

糖尿病终末期肾病患者肾移植的围手术期管理

蔡善恒 苗芸 钟羽琦

【摘要】 糖尿病肾病是导致终末期肾病的重要原因之一，肾移植是治疗糖尿病终末期肾病（DN-ESRD）的最佳选择。然而，DN-ESRD 患者存在多种复杂因素影响血糖稳态，长期高血糖使其内环境紊乱、全身器官广泛受累，增加了肾移植围手术期的风险。本文综述了 DN-ESRD 患者肾移植围手术期的管理策略，探讨了围手术期危险因素、术前评估和管理、术中容量和内环境管理以及术后早期管理等内容，并阐述了该领域的最新进展。

【关键词】 糖尿病；终末期肾病；肾移植；围手术期；血流动力学；肾素-血管紧张素-醛固酮系统；移植物功能延迟恢复；连续血糖监测

【中图分类号】 R617, R692 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2025) 04-0017-08

Perioperative management of kidney transplantation in patients with end-stage renal disease due to diabetes Cai Shanheng*, Miao Yun, Zhong Yuqi. *The First Clinical Medical College of Southern Medical University, Guangzhou 510515, China
Corresponding author: Zhong Yuqi, Email: zhongyq1@sysucc.org.cn

【 Abstract 】 Diabetic nephropathy is one of the important causes of end-stage renal disease, and kidney transplantation is the best treatment option for patients with end-stage renal disease due to diabetes (DN-ESRD). However, patients with DN-ESRD have multiple complex factors that affect glucose homeostasis. Long-term hyperglycemia leads to disordered internal environment and extensive involvement of systemic organs, increasing the risks during the perioperative period of kidney transplantation. This article reviews the perioperative management strategies for kidney transplantation in patients with DN-ESRD, discusses the perioperative risk factors, preoperative evaluation and management, intraoperative volume and internal environment management and early postoperative management, and elaborates on the latest progress in this field.

【 Key words 】 Diabetes; End-stage renal disease; Kidney transplantation; Perioperative period; Hemodynamics; Renin-angiotensin-aldosterone system; Delayed graft function; Continuous glucose monitoring

糖尿病肾病（diabetic nephropathy, DN）是导致终末期肾病（end-stage renal disease, ESRD）的重要原因之一，肾移植是治疗 DN-ESRD 的最佳选择。患者存在影响血糖稳态的复杂因素，长期的高血糖也使 DN-ESRD 患者内环境紊乱、全身器官广泛受累，增加了肾移植围手术期的风险。本综述将基于这些因

素对 DN-ESRD 患者肾移植围手术期的管理策略展开讨论，并阐述该领域内的最新进展。

1 DN-ESRD 患者围手术期危险因素

1.1 心血管病变

高血糖可损伤血管，诱发炎症反应、血栓形成和

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2025111

基金项目：国家自然科学基金（82270784、82070770）；广东省基础与应用基础研究基金（2024A1515012700）；广州地区临床高新和重大技术项目（2024CL-GX03）

作者单位：510515 广州，南方医科大学第一临床医学院（蔡善恒）；南方医科大学南方医院器官移植科（苗芸）；中山大学肿瘤防治中心麻醉科（钟羽琦）

作者简介：蔡善恒（ORCID 0009-0005-5637-6693），本科，研究方向为肾移植围手术期管理，Email: 2896611588@qq.com

通信作者：钟羽琦（ORCID 0009-0003-7456-7173），硕士，住院医师，研究方向为肾移植围手术期管理，Email: zhongyq1@sysucc.org.cn

动脉粥样硬化, 斑块形成会使血管狭窄, 外周阻力增大, 从而增大左心室射血阻力, 此外, 同型半胱氨酸等尿毒症毒素加速血管钙化、损伤心肌细胞^[1-2]。由于糖尿病引发的肾功能不全, DN-ESRD 患者更容易发生慢性贫血, 进而激活交感神经系统, 提高心率和心输出量, 以此补偿因贫血造成的氧气运输能力下降, 因此, 患者的心脏容量负荷显著增加。

1.2 肾功能不全

持续的高血糖可通过精子相关抗原 5/蛋白激酶 B/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白通路、诱导线粒体产生过量活性氧簇等途径诱导足细胞凋亡^[3-4], 肾小球滤过屏障的完整性丧失, 引起蛋白尿, 损伤肾小管, 导致间质纤维化, 进而损伤肾小球的血供。

肾血管狭窄和损伤导致肾缺血, 刺激肾素分泌, 激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统 (renin-angiotensin-aldosterone system, RAAS)。高血糖刺激钠-葡萄糖协同转运蛋白 2, 增加近端小管对葡萄糖和氯化钠的重吸收, 致密斑处氯化钠浓度降低, 也引起血管紧张素 II 的释放^[5]。因此, DN-ESRD 患者的血管紧张素 II 含量显著高于非糖尿病患者, 血管紧张素 II 促进外周血管强烈收缩, 并刺激肾小管上皮细胞分泌醛固酮, 水钠潴留增强, 血容量增加, 引起严重高血压。

1.3 内环境紊乱

DN-ESRD 患者长期处于高血糖状态、肾滤过功能受损, 常伴随明显的酸碱平衡紊乱和电解质紊乱。患者肾排酸能力下降, 酸潴留刺激醛固酮、内皮素和血管紧张素 II 的释放^[6], 进一步引起肾损伤。此外, 酸性环境降低胰岛素与受体的结合率, 影响患者血糖。患者糖代谢紊乱, 血中过多的酮体消耗患者的储备碱, 酮症酸中毒的可能性增加。代谢性酸中毒和高渗状态也使 DN-ESRD 患者易合并高钾血症, 从而增加心律失常的风险。

2 DN-ESRD 患者术前评估和管理

2.1 血糖评估和管理

术前评估应明确糖尿病的类型及持续时间、药物治疗情况, 测量糖化血红蛋白和血糖的水平, 了解患者血糖控制程度, 评估围手术期血糖波动风险。建议术前控制糖化血红蛋白 <8.5%^[7-8], 若随机血糖 ≥ 12.0 mmol/L 或糖化血红蛋白 $\geq 9\%$, 考虑推迟手术^[9]。

应最大限度缩短禁食期, 根据禁食时间和血糖情况调整降糖药方案, 维持血糖在 6~10 mmol/L。根

据指南内容^[7-8], 对于可能只错过一餐的患者, 若存在低血糖风险, 应在空腹时停用格列奈类药物、磺脲类药物等, 因为以上药物主要依靠降低葡萄糖浓度发挥作用。存在酮症酸中毒风险时, 应在禁食时停用 SGLT-2 抑制剂。阿卡波糖等药物主要通过阻止葡萄糖水平升高发挥作用, 在禁食时可照常服用。使用可变速率静脉输注胰岛素时, 应停用大部分降糖药物。既往研究一般认为与二甲双胍相关的乳酸性酸中毒是罕见的, 但已有多项最新指南指出, 估算肾小球滤过率 <30 mL/min 时应禁用二甲双胍^[9-10], DN-ESRD 患者不宜使用。

2.2 水电解质评估和管理

血钾异常是 DN-ESRD 患者术前评估时需要评估的主要问题。由于尿钾排泄受损、RAAS 抑制剂的应用, 患者很可能存在高钾血症, 而使用利尿药可能会引起低钾血症。在患有高钾血症的慢性肾病患者中停用 RAAS 抑制剂, 与心血管事件发生和死亡风险增高有关^[11], 因此不宜停用。如血钾紊乱由利尿药引起, 应及时更换用药。

有关术前血钾的最佳范围仍存在争议。一项研究显示, ESRD 患者的血钾与死亡风险呈 U 形关系, 当血钾为 4.9 mmol/L 时死亡风险最低^[12]。建议将 DN-ESRD 患者的术前血钾水平维持在 4.9 mmol/L 左右, 最大限度避免心血管事件的发生。

2.3 心血管功能评估和血压管理

应通过修正心脏危险指数、围手术期心肌梗死和心脏骤停风险评分等风险指数评估 DN-ESRD 患者的心血管疾病风险。缺乏数据支持使用某种特定的风险指数, 应综合使用进行分析。高风险患者建议进行标准运动耐量测试和冠状动脉 CT 血管成像检查, 对肌钙蛋白、B 型脑钠肽、心肌酶谱等指标进行监测。

DN-ESRD 患者的自主神经系统长期受到高血糖的损害, 心血管自主神经病变的可能性较大, 手术风险较高。建议对此类患者进行心率变异性 and 心血管自主神经反射测试, 以评估心血管自主神经病变的严重程度。

应当在术前纠正 DN-ESRD 患者的高血压, 使其接近正常范围, 但不应过度降压。一篇系统性综述认为, 将 ESRD 患者移植前舒张压控制在 50~80 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa) 以下, 可能与降低移植植物功能延迟恢复 (delayed graft function, DGF) 发生率和病死率有关^[13]。另一项研究显示, 术前平均动

脉压 (mean arterial pressure, MAP) <80 mmHg 和舒张压 <70 mmHg 与 DGF 的发生率存在相关性^[14]。因此, 推荐在术前维持 DN-ESRD 患者血压在略高于正常值的水平 (如 160/100 mmHg)。

2.4 肾功能评估

使用肌酐评估的肾小球滤过率是评估患者肾功能的常用方法。然而, 一些研究发现, 基于肌酐的检测易高估患者肾功能^[15], 建议联合胱抑素 C 进行评估。同时, 建议持续监测尿蛋白与肌酐比值, 及时评估 ESRD 的进展情况。若 DN-ESRD 患者存在贫血和低蛋白血症, 应使用铁剂和低氧诱导因子脯氨酰羟化酶抑制剂等药物及时纠正, 并警惕潜在的铁超载^[16]。

DN-ESRD 患者易出现髂动脉的钙化和狭窄, 影响肾移植血管吻合, 建议联合多普勒超声和对比增强 CT 扫描筛查。多普勒超声的敏感性较高, 但有研究表明, 它在 20% 的病例中无法得出结论^[17]。对比增强 CT 扫描的钙化评分往往可能高估钙化的体积和质量, 准确性和可靠性较低^[18], 综合二者进行分析有助于风险分层。

3 DN-ESRD 患者术中容量管理

容量管理是 DN-ESRD 患者肾移植围手术期的重点。低血容量可能导致不良组织灌注, 影响移植肾功能, 而过高的容量负荷可能加剧患者的高血压和心功能不全。围手术期应防止低血容量或过度输液的发生, 保持患者容积状态接近 Frank-Starling 曲线的最高点, 确保移植肾灌注效果良好。

3.1 初步计算输液总量

在进行正式液体输注前, 首先应测试患者的液体反应性。若输液可以增加容量负荷, 从而增加心输出量, 则根据 DN-ESRD 患者的具体情况计算围手术期输液总量, 一般包括: (1) 围手术期每日生理需要量, 第 1 个 10 kg 体质量按 4 mL/(kg·h) 计算, 第 2 个 10 kg 体质量按 2 mL/(kg·h) 计算, 剩余体质量按 1 mL/(kg·h) 计算; (2) 手术前禁食缺失量, 禁食缺失量=每小时生理需要量×术前禁食时间; (3) 麻醉药物导致血管扩张所需补充量; (4) 额外体液再分布或第三间隙丢失所需补充量, 小手术为 0~2 mL/kg, 中手术为 2~4 mL/kg, 大手术为 4~8 mL/kg; (5) 手术期间失血量, 即干纱布和浸血纱布的质量差^[19]。

由于肾调节作用异常, DN-ESRD 患者的禁食缺

失量可能高于其他患者。大多数糖尿病患者伴有超重或肥胖, 其围手术期生理需要量将比非肥胖患者高 1 mL/(kg·h)^[20]。若输液不能增加容量负荷, 出现组织水肿, 则应考虑使用血管活性药物改善患者心功能, 再进行个体化输液。

3.2 血流动力学监测

由于患者存在严重心脏并发症的可能性较大, 因此建议将中心静脉压 (central venous pressure, CVP) 作为基本的容量监测内容。CVP 反映右心房压力, 间接表示心脏前负荷, 输液后 CVP 的过度升高应被视为停止输液的重要信号。

单纯以 CVP 引导的容量管理可能导致过量输液, 引起 DN-ESRD 患者心脏容量负荷进一步加剧及肾间质水肿。因此, CVP 绝对值不应单独作为补液的决策工具, 应观察 CVP 的动态变化趋势, 联合每搏压力变化 (pulse pressure variation, PPV) 或每搏输出量变化 (stroke volume variation, SVV) 综合评估 DN-ESRD 患者在肾移植术中的液体反应性。Kannan 等^[21] 在一项前瞻性随机研究中发现, 基于 PPV 引导的输液策略比 CVP 引导的输液策略的输液总量显著减少。

传统的 SVV 流体反应性阈值被认为是 12%^[22], 当 SVV 大于阈值时, 若患者液体反应为阳性, 则进行液体输注; 若患者液体反应为阴性, 则应考虑使用血管扩张药, 使患者 SVV 降低至阈值以下。Kim 等^[23] 的研究表明, 肾移植受者 SVV 预测流体反应性的最佳阈值为 6%, 明显低于其他大多数研究阈值, 被认为具有较高的假阳性率。Yang 等^[22] 在随机试验中将试验组的肾移植 SVV 目标设定在 6% 以下, 对照组的肾移植 SVV 目标设定在 12% 以下, 结果显示, 两组的术后并发症发生率差异无统计学意义, 但试验组的液体输入量更大。PPV 和 SVV 易受血管舒缩性张力改变的影响, 糖尿病导致的血管硬化可降低 DN-ESRD 患者每搏变化的敏感性, PPV 和 SVV 的可靠程度将降低。因此, 推荐维持较高的 SVV 阈值, 以更有效了解 DN-ESRD 患者的液体反应性, 避免过度输液。

MAP 可作为肾移植期间复苏的反映指标。维持足够的 MAP 可以确保 DN-ESRD 患者灌注效果, 改善移植肾功能, 但过高的 MAP 可能加剧患者的心血管并发症^[24], 根据现有证据无法给出明确的推荐目标血压范围。由于持续性高血压和 RAAS 活性增强导

致的容量过载, DN-ESRD 患者的 MAP 基线水平可能高于非糖尿病患者。

既往研究中常常设立较高的 MAP 目标值, 以确保患者的血压灌注。然而, 一项纳入 2 301 例肾移植受者的回顾性研究显示, 肾移植受者长期暴露于 3 个常见 MAP 阈值 (≤ 75 mmHg, ≤ 80 mmHg, ≤ 85 mmHg), 与 DGF 发生率相关^[24]。而一项研究发现, 55 mmHg 的 MAP 阈值与 DGF 高发率有关, 而维持 65 mmHg 的最低术中 MAP 可能是降低 DGF 风险的一种策略^[25]。大多数指南也建议术中 MAP 不低于 60~65 mmHg^[26], 建议在 DN-ESRD 肾移植术中维持 MAP 在略高于受者术前的基础血压水平 (10 mmHg 以内), 避免使患者 MAP 低于 55 mmHg 或高于必要水平。

经食道超声心动图 (transesophageal echocardiography, TEE) 是较为有效的综合性血流动力学监测工具。一项回顾性分析将 ESRD 肾移植受者分为两组, 试验组接受校正血流时间引导、连续 TEE 监测, 对照组单纯以 CVP 指导术中输液, 结果显示, 在获得相同即时移植功能的情况下, 试验组使用的液体量明显更少, 术后与液体超载相关的并发症发生率有所降低^[27], 尽管如此, TEE 目前仍未被广泛使用。值得注意的是, TEE 无法连续监测液体反应的瞬时指标, 由于 DN-ESRD 患者常存在高钾血症, 易形成心肌传导延缓, 出现心律失常, 操作者在对心输出量进行计算时应关注此类因素对测量结果的影响。

3.3 术中容量管理的关键时期

3.3.1 麻醉诱导前后 诱导后低血压是全身麻醉的常见不良反应, 可能与麻醉药导致的心肌收缩力降低、静脉回流减少和全身血管阻力降低等综合因素有关。糖尿病诱发 DN-ESRD 患者心脏自主神经功能障碍, 压力反射的敏感性降低, 发生麻醉诱导后低血压的可能性更大。既往观点认为, 应当在麻醉诱导前进行预防性补液或使用血管活性药, 以避免麻醉诱导后低血压的发生。由于缺乏了解最佳容量状态的方法, 预防性补液很可能导致容量超载, 使用床旁超声进行评估可能能够优化这一问题^[28]。然而, Khan 等^[29]发现, 麻醉诱导前的液体优化对诱导期间血流动力学不稳定的发生或程度无显著影响, 更支持诱导早期使用血管活性药。去甲肾上腺素被认为在维持肾灌注和移植功能方面更有益处^[30], 推荐在 DN-ESRD 患者中使用, 但必须考虑其对心脏负荷的影响。目前的研究大

多将糖尿病或超质量患者排除在外, 需要更多试验了解预防性补液或使用血管活性药对 DN-ESRD 患者的作用。

3.3.2 血流开放前后 血流开放前, 补液的主要目标是维持良好的移植肾灌注, 同时应当警惕容量负荷的增加对 DN-ESRD 患者心功能障碍的影响。再灌注时, 移植肾通常需要受者总血流量至少 10%~12%。然而, 肾血流重新开放后, 由于解夹后全身血管阻力下降、血液重新分布、再灌注后血管活性物质导致血管扩张等原因的影响, 移植肾的血流灌注很可能减少。一项回顾性分析发现, 再灌注后收缩压 ≥ 140 mmHg 可能是安全水平^[31]。另一项分析表明, 再灌注后收缩压 ≥ 150 mmHg 可能与移植肾功能早期稳定有关, 但有长期透析史的患者维持该收缩压水平尚较为困难^[32]。总之, 应尽可能将再灌注后的收缩压维持在略高于患者基础血压水平 (如 140 mmHg 以上), 以维持肾血流灌注。

4 DN-ESRD 患者术中内环境管理

4.1 血糖管理

DN-ESRD 患者肾移植术中易发生高血糖和低血糖。术中高血糖主要与手术应激诱导神经内分泌反应、糖皮质激素等免疫抑制药的使用有关, 易加剧患者的炎症反应和心血管并发症, 并诱发酮症酸中毒。而低血糖易使组织供能不足, 引起组织损伤, 对术中低血糖的担忧主要源于降糖药的过度使用。一项随机对照试验表明, 强化血糖控制可能减少心血管事件的发生, 导致肾衰竭事件差异较小, 但可能略微增加低血糖事件发生率^[33]。一项回顾性分析发现, 糖尿病患者对低血糖、高血糖和葡萄糖变异性的反应更为迟钝^[34], 因此, 不推荐对 DN-ESRD 患者采取过于激进的血糖控制方案, 避免血糖发生剧烈变化。

传统的术中血糖检测方法如血气分析和即时检测等方式, 周转时间短但准确性低。连续血糖监测 (continuous glucose monitoring, CGM) 提供了侵入性较小和自动化的血糖测量方式, 能够预测低血糖或高血糖趋势并发出警报^[35], 缓解积极血糖治疗时对潜在低血糖的担忧。然而, 术中组织灌注可能影响 CGM 的准确性^[36], 而 DN-ESRD 患者在肾移植术中的肾血流灌注波动性较大, 不能仅凭 CGM 进行监测, 必要时联合血气分析。

临床上应根据肾移植术持续时间、患者血糖状况

和血流动力学指标的的稳定程度来判断 DN-ESRD 患者的胰岛素用量。大部分指南鼓励在血糖 >10 mmol/L 时开始使用胰岛素,但对于可接受的血糖最低值意见不一。美国糖尿病协会建议围手术期血糖目标范围为 $4\sim 10$ mmol/L,危重患者的血糖目标范围为 $8\sim 10$ mmol/L^[37]。中国围手术期血糖管理临床实践指南建议术中血糖应维持在 $6\sim 10$ mmol/L^[8-9]。综合来说,建议对 DN-ESRD 患者采取一般控制,维持血糖在 $6\sim 10$ mmol/L。

对于 1 型糖尿病患者,葡萄糖和胰岛素可联合使用,避免酮症酸中毒的发生^[38]。对于 2 型糖尿病患者,在不使用静脉注射胰岛素时,除非出现低血糖,否则应避免使用含葡萄糖溶液^[38-39]。

可变速率静脉输注胰岛素等静脉注射胰岛素的半衰期更短,被认为比皮下注射胰岛素更安全稳定^[38],适用于糖尿病控制不佳、错过 1 餐以上或需紧急手术的糖尿病患者。然而,一些指南认为,静脉注射胰岛素在围手术期被过度使用,并与低血糖、高血糖和低钠血症相关^[8]。如果 DN-ESRD 患者不存在酮症酸中毒,应首先考虑皮下注射胰岛素。若两次皮下注射无效,则应使用可变速率静脉输注胰岛素,并提供 5% 葡萄糖作为底物,防止血糖出现剧烈波动。

总之,肾移植术持续时间较长, DN-ESRD 患者血糖波动的不确定性较大,推荐提高血糖监测的频率,如每小时监测 1 次,可考虑使用 CGM,建议血糖维持在 $6\sim 10$ mmol/L,避免血糖出现剧烈波动。

4.2 酸碱和电解质管理

DN-ESRD 患者 pH 值长期处于偏酸性范围,肾排酸能力极度低下,术中发生酸中毒的风险较高。一项前瞻性队列研究发现,发生 DGF 的患者肾移植术中 pH 值、碱剩余和血清 HCO_3^- 浓度均低于肾功能即刻恢复的患者 [pH 值: 7.27 ± 0.05 比 7.35 ± 0.06 , 碱剩余: -7.1 ($-10.9, -6.1$) mmol/L 比 -4.0 ($-6.3, -3.0$) mmol/L, HCO_3^- : (15.9 ± 2.4) mmol/L 比 (18.8 ± 3.2) mmol/L]^[40]。另一项研究发现,肾移植术中应用 5% NaHCO_3 严格控制代谢性酸中毒(维持碱剩余 ± 3 mmol/L),可改善术后早期肾功能^[41]。因此,推荐严格控制 DN-ESRD 患者的肾移植术中 pH 值,及时使用 NaHCO_3 纠正酸中毒,防止肾功能损伤。

术中高血钾主要与组织损伤、组织缺血-再灌注损伤、肾小管酸中毒、胰岛素抵抗、RAAS 抑制剂的使用有关。对于高钾血症的治疗取决于血钾水平、持

续时间、是否存在并发症。血钾 ≤ 3.0 mmol/L 时,应进行静脉补钾;血钾处于 $5.5\sim 6.0$ mmol/L 时,建议采取预防性处理措施^[42]。建议对所有血钾 ≥ 6.0 mmol/L 的患者进行紧急治疗,包括静脉注射葡萄糖酸钙,同时注射葡萄糖和胰岛素,持续时间长、较为严重患者应考虑移植术后血液透析。

应谨慎考虑围手术期输液选择的液体类型,避免影响患者术中内环境稳态。许多中心将乳酸林格液作为肾移植首选的晶体溶液^[43],而美国麻醉医师协会在指南中认为,PlasmaLyte (PL) 平衡晶体溶液应作为肾移植受者围手术期液体管理的首选^[44]。一项回顾性队列研究显示,PL 对于肾移植过程中酸碱平衡及移植功能更有利^[45]。另一项随机对照试验发现,与其他平衡晶体溶液相比,PL 输注后,pH 值和钾浓度无明显差异,但血清中氯离子和乳酸浓度更低,碱剩余更高。因此,推荐在 DN-ESRD 患者肾移植中使用乳酸林格液和 PL 等平衡晶体溶液。

胶体溶液的使用仍存在较大争议。既往有研究认为,白蛋白对于移植肾具有保护作用,而一项荟萃分析显示,肾功能不受白蛋白影响,也未观察到白蛋白优于晶体溶液输注的优势^[46-47]。因此,应谨慎在 DN-ESRD 患者肾移植术中使用白蛋白,在严重低血容量时才应考虑与晶体溶液联合使用以改善灌注。

5 DN-ESRD 患者术后早期管理

5.1 容量管理

移植肾早期没有自身调节血压的功能,术后维持一定水平的血压有利于移植肾功能的恢复。然而, DN-ESRD 患者肾移植术后常并发高血压,常见于静脉输液造成的容量超负荷。由于此类患者的术后血压目标相关证据较少,对患者的管理应当是个体化的。在术后早期维持血压略高于患者基础血压 $10\sim 20$ mmHg,在移植肾功能恢复后控制血压 $<130/80$ mmHg,可能是较为合理的目标。

5.2 内环境管理

DN-ESRD 患者肾移植术后高钾血症主要由药物引起,包括 RAAS 抑制剂、 β 受体阻滞药和免疫抑制剂,也可见于胰岛素缺乏。应使用葡萄糖酸钙,严重者进行血液透析,以治疗急性高钾血症。此外,也可进一步使用无消化道危害的环硅酸锆钠和帕替罗默,进行胃肠道阳离子交换治疗^[48]。

5.3 DGF

肾移植术后 DGF 常由术中血压异常、缺血-再灌注损伤、炎症反应等因素引起, 并与糖尿病高度相关, 应对其积极预防和治疗。DGF 主要表现为术后早期少尿或无尿, 血清肌酐下降缓慢, 需要透析治疗。DGF 发生时, 应当使用血管活性药来积极纠正患者的低血压, 维持血压高于患者基础血压 10~20 mmHg, 但不宜超过 160/90 mmHg^[49]。尿量 > 100 mL/h 时, 按照量入为出的原则补液; 尿量 < 100 mL/h 时, 轻度的液体正平衡可能有利于肾功能恢复^[42]。应谨慎使用利尿药, 避免长期应用引起的移植肾损伤。

6 小 结

DN-ESRD 患者存在严重的高血压、高血糖及心脏功能改变, 常见内环境紊乱, 需要在肾移植术中及时调整管理方案。此类患者术中血压和血糖的最适范围仍存在较大争议, 容量管理尚无较为公认有效的策略。

未来研究应侧重于明确容量管理的精细调控方案, 特别是在 DN-ESRD 患者中需要进行特殊调整。此外, 需要更多研究了解 CGM 等方式在 DN-ESRD 患者中的益处, 以及相应的个性化血糖管理方案, 以减少移植术后不良事件的发生, 提高移植肾及患者的长期存活率。

参考文献:

- [1] WANG X, WANG Z, HE J. Similarities and differences of vascular calcification in diabetes and chronic kidney disease[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2024, 17: 165-192. DOI: 10.2147/dmso.s438618.
- [2] 麦培彪, 黄晟文, 张坤, 等. 早期慢性肾脏病患者体内血清白蛋白水平对冠脉钙化的预测价值[J]. *中山大学学报(医学科学版)*, 2024, 45(2): 268-275. DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).20240305.007.
- [3] MAI P B, HUANG S W, ZHANG K, et al. Predictive value of serum albumin levels for coronary artery calcification in patients with early chronic kidney disease[J]. *J Sun Yat Sen Univ Med Sci*, 2024, 45(2): 268-275. DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).20240305.007.
- [4] XU J, DENG Y, WANG Y, et al. SPAG5-AS1 inhibited autophagy and aggravated apoptosis of podocytes via SPAG5/AKT/mTOR pathway[J]. *Cell Prolif*, 2020, 53(2): e12738. DOI: 10.1111/cpr.12738.
- [5] BARUTTA F, BELLINI S, KIMURA S, et al. Protective effect of the tunneling nanotube-TNFAIP2/M-sec system on podocyte autophagy in diabetic nephropathy[J]. *Autophagy*, 2023, 19(2): 505-524. DOI: 10.1080/15548627.2022.2080382.
- [6] ESPOSITO P, PICCIOTTO D, CAPPADONA F, et al. Multifaceted relationship between diabetes and kidney diseases: beyond diabetes[J]. *World J Diabetes*, 2023, 14(10): 1450-1462. DOI: 10.4239/wjd.v14.i10.1450.
- [7] KRAUT J A, MADIAS N E. Adverse effects of the metabolic acidosis of chronic kidney disease[J]. *Adv Chronic Kidney Dis*, 2017, 24(5): 289-297. DOI: 10.1053/j.ackd.2017.06.005.
- [8] GRANT B, CHOWDHURY T A. New guidance on the perioperative management of diabetes[J]. *Clin Med (Lond)*, 2022, 22(1): 41-44. DOI: 10.7861/clinmed.2021-0355.
- [9] Membership of the Working Party, BARKER P, CREASEY P E, et al. Peri-operative management of the surgical patient with diabetes 2015: Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland[J]. *Anaesthesia*, 2015, 70(12): 1427-1440. DOI: 10.1111/anae.13233.
- [10] WANG J, CHEN K, LUO X, et al. Chinese clinical practice guidelines for perioperative blood glucose management[J]. *Diabetes/metabolism Res Rev*, 2021, 37(7): e3439. DOI: 10.1002/dmrr.3439.
- [11] NAVANEETHAN S D, ZOUNGAS S, CARAMORI M L, et al. Diabetes management in chronic kidney disease: synopsis of the 2020 KDIGO clinical practice guideline[J]. *Ann Intern Med*, 2021, 174(3): 385-394. DOI: 10.7326/M20-5938.
- [12] LEON S J, WHITLOCK R, RIGATTO C, et al. Hyperkalemia-related discontinuation of renin-angiotensin-aldosterone system inhibitors and clinical outcomes in CKD: a population-based cohort study[J]. *Am J Kidney Dis*, 2022, 80(2): 164-173. e1. DOI: 10.1053/j.ajkd.2022.01.002.
- [13] DE ROOIJ E N M, DE FIJTER J W, LE CESSIE S, et al. Serum potassium and risk of death or kidney replacement therapy in older people with CKD stages 4-5: eight-year follow-up[J]. *Am J Kidney Dis*, 2023, 82(3): 257-266. e1. DOI: 10.1053/j.ajkd.2023.03.008.
- [14] NISHIMURA Y, KHAN M, LEE B, et al. Defining optimal blood pressure control for pre-transplant end-stage renal disease patients: scoping review[J]. *Blood Press Monit*, 2023, 28(6): 316-321. DOI: 10.1097/MBP.0000000000000668.
- [15] WAZIR S, ABBAS M, RATANASRIMETHA P, et al. Preoperative blood pressure and risk of delayed graft function in deceased donor kidney transplantation[J]. *Clin Transplant*, 2022, 36(9): e14776. DOI: 10.1111/ctr.14776.
- [16] Writing Group for the CKD Prognosis Consortium, GRAMS M E, CORESH J, et al. Estimated glomerular filtration rate, albuminuria, and adverse outcomes: an individual-participant data meta-analysis[J]. *JAMA*, 2023, 330(13): 1266-1277. DOI: 10.1001/jama.2023.17002.
- [17] BABITT J L, EISENGA M F, HAASE V H, et al. Controversies in optimal anemia management: conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Conference[J]. *Kidney Int*, 2021, 99(6): 1280-1295. DOI: 10.1016/j.kint.2021.03.020.
- [18] RIJKSE E, KIMENAI H J A N, DOR F J M F, et al.

- Screening, management, and acceptance of patients with aorto-iliac vascular disease for kidney transplantation: a survey among 161 transplant surgeons[J]. *Eur Surg Res*, 2022, 63(2): 77-84. DOI: 10.1159/000519208.
- [18] BUIJS R V C, LEEMANS E L, GREUTER M, et al. Quantification of abdominal aortic calcification: inherent measurement errors in current computed tomography imaging[J]. *PLoS One*, 2018, 13(2): e0193419. DOI: 10.1371/journal.pone.0193419.
- [19] 黄文起. 麻醉手术期间液体治疗专家共识 (2007) [J]. *中国实用外科杂志*, 2008, 28(6): 422-426. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9448.2012.19.034.
- HUANG W Q. Expert consensus on fluid therapy during anesthesia operation (2007)[J]. *Chin J Pract Surg*, 2008, 28(6): 422-426. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9448.2012.19.034.
- [20] RUIZ S R. Diabetic nephropathy: changes after diabetes surgery?[J]. *Nutr Hosp*, 2013, 28(Suppl 2): 57-65. DOI: 10.3305/nh.2013.28.sup2.6715.
- [21] KANNAN G, LOGANATHAN S, KAJAL K, et al. The effect of pulse pressure variation compared with central venous pressure on intraoperative fluid management during kidney transplant surgery: a randomized controlled trial[J]. *Can J Anaesth*, 2022, 69(1): 62-71. DOI: 10.1007/s12630-021-02130-y.
- [22] YANG S M, SONG S E, JUNG J Y, et al. Comparison of two different preload targets of stroke volume variation during kidney transplantation: a randomised controlled trial[J]. *Singapore Med J*, 2024, DOI: 10.4103/singaporemedj.SMJ-2023-150[Epub ahead of print].
- [23] KIM K M, KIM G S, HAN M. A comparative study of pulse pressure variation, stroke volume variation and central venous pressure in patients undergoing kidney transplantation[J]. *Singapore Med J*, 2022, 63(12): 731-739. DOI: 10.11622/smedj.2021221.
- [24] PONGPRUKSA C, KHAMPITAK N, CHANG D, et al. Intraoperative mean arterial pressure and postoperative delayed graft function in kidney transplantation: evaluating three commonly used thresholds[J]. *Clin Transplant*, 2024, 38(9): e15458. DOI: 10.1111/ctr.15458.
- [25] SICOVA M, MCGINN R, EMERSON S, et al. Association of intraoperative hypotension with delayed graft function following kidney transplant: a single centre retrospective cohort study[J]. *Clin Transplant*, 2024, 38(10): e70000. DOI: 10.1111/ctr.70000.
- [26] THOMPSON A, FLEISCHMANN K E, SMILOWITZ N R, et al. 2024 AHA/ACC/ACS/ASNC/HRS/SCA/SCCT/SCMR/SVM guideline for perioperative cardiovascular management for noncardiac surgery: a report of the American college of cardiology/American heart association joint committee on clinical practice guidelines[J]. *Circulation*, 2024, 150(19): e351-e442. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001285.
- [27] SRIVASTAVA D, SAHU S, CHANDRA A, et al. Effect of intraoperative transesophageal Doppler-guided fluid therapy versus central venous pressure-guided fluid therapy on renal allograft outcome in patients undergoing living donor renal transplant surgery: a comparative study[J]. *J Anesth*, 2015, 29(6): 842-849. DOI: 10.1007/s00540-015-2046-4.
- [28] DANA E, ARZOLA C, KHAN J S. Prevention of hypotension after induction of general anesthesia using point-of-care ultrasound to guide fluid management: a randomized controlled trial[J]. *Can J Anaesth*, 2024, 71(9): 1219-1228. DOI: 10.1007/s12630-024-02748-8.
- [29] KHAN A I, FISCHER M, PEDOTO A C, et al. The impact of fluid optimisation before induction of anaesthesia on hypotension after induction[J]. *Anaesthesia*, 2020, 75(5): 634-641. DOI: 10.1111/anae.14984.
- [30] HUH J, KWON H, PARK H, et al. Impact of norepinephrine and dopamine infusion on renal arterial resistive index during pre-emptive living donor kidney transplantation: propensity score matching analysis[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2024, 60(7): 1066. DOI: 10.3390/medicina60071066.
- [31] KAWASAKI S, KIYOHARA C, KARASHIMA Y, et al. Blood pressure management after reperfusion in living-donor kidney transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2020, 52(10): 3009-3016. DOI: 10.1016/j.transproceed.2020.04.1820.
- [32] KINOSHITA K, YAMANAGA S, KABA A, et al. Optimizing intraoperative blood pressure to improve outcomes in living donor renal transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2020, 52(6): 1687-1694. DOI: 10.1016/j.transproceed.2020.01.166.
- [33] BELLON F, SOLÀ I, GIMENEZ-PEREZ G, et al. Perioperative glycaemic control for people with diabetes undergoing surgery[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2023, 8(8): CD007315. DOI: 10.1002/14651858.CD007315.pub3.
- [34] FONG K M, AU S Y, NG G W Y. Glycemic control in critically ill patients with or without diabetes[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1): 227. DOI: 10.1186/s12871-022-01769-4.
- [35] PRICE C E, FANELLI J E, ALOI J A, et al. Feasibility of intraoperative continuous glucose monitoring: an observational study in general surgery patients[J]. *J Clin Anesth*, 2023, 87: 111090. DOI: 10.1016/j.jclinane.2023.111090.
- [36] DIGIUSTO M, WOLF R M, ARCARA K M, et al. Use of continuous glucose monitoring to facilitate perioperative glycemic management: a case report[J]. *A A Pract*, 2021, 15(3): e01438. DOI: 10.1213/XAA.0000000000001438.
- [37] HIMES C P, GANESH R, WIGHT E C, et al. Perioperative evaluation and management of endocrine disorders[J]. *Mayo Clin Proc*, 2020, 95(12): 2760-2774. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.05.004.
- [38] GORON A R, CONNOLLY C, VALDEZ-SINON A N, et al. Anti-hyperglycemic medication management in the perioperative setting: a review and illustrative case of an adverse effect of GLP-1 receptor agonist[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(20): 6259. DOI: 10.3390/jcm13206259.
- [39] PONTES J P J, MENDES F F, VASCONCELOS M M, et al. Evaluation and perioperative management of patients with diabetes mellitus. a challenge for the anesthesiologist[J]. *Braz J Anesthesiol*, 2018, 68(1): 75-86. DOI: 10.1016/j.bjan.2017.04.017.

- [40] CĂLUȘI T, SOROHAN B, IORDACHE A, et al. Association between peri-transplant acid-base parameters and graft dysfunction types in kidney transplantation[J]. *Rom J Intern Med*, 2023, 62(2): 178-183. DOI: 10.2478/rjim-2023-0037.
- [41] 闫文龙, 疏树华, 李娟. 5% 碳酸氢钠严格控制代谢性酸中毒对活体肾移植患者术后早期肾功能的影响[J]. *中国临床药理学与治疗学*, 2020, 25(10): 1139-1144. DOI: 10.12092/j.issn.1009-2501.2020.10.009.
YAN W L, SHU S H, LI J. Effects of tight control of metabolic acidosis with 5% sodium bicarbonate on early renal function after living donor renal transplantation[J]. *Chin J Clin Pharmacol Ther*, 2020, 25(10): 1139-1144. DOI: 10.12092/j.issn.1009-2501.2020.10.009.
- [42] 中华医学会器官移植学分会, 中国医师协会器官移植医师分会. 中国肾脏移植围手术期处理临床诊疗指南[J]. *器官移植*, 2025, 16(1): 21-38. DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2024216.
Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association, Branch of Organ Transplantation Physician of Chinese Medical Doctor Association. Clinical guidelines for perioperative management of kidney transplantation in China[J]. *Organ Transplant*, 2025, 16(1): 21-38. DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2024216.
- [43] ZHU Z, CHI X, CHEN Y, et al. Perioperative management of kidney transplantation in China: a national survey in 2021[J]. *PLoS One*, 2024, 19(2): e0298051. DOI: 10.1371/journal.pone.0298051.
- [44] WAGENER G, BEZINOVER D, WANG C, et al. Fluid management during kidney transplantation: a consensus statement of the committee on transplant anesthesia of the American society of anesthesiologists[J]. *Transplantation*, 2021, 105(8): 1677-1684. DOI: 10.1097/TP.0000000000003581.
- [45] JUNG S, KIM J, LEE J, et al. Effects of the type of intraoperative fluid in living donor kidney transplantation: a single-center retrospective cohort study[J]. *Yonsei Med J*, 2022, 63(4): 380-388. DOI: 10.3349/ymj.2022.63.4.380.
- [46] BLESKESTAD I H, SKADBERG Ø, ÅSBERG A, et al. Glycated albumin and post-transplant diabetes mellitus in kidney transplant recipients[J]. *Ann Clin Biochem*, 2023, 60(2): 109-116. DOI: 10.1177/00045632231152074.
- [47] LEE K S, KIM J E, KANG G, et al. The effect of human albumin administration on postoperative renal function following major surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 16599. DOI: 10.1038/s41598-024-62495-0.
- [48] SHOCKEY W, WIEGEL J J, PARAJULI S, et al. Potassium-lowering effects of sodium zirconium cyclosilicate in the early post-transplant period[J]. *Clin Transplant*, 2024, 38(1): e15156. DOI: 10.1111/ctr.15156.
- [49] 中华医学会器官移植学分会, 中国医疗保健国际交流促进会肾脏移植学分会. 中国肾脏移植受者移植物功能延迟恢复临床诊疗指南[J]. *器官移植*, 2024, 15(5): 684-699. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2024156.
Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association, Branch of Kidney Transplantation of China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care. Guidelines for clinical diagnosis and treatment of delayed graft function in kidney transplant recipients in China[J]. *Organ Transplant*, 2024, 15(5): 684-699. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2024156.

(收稿日期: 2025-03-08)

(本文编辑: 谢诗韵 邬加佳)