼吸道分泌物、防止窒息等并发症。(3)因门腔静脉吻合时需阻断门静脉、下腔静脉血液回流,时间过长易致缺氧性酸中毒,适当的补充碳酸氢钠则可改善肠道缺血缺氧再灌注损伤形成的酸中毒。(4)皮下注射低分子肝素钙可预防长时间血流阻断,细小血凝块析出致肺栓塞发生的几率。(5)术后 24 h 内需禁食,进食可能因手术、麻醉等致胃肠蠕动功能降低,有可能导致急性胃肠扩张,必要时可行胃插管进行胃肠减压对症治疗,可建议给予颈部皮下注射生理盐水、5% 葡萄糖及 5% 碳酸氢钠共 4 mL(比例 3:3:1 配置)进行基础能量补充。术后第 1 天再给予鼠粮进食。

综上所述,多种因素都能影响 LDABS 动物模型

的存活。因此,必须重视操作中所有细节。熟练进行显微外科操作,精准手术是缩短操作过程及减少手术并发症的前提;良好的麻醉控制,稳定的血流动力学及术后围手术期精心护理等才能够使手术成功率大大提高。

参考文献:

- [1] Qiao J, Han C, Zhang J, et al. A new rat model of auxiliary partial heterotopic liver transplantation with liver dual arterial blood supply [J]. *Exp Ther Med*, 2015, 9(2): 367-371.
- [2] Matzander U. First experiences with liver arterialization following portacaval anastomosis [J]. *Langenbecks Arch Chir*, 1969, 325: 1134-1139.
- [3] Li J, Zhang Y, Ren J, et al. Improved donor liver position selection and revascularization for heterotopic auxiliary liver transplantation with portal vein arterialization [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(10): 18638-18646.
- [4] Yoshiya S, Yoshizumi T, Iseda N, et al. Anastomosis of the common hepatic artery and round ligament as portal vein arterialization for hepatic artery occlusion after deceased donor liver transplantation: a case report [J]. *Transplant Proc*, 2020, 52(2): 641-643.
- [5] Ashour MT, Elsebae M, Ezzat H, et al. Partial portal vein arterialization maintains regeneration after critical major hepatectomy: experimental study [J]. *J Egypt Soc Parasitol*, 2015, 45(1): 167-175.
- [6] Qiao JL, Sun J, Li J, et al. Liver dual arterial blood supply maintains liver regeneration: Analysis of signaling pathways in rats [J]. *Mol Med Rep*, 2018, 17(1): 979-987.
- [7] Cheng Y, Chen Y, Jiang Y, et al. Ten-year survival after portal vein arterialization in liver transplantation [J]. *Ann Palliat Med*, 2019, 8(5): 790-792.
- [8] Au KP, Chok KSH, Sin SL, et al. Partial portal vein arterialization using right gastroepiploic artery: A novel solution for portal hypoperfusion [J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2018, 17(4): 367-370.
- [9] Fernández-Rodríguez OM, Ríos A, Palenciano C, et al. A hemodynamic, metabolic and histopathological study of a heterotopic auxiliary swine liver graft with portal vein arterialization [J]. *Cir Esp*, 2016, 94(2): 77-85.
- [10] 吕超, 石清兰, 覃倩, 等. 小鼠实验性肝损伤模型的研究进展 [J]. *中国比较医学杂志*, 2019, 29(1): 107-113.
- [11] Ferede AA, Walsh AL, Davis NF, et al. Warm ischemia time at vascular anastomosis is an independent predictor for delayed graft function in kidney transplant recipients [J]. *Exp Clin Transplant*, 2020, 18(1): 13-18.
- [12] Batra K, Chamrathy MR, Reddick M, et al. Diagnosis and interventions of vascular complications in lung transplant [J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2018, 8(3): 378-386.
- [13] 苏卓经, 黄海龙. 小型猪头颈部动脉血管的解剖结构与三维建模 [J]. *中国比较医学杂志*, 2018, 28(5): 95-99.
- [14] 陈永亮, 黄志强, 王迎宾. 门静脉动脉化对实验性梗阻性黄疸大鼠肝细胞凋亡的影响 [J]. *中华普通外科杂志*, 2000, 15(6): 348.
- [15] 陈鹏, 江艺, 张小进. 门静脉动脉化治疗大鼠急性肝衰竭 [J]. *中国组织工程研究*, 2018, 22(12): 1895-1901.
- [16] 梁东彦, 岳中瑾, 郭庆华, 等. 硬膜外导管在大鼠肾移植血管吻合中的应用 [J]. *中国比较医学杂志*, 2010, 20(9): 19-21.
- [17] Qiao JL, Wang ZY, Zhang JJ, et al. Assisting suspension triangulated continuous suture technique for microvascular anastomosis in rat portocaval shunt [J]. *Microsurgery*, 2015, 35(2): 166-167.
- [18] Müller V, Brummer D, Kissler H, et al. Effects of portal vein arterialization on regeneration and morphology in liver transplantation: investigations using the rat model [J]. *Transplantation*, 2004, 78(8): 1159-1165.
- [19] Zhang JJ, Niu JX, Dong C, et al. Portal vein arterialization used in partial hepatectomy maintains liver regeneration [J]. *Sci Res Essays*, 2011, 6(30): 6325-6330.
- [20] Schleimer K, Stippel DL, Kasper HU, et al. Portal vein arterialization increases hepatocellular Apoptosis and inhibits liver regeneration [J]. *J Surg Res*, 2008, 149(2): 250-258.
- [21] 金大鹏, 王文丰, 赵秀娟, 等. 低分子肝素钙改良皮下注射抗血栓的临床效果 [J]. *中国医药导报*, 2017, 14(28): 65-68.
- [22] 孙安会, 谷捷, 吴涛, 等. 四种常用实验麻醉药物对大鼠心血管系统的影响 [J]. *中国实验动物学报*, 2016, 24(2): 120-126.

[收稿日期] 2020-08-13