

移植肾功能延迟恢复的防治近5年研究进展

邓 明, 刘 锐, 李 茂, 梁思敏*

重庆医科大学附属第一医院泌尿外科, 重庆

收稿日期: 2025年10月14日; 录用日期: 2025年11月8日; 发布日期: 2025年11月19日

摘 要

肾移植是终末期肾脏病的有效治疗手段, 其技术手段不断革新。然而, 肾移植术后移植肾功能延迟恢复(Delayed Graft Function, DGF)一直以来都是移植中心面临的重要挑战, 对DGF的诊断及其治疗甚至定义都缺乏标准化, 其治疗仍无特异性手段, 局限于支持治疗。本综述先系统性介绍了关于DGF现有的各种定义及其优缺点, 然后概述了DGF发病机制及相关的干预措施、对患者的长短期影响; 最后详细介绍了近五年关于其诊断评估、治疗方法的最新进展。

关键词

肾移植, 肾功能延迟恢复, 合并症

Research Progress in the Prevention and Treatment of Delayed Graft Function after Allogeneic Renal Transplantation in the Past 5 Years

Ming Deng, Rui Liu, Mao Li, Simin Liang*

Department of Urological Surgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: October 14, 2025; accepted: November 8, 2025; published: November 19, 2025

Abstract

Kidney transplantation, as an effective treatment for end-stage renal disease, has seen continuous innovation in its technical methods. However, delayed graft function (DGF) after kidney transplantation has always been a significant challenge faced by transplant centers, with a lack of standardization

*通讯作者。

文章引用: 邓明, 刘锐, 李茂, 梁思敏. 移植肾功能延迟恢复的防治近 5 年研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 1733-1741. DOI: 10.12677/acm.2025.15113275

in the diagnosis, treatment, and even the definition of DGF. Its treatment still lacks specific means and is limited to supportive therapy. This review first introduces the various existing definitions of DGF and their respective advantages and disadvantages. It then outlines the pathogenesis of DGF, related intervention measures, and their short- and long-term effects on patients. Lastly, it provides a detailed overview of the latest advancements in diagnosis, evaluation, and treatment methods over the past five years.

Keywords

Kidney Transplantation, Delayed Graft Function, Complications

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

慢性肾脏疾病的患病率不断上升，不断威胁着人们的健康。肾移植是终末期肾脏病(End stage renal disease, ESRD)的主要治疗方式之一。相对于肾脏代替治疗，肾移植患者具有更低的全因死亡率、更好的生活质量和长期预后。然而，肾移植术后移植肾功能延迟恢复(DGF)仍是移植领域面临的重要挑战。对患者而言，DGF 不仅增加了住院时间和医疗费用，还与长期移植物功能不良、移植物丢失和死亡率增加密切相关；对移植中心而言，对 DGF 的担忧可能导致移植中心拒绝接收具有高 DGF 风险的肾脏，影响器官的使用率。近年来，随着扩大标准供体(ECD)和循环死亡后捐献(DCD)供体的使用增加，DGF 的发生率有所上升。DGF 的发生率因定义与供肾类型的不同存在显著差异。在已故供体肾移植(DDKT)中，DGF 的发生率较高，可达 19%~70%左右；而在活体供体肾移植(Living donor kidney transplantation, LDKT)中，DGF 的发生率相对较低，一般在 4%~10%左右[1]。DGF 的核心病理机制是缺血再灌注损伤(IRI)，其分子机制及影响因素有待更进一步研究。此外，DGF 的发生还受供体、受体及围术期管理等多种因素的影响，不同因素相互作用，最终导致 DGF 的发生。目前尚无针对 DGF 的特异性治疗，临床上主要依靠“经验性支持治疗”，仍存在多重不足。现就 DGF 的研究现状进行综述，为 DGF 的临床管理提供依据。

2. DGF 的定义

尽管国内外存在大量关于该主题的文献，但 DGF 的定义尚未统一。一些研究将其定义为移植后需要透析，但时间或次数限定范围存在显著差异，另一些则以血清肌酐下降速度或尿量为标准。这些关于 DGF 的定义或多或少都存在着某种缺陷：基于透析的定义既存在临床医生的主观判断，又可能由于肾移植术前残存原肾功能导致术后不需要透析而未诊断为 DGF；而基于尿量的定义也可能因为术前尿量较多而漏诊。定义上的差异可能直接导致临床决策的改变，甚至最终导致移植结局的改变。

因此，研究者们不断地提出新的 DGF 的定义，以期获得一个更好兼顾临床实践和科学研究的定义。Montagud-Marrahi 等人[2]将 DGF 分为透析型定义(dDGF)和功能型定义(fDGF)，即：肾移植后第一周需要透析和移植后连续 3 天血清肌酐减少小于 10%/天，结果表明：功能性移植肾功能延迟恢复(fDGF)有助于早期识别那些具有严重缺血-再灌注损伤且可能面临不良长期预后的肾移植受者；且单独采用 fDGF 和/将其与 dDGF 相结合，可能是死亡供肾短期预后更具敏感性的指标。在 2024 年发布的一篇多学科研讨会报告中，建议用动态的系列诊断来取代目前定义的 DGF 一词，因为这些类别可以更好地阐明因果机制，判断严重程度，阐明各种治疗干预措施的相对疗效，提供可靠的预后评估；并满足卫生经济和监

管方面的需求。报告中提出将 DGF 细分为移植肾功能缓慢恢复(Slow Graft Function, days 0~14)和移植肾功能延迟恢复(Delayed Graft Function, days 15~90),用以区分 DGF 的动态变化[3]。然而,到目前为止,学术界仍然没有确认一个 DGF 定义的金标准。

3. DGF 的影响

肾移植术后 DGF 的发生可导致患者住院、肾功能恢复时间延长、排斥反应发生率升高和移植成本增加等短期影响,但中长期影响仍然存在争议。近年来,越来越多的研究表明,DGF 与提前再入院、再入院 2 次或以上、移植物功能较差[4]、移植物存活率降低、移植物丢失以及死亡删失移植物生存率(Death-Censored Graft Survival, DCGS)降低显著相关[5]。

4. DGF 的发病机制

缺血再灌注损伤(IRI)是 DGF 发生的核心机制之一。在移植过程中,肾脏不可避免地经历缺血和再灌注过程,导致细胞内先天免疫细胞被激活诱导氧化应激、钙离子超载、线粒体功能障碍、补体系统激活等一系列病理生理变化。这些变化最终引起肾小管细胞损伤和坏死,影响肾小球滤过功能。

IRI 发生发展过程中,涉及多种信号通路及细胞因子,为确定 IRI 严重程度的关键因素,Longhui Qiu [6]等人通过动物实验表明供体遗传相关的 TLR-MyD88/trif 信号通路依赖的先天免疫是小鼠缺血/再灌注损伤的严重程度的关键决定因素;而 MyD88/Trif 的缺失则改善移植物功能,延长同种异体移植物存活时间。半胱天冬酶(Caspase)是介导细胞死亡和炎症的细胞内半胱氨酸蛋白酶。Caspase-3 是凋亡和坏死细胞死亡的主要介质。Yang B 等人证实,在缺血再灌注损伤后微血管稀疏和肾纤维化过程中,Caspase-3 是关键调节因子;在 Caspase 抑制后,肾小管细胞凋亡由此减少并能改善肾功能[7]。Jiyue Wu [8]等人证实,线粒体相关基因(MGs)的表达特征在 IRI 中扮演关键角色,通过分析线粒体亚型,可将 IRI 分为具有不同分子特征和临床特征的 IRI 簇(C1 和 C2 簇):C1 簇以代谢活跃、轻度炎症和 DGF 发生率较低为特征,而 C2 簇是炎症激活亚型,DGF 发生率较高,为 DGF 的精准治疗提供了可能;此外,通过构建小鼠肾 IRI 模型,证实发生在 IRI 后,CXCL1 (人 CXCL8 的小鼠同源物,即 IL-8)在肾组织中显著上调,使用 CXCL8/CXCL1 抑制剂可显著改善肾功能,减轻肾小管坏死、组织炎症反应和 NET 形成。

在新兴的纳米酶领域,Qin J [9]等人构建了介孔聚单宁酸纳米酶,其通过减少 ROS 积累并减轻氧化应激损伤、减弱脂质过氧化物积累以抑制铁死亡,能有效抑制 caspase 3 和 caspase 9,从而减轻凋亡;还可通过 ROS 清除和细胞死亡抑制的协同效应,减少了肾 IRI。此外,Xin W [10]等人构建的一种具有特异性 p38 抑制活性的新型自组装肽纳米颗粒:TAT-MKK3b 纳米颗粒(TMNPs),也具有相似的清除 ROS 和减轻铁死亡作用。

5. DGF 的诊断与评估

5.1. 临床表现

DGF 患者术后常见的临床症状包括少尿或无尿、血清肌酐升高或下降缓慢、电解质紊乱(如高钾血症)、酸中毒等。这些症状通常在移植后 24~72 小时内出现,且持续时间较长。

5.2. 评估方法

5.2.1. 肾脏影像学检查

超声、CT 等影像学检查可以观察肾脏的大小、血流灌注情况、有无尿路梗阻甚至区分 DGF 和 AR [11]。此外,新兴技术也在不断发掘中。研究发现,O2C 组织光谱仪可在术中定量评估肾移植期间的微灌

注，能够预测 DGF 的发生率[12]。声音触摸弹性成像(STE)通过评估肾脏质量对同种异体移植物功能也具有显著的预测价值[13]。

5.2.2. 肾活检

虽然肾活检是有创检查，但在临床诊断不明确或病情复杂时，可以直观地观察肾脏组织的病理改变。

5.2.3. 生物标志物

传统生物标志物：

血清肌酐：通过计算血清肌酐清除率，可以较为准确地反映肾脏的滤过功能。

术后蛋白尿：术后早期蛋白尿是预测 KT 后早期肾脏结局的有用生物标志物。

胱抑素 C (Cys-C)：Cys-C 作为低分子量蛋白质，较少受非肾性因素影响，可用作 DGF 的预测指标。

新兴生物标志物：

血浆巨噬细胞迁移抑制因子(MIF)：术中 MIF 作为 DGF 的独立保护因素(OR = 0.447, 95% CI: 0.264~0.754, P = 0.003)，对预测 DGF 具有优异的诊断性能(AUC = 0.816 (95% CI 0.712~0.92, P < 0.001))，且与供体终末血清肌酐相结合能提供更好的预测能力(AUC = 0.872; 95% CI: 0.795~0.949, P < 0.001) [14]。

冷诱导 RNA 结合蛋白(CIRBP)：供体血浆 CIRBP 水平可以有效预测 DGF 的发生(OR = 1.660, 95% CI: 1.376~2.004, P < 0.001)，是评估移植肾功能的潜在新型生物标志物[15]。

半胱氨酸：使用 NPO-B 探针(一种荧光探针)在体外和体内模型中检测半胱氨酸(Cysteine)，能够有效地识别和可视化肾损伤的严重程度，且尿液样本的荧光强度显著强于活体供体[16]。

尿肾损伤分子 1 (uKIM-1)：移植后第一天 uKIM-1 水平较高的受者发生 fDGF 的风险增加 23.5%，长期肾同种异体移植物功能障碍的风险增加 27.3%，可以预测短期(AUC = 0.698; 95% CI: 0.598~0.799, P < 0.001)及长期移植物功能[17]。

供体来源的游离 DNA (ddcfDNA)：移植后 ddcfDNA 早期动力学反映了 IRI 的恢复，提供更客观的 IRI 严重程度估计，可能用作预 DGF 和肾的新型生物标志物[18]。

早期唾液微生物群：肾移植术后第一天的唾液微生物群可以预测 DGF (AUC = 0.85)，其中拟杆菌属和韦荣氏菌与 DGF 患者的血清肌酐显著相关[19]。

对 DGF 的有效预测关系着及时有效的干预。近年来，肾移植术后 DGF 的预测已从依赖传统指标转向多维度、多层次的生物标志物体系“见表 1”，显著提高了预测的准确性和时效性。然而，单一标志物局限性明显，未来研究应建立多中心、大样本的临床验证研究、开发高效、经济的检测方法，推动新型标志物的临床转化、整合临床参数、多组学数据和人工智能算法，构建个体化的 DGF 预测模型。随着研究的深入，DGF 的预测将更加精准、及时，为改善肾移植患者的预后提供有力支持。

Table 1. Biomarker of delayed graft function

表 1. DGF 生物标志物

分类	生物标志物	样本来源	AUC (预测 DGF)	病理生理机制	临床优势与局限
传统标志物	血清肌酐 (Scr)	血清	0.65~0.75	反映肾小球滤过率(GFR)，但受肌肉量、容量状态、药物等影响。	优势：广泛可用、低成本。 局限：敏感性低，术后 48 小时才显著升高。
	术后蛋白尿	尿液 (ACR/UPC)	0.85~0.89	肾小球滤过屏障破坏或肾小管重吸收功能障碍。	优势：早期检测，联合 Cys-C 可提高预测(AUC = 0.89)。 局限：非特异性。

续表

新兴标志物	胱抑素 C (Cys-C)	血清	0.80~0.85	由有核细胞恒定产生，自由滤过，不受肌肉量影响，较Scr 更早反映 GFR 变化。	优势：比 Scr 更敏感。 局限：受炎症、糖皮质激素影响。
	尿 KIM-1	尿液	0.88~0.93	肾小管损伤后上调，促进炎症和纤维化。	优势：高度特异性。 局限：需 ELISA 检测，成本较高。
	血浆 MIF	血浆	0.77~0.83	促炎因子，加重缺血再灌注损伤，促进巨噬细胞浸润。	优势：与 DGF 严重程度相关。 局限：需大样本验证。
	CIRBP	血清/供肾灌洗液	0.75~0.82	冷缺血应激下释放，激活 TLR4/NF- κ B 通路，加重炎症和凋亡。	优势：机制明确。 局限：临床数据较少。
	半胱氨酸	血浆	0.72~0.78	氧化应激消耗硫醇，半胱氨酸代谢失衡加剧肾小管损伤。	优势：反映氧化应激。 局限：检测方法复杂(HPLC/质谱)。
	ddcfDNA	血浆	0.90~0.94	移植物细胞损伤后释放 DNA 片段，直接反映组织损伤程度。	优势：高敏感性(NPV > 90%)，可早于 Scr 升高。 局限：成本高，需 NGS/PCR 技术。
	早期唾液微生物群	唾液(16S rRNA)	0.68~0.73	口腔菌群失调可能通过免疫调节影响全身炎症反应。	优势：无创。 局限：机制不明，需更多研究。

6. DGF 的治疗策略

6.1. 支持治疗

6.1.1. 透析治疗

透析是 DGF 患者维持水电解质平衡和纠正酸中毒的重要手段。透析方式的选择应根据患者的具体情况，如 CRRT (连续性肾脏替代治疗)和 IHD (间歇性血液透析)，对于血流动力学不稳定的患者，优先选择 CRRT，术前长期 PD (腹膜透析)的患者也可选择 PD [20]，此外，研究表明，杂合式肾脏替代治疗(hybrid renal replacement therapy, HRRT)如缓慢持续高效透析或日间间断透析滤过相对于 CRRT 均能有效清除尿毒症毒素和炎症介质(如 IL-1 β 、IL-6、TNF- α)，改善患者内环境，且两者在移植肾功能恢复时间上相当。但 HRRT 具有治疗时间短、灵活性高、更经济等优点，可作为病情相对稳定的 DGF 患者过渡期肾脏替代治疗的一个良好选择[21]。

6.1.2. 液体管理

低血压会导致肾脏灌注不足，而维持有效循环血量是改善肾脏灌注的关键，但应量出为入，避免入量过多。液体复苏应以晶体液为主，必要时可适当使用胶体液。液体选择上，平衡晶体液如乳酸林格液因其更接近生理状态而优于生理盐水[22]，可减少高氯性酸中毒风险，而胶体液的使用需谨慎，尤其应避免羟乙基淀粉以防加重肾损伤[23]。对于术后多尿期患者，需及时补充丢失量并纠正电解质紊乱，而少尿或无尿患者则需排除容量不足后考虑使用利尿剂使用或肾脏替代治疗。

6.2. 药物管理

6.2.1. 免疫抑制剂调整

免疫抑制药物的选择和管理对 DGF 的预防和恢复至关重要，需要平衡抗排斥效果与肾毒性风险。

诱导治疗的优化 对于 DGF 高风险患者,抗胸腺细胞球蛋白(ATG)较 IL-2 受体拮抗剂(如巴利昔单抗)更具优势,可降低早期排斥风险,同时减少 CNI 的早期肾毒性[24]。

CNI 的个体化调整 钙调磷酸酶抑制剂(CNI)是 DGF 管理的核心挑战。研究表明,延迟他克莫司(TAC)启动(术后 48~120 小时)可减少早期肾血管收缩,且不影响排斥发生率[25]。低剂量 TAC (谷浓度 6~9 $\mu\text{g/L}$) 在 DGF 患者中表现出更好的肾功能恢复趋势,优于环孢素(CsA)。

抗增殖药物的监测 吗替麦考酚酯(MMF)或其肠溶制剂(EC-MPS)在 DGF 患者中的吸收可能受损,导致血药浓度不足($\text{AUC} < 30 \text{ mg}\cdot\text{h/L}$),增加急性排斥风险[26]。因此,治疗药物监测对优化 MMF 剂量也至关重要。

6.2.2. 药物干预

右美托咪定: 右美托咪定是一种选择性 α -2 肾上腺素受体激动剂,常用于麻醉中的镇静催眠;能够稳定血流动力学、减少抗利尿激素的释放、增加肾血流量和肾小球滤过从而增加尿量,减少急性肾损伤的严重程度;研究表明,围手术期 24 小时持续输注右美托咪定可显著减少 DCD (心脏死亡器官捐献)肾移植后的 DGF 发生率($\text{RR } 0.76$; $95\% \text{ CI } 0.60\sim 0.98$; $P = 0.03$; $I^2 = 0\%$) [27]。

ANG-3777: 肝细胞生长因子(HGF)是一种肾营养因子,在肾上皮细胞中具有显著的细胞保护和抗凋亡作用。ANG-3777 是肝细胞生长因子的模拟物,与其酪氨酸激酶受体 c-MET 结合诱导其二聚化和磷酸化,能够减少细胞凋亡并增加细胞增殖。Vincenti 等人以第十二个月的 eGFR 作为主要终点评估 ANG-3777 对 DGF 的改善效果,结果表明,接受 ANG-3777 治疗的受试者存在改善肾功能的疗效信号,具有良好的安全性[28]。

补体抑制剂: C1 酯酶抑制剂(C1INH)是一种丝氨酸蛋白酶抑制剂,可阻断补体、纤溶和凝血系统的成分。Eerhart 等人评估了高剂量重组人 C1 抑制剂(rhC1INH)在脑死亡(BD)和长期冷缺血后肾移植非人灵长类动物模型中减少肾损伤和 DGF 发生率的疗效,结果表明,移植受者的高剂量 C1INH 补体阻断可作为减少肾脏损伤和炎症、预防 DGF (平均发生率,对照组为 80%, rhC1INH 组为 12.5%, $p = 0.015$)、延迟抗体介导的排斥反应发展和改善移植结果的有效策略[29]。

前列腺素类似物: 伊洛前列素是一种人工合成的前列腺素类似物,具有血管扩张、抗血小板聚集、细胞保护等作用,已被用于外周血管疾病。Veroux 等人的[30]研究表明持续输注伊洛前列素可以安全有效地降低已故供体肾脏受者中 DGF 的发生率(治疗组 DGF 发生率为 21.4%,对照组为 50.9% ($p < 0.001$)),且在发生 DGF 的患者中,接受伊洛前列素治疗的患者移植后 DGF 持续时间较短(10.5 ± 8.3 vs. 13.4 ± 6.7 , 天, $p = 0.016$)。

肾素 - 血管紧张素系统抑制剂: 血管紧张素转换酶抑制剂(ACEI)和血管紧张素 II 受体阻滞剂(ARB)能够抑制肾素 - 血管紧张素 - 醛固酮系统(RAAS),并通过限制功能和结构变化来减缓慢性肾脏病的进展,研究表明,移植前使用 ACEI/ARBs 与术后 DGF 风险降低相关($\text{OR: } 0.60$, $95\% \text{ 置信区间(CI): } 0.40, 0.92$) [31]。

利尿剂: 利尿剂是肾移植围术期的常用药物,对肾功能的影响具有两面性。一方面,术中使用利尿剂(呋塞米或甘露醇)可能有效减轻容量负荷,降低心脏前负荷,从而增加心输出量,改善肾脏血液灌注从而减少肾移植患者 DGF 的发生[32]; 另一方面,术后早期大量使用利尿剂可能导致血容量急剧减少,进一步加剧 CNI 类药物的血管收缩效应,形成恶性循环,增加 DGF 的发生率[33]。因此,利尿剂的使用需要精准评估,个体化用药。

6.3. 其他

空气污染是公认的不良健康结果的风险因素,在肾移植之后,患者也可能比普通人群更容易受到空

气污染的不利影响。肾移植接受者对空气污染的耐受性降低；且由于慢性免疫抑制，导致他们的免疫系统发生变化，这增加了他们患空气污染引起的感染的风险。研究表明，PM_{2.5} 会增加受者的氧化应激，是延迟移植功能发展的危险因素[34]，因此肾移植受者的环境管理也至关重要。

7. 总结

DGF 是肾移植术后常见的并发症，对患者的预后和移植效果产生了显著影响。其发病机制复杂，涉及缺血再灌注损伤、供体和受体因素以及手术及术后管理等多个方面。DGF 的治疗需要多学科协作，正朝着精准化、多靶点、个体化的方向发展。对于 DGF 高风险患者，准确地诊断和评估以及及时有效的治疗策略对于改善 DGF 患者的预后至关重要。未来的研究应进一步探索 DGF 的发病机制，开发新的生物标志物和治疗方法，以降低 DGF 的发生率和改善患者的长期预后。

参考文献

- [1] Mezzolla, V., Pontrelli, P., Fiorentino, M., Stasi, A., Pesce, F., Franzin, R., *et al.* (2021) Emerging Biomarkers of Delayed Graft Function in Kidney Transplantation. *Transplantation Reviews*, **35**, Article ID: 100629. <https://doi.org/10.1016/j.trre.2021.100629>
- [2] Montagud-Marrahi, E., Molina-Andújar, A., Rovira, J., Revuelta, I., Ventura-Aguiar, P., Piñeiro, G., *et al.* (2020) The Impact of Functional Delayed Graft Function in the Modern Era of Kidney Transplantation—A Retrospective Study. *Transplant International*, **34**, 175-184. <https://doi.org/10.1111/tri.13781>
- [3] Cooper, M., Wiseman, A.C., Doshi, M.D., Hall, I.E., Parsons, R.F., Pastan, S., *et al.* (2024) Understanding Delayed Graft Function to Improve Organ Utilization and Patient Outcomes: Report of a Scientific Workshop Sponsored by the National Kidney Foundation. *American Journal of Kidney Diseases*, **83**, 360-369. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2023.08.018>
- [4] Schrezenmeier, E., Müller, M., Friedersdorff, F., Khadzhynov, D., Halleck, F., Staack, O., *et al.* (2021) Evaluation of Severity of Delayed Graft Function in Kidney Transplant Recipients. *Nephrology Dialysis Transplantation*, **37**, 973-981. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfab304>
- [5] Phillips, B.L., Ibrahim, M., Greenhall, G.H.B., Mumford, L., Dorling, A. and Callaghan, C.J. (2021) Effect of Delayed Graft Function on Longer-Term Outcomes after Kidney Transplantation from Donation after Circulatory Death Donors in the United Kingdom: A National Cohort Study. *American Journal of Transplantation*, **21**, 3346-3355. <https://doi.org/10.1111/ajt.16574>
- [6] Qiu, L., Lai, X., Wang, J., Yeap, X.Y., Han, S., Zheng, F., *et al.* (2020) Kidney-Intrinsic Factors Determine the Severity of Ischemia/Reperfusion Injury in a Mouse Model of Delayed Graft Function. *Kidney International*, **98**, 1489-1501. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2020.07.033>
- [7] Yang, B., Lan, S., Dieudé, M., Sabo-Vatasescu, J., Karakeussian-Rimbaud, A., Turgeon, J., *et al.* (2018) Caspase-3 Is a Pivotal Regulator of Microvascular Rarefaction and Renal Fibrosis after Ischemia-Reperfusion Injury. *Journal of the American Society of Nephrology*, **29**, 1900-1916. <https://doi.org/10.1681/asn.2017050581>
- [8] Wu, J., Zhang, F., Zheng, X., Zhang, J., Cao, P., Sun, Z., *et al.* (2022) Identification of Renal Ischemia Reperfusion Injury Subtypes and Predictive Strategies for Delayed Graft Function and Graft Survival Based on Neutrophil Extracellular Trap-Related Genes. *Frontiers in Immunology*, **13**, Article ID: 1047367. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1047367>
- [9] Qin, J., Li, Z., Feng, Y., Guo, Y., Zhao, Z., Sun, S., *et al.* (2024) Reactive Oxygen Species-Scavenging Mesoporous Poly(Tannic Acid) Nanospheres Alleviate Acute Kidney Injury by Inhibiting Ferroptosis. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, **10**, 5856-5868. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.4c00844>
- [10] Xin, W., Gong, S., Chen, Y., Yao, M., Qin, S., Chen, J., *et al.* (2024) Self-Assembling P38 Peptide Inhibitor Nanoparticles Ameliorate the Transition from Acute to Chronic Kidney Disease by Suppressing Ferroptosis. *Advanced Healthcare Materials*, **13**, Article ID: 2400441. <https://doi.org/10.1002/adhm.202400441>
- [11] Liu, X., Liu, D., Long, M. and Chen, F. (2024) Application Value of Ultrasonic Contrast Imaging and Ultrasonic Parameters in Post-Transplant Renal Surgery. *Frontiers in Medicine*, **11**, Article ID: 1397884. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1397884>
- [12] Gerken, A.L.H., Nowak, K., Meyer, A., Weiss, C., Krüger, B., Nawroth, N., *et al.* (2020) Quantitative Assessment of Intraoperative Laser Fluorescence Angiography with Indocyanine Green Predicts Early Graft Function after Kidney Transplantation. *Annals of Surgery*, **276**, 391-397. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000004529>

- [13] Pan, F., Yang, D., Zhao, G., Huang, S., Wang, Y., Xu, M., *et al.* (2024) Prediction of Allograft Function in Pre-Transplant Kidneys Using Sound Touch Elastography (STE): An *Ex Vivo* Study. *Insights into Imaging*, **15**, Article No. 245. <https://doi.org/10.1186/s13244-024-01837-y>
- [14] Ye, Y., Han, F., Ma, M., Sun, Q., Huang, Z., Zheng, H., *et al.* (2021) Plasma Macrophage Migration Inhibitory Factor Predicts Graft Function Following Kidney Transplantation: A Prospective Cohort Study. *Frontiers in Medicine*, **8**, Article ID: 708316. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.708316>
- [15] Leng, Q., Ma, M., Tang, Z., Jiang, W., Han, F. and Huang, Z. (2025) Assessing Donor Kidney Function: The Role of CIRBP in Predicting Delayed Graft Function Post-Transplant. *Frontiers in Immunology*, **15**, Article ID: 1518279. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1518279>
- [16] Woo, H.Y., An, J.M., Park, M.Y., Han, A., Kim, Y., Kang, J., *et al.* (2024) Cysteine as an Innovative Biomarker for Kidney Injury. *Transplantation*, **109**, 309-318. <https://doi.org/10.1097/tp.0000000000005138>
- [17] Zhu, M., Chen, Z., Wei, Y., Yuan, Y., Ying, L., Zhou, H., *et al.* (2021) The Predictive Value of Urinary Kidney Injury Molecular-1 for Long-Term Graft Function in Kidney Transplant Patients: A Prospective Study. *Annals of Translational Medicine*, **9**, Article No. 244. <https://doi.org/10.21037/atm-20-2215a>
- [18] Cucchiari, D., Cuadrado-Payan, E., Gonzalez-Roca, E., Revuelta, I., Argudo, M., Ramirez-Bajo, M.J., *et al.* (2023) Early Kinetics of Donor-Derived Cell-Free DNA after Transplantation Predicts Renal Graft Recovery and Long-Term Function. *Nephrology Dialysis Transplantation*, **39**, 114-121. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfad120>
- [19] Xiang, X., Peng, B., Liu, K., Wang, T., Ding, P., Zhu, Y., *et al.* (2024) Prediction of Delayed Graft Function by Early Salivary Microbiota Following Kidney Transplantation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **108**, Article No. 402. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13236-w>
- [20] Gardezi, A.I., Muth, B., Ghaffar, A., Aziz, F., Garg, N., Mohamed, M., *et al.* (2021) Continuation of Peritoneal Dialysis in Adult Kidney Transplant Recipients with Delayed Graft Function. *Kidney International Reports*, **6**, 1634-1641. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2021.03.899>
- [21] Sethi, S., Mangat, G., Soundararajan, A., Marakini, A.B., Pecoits-Filho, R., Shah, R., *et al.* (2023) Archetypal Sustained Low-Efficiency Daily Diafiltration (SLEDD-f) for Critically Ill Patients Requiring Kidney Replacement Therapy: Towards an Adequate Therapy. *Journal of Nephrology*, **36**, 1789-1804. <https://doi.org/10.1007/s40620-023-01665-1>
- [22] Collins, M.G., Fahim, M.A., Pascoe, E.M., Hawley, C.M., Johnson, D.W., Varghese, J., *et al.* (2023) Balanced Crystalloid Solution versus Saline in Deceased Donor Kidney Transplantation (BEST-Fluids): A Pragmatic, Double-Blind, Randomised, Controlled Trial. *The Lancet*, **402**, 105-117. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)00642-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)00642-6)
- [23] Zarychanski, R., Abou-Setta, A.M., Turgeon, A.F., Houston, B.L., McIntyre, L., Marshall, J.C., *et al.* (2013) Association of Hydroxyethyl Starch Administration with Mortality and Acute Kidney Injury in Critically Ill Patients Requiring Volume Resuscitation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA*, **309**, 678-688. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.430>
- [24] Kyllönen, L.E., Eklund, B.H., Pesonen, E.J. and Salmela, K.T. (2007) Single Bolus Antithymocyte Globulin versus Basiliximab Induction in Kidney Transplantation with Cyclosporine Triple Immunosuppression: Efficacy and Safety. *Transplantation*, **84**, 75-82. <https://doi.org/10.1097/01.tp.0000268084.64888.f3>
- [25] Oliveras, L., López-Vargas, P., Melilli, E., Codina, S., Royuela, A., Coloma López, A., *et al.* (2025) Delayed Initiation or Reduced Initial Dose of Calcineurin-Inhibitors for Kidney Transplant Recipients at High Risk of Delayed Graft Function. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2025**, CD014855. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd014855.pub2>
- [26] de Winter, B.C.M., van Gelder, T., Glander, P., Cattaneo, D., Tedesco-Silva, H., Neumann, I., *et al.* (2008) Population Pharmacokinetics of Mycophenolic Acid: A Comparison between Enteric-Coated Mycophenolate Sodium and Mycophenolate Mofetil in Renal Transplant Recipients. *Clinical Pharmacokinetics*, **47**, 827-838. <https://doi.org/10.2165/0003088-200847120-00007>
- [27] Guo, S., Jia, D., Liu, X., Gao, L., Wang, H., Chen, C., *et al.* (2023) The Positive Efficacy of Dexmedetomidine on the Clinical Outcomes of Patients Undergoing Renal Transplantation: Evidence from Meta-Analysis. *Aging*, **15**, 14192-14209. <https://doi.org/10.18632/aging.205296>
- [28] Vincenti, F., Bromberg, J., Kim, J., Faravardeh, A., Leca, N., Alperovich, G., *et al.* (2024) The Hepatocyte Growth Factor Mimetic, ANG-3777, in Kidney Transplant Recipients with Delayed Graft Function: Results from a Randomized Phase 3 Trial. *American Journal of Transplantation*, **24**, 1644-1651. <https://doi.org/10.1016/j.ajt.2024.02.014>
- [29] Eerhart, M.J., Reyes, J.A., Blanton, C.L., Danobeitia, J.S., Chlebeck, P.J., Zitur, L.J., *et al.* (2021) Complement Blockade in Recipients Prevents Delayed Graft Function and Delays Antibody-Mediated Rejection in a Nonhuman Primate Model of Kidney Transplantation. *Transplantation*, **106**, 60-71. <https://doi.org/10.1097/tp.0000000000003754>
- [30] Veroux, M., Sanfilippo, F., Roscitano, G., Giambra, M., Giaquinta, A., Riccioli, G., *et al.* (2024) Prevention of Delayed Graft Function in Kidney Transplant Recipients through a Continuous Infusion of the Prostaglandin Analogue Iloprost: A Single-Center Prospective Study. *Biomedicine*, **12**, Article No. 290. <https://doi.org/10.3390/biomedicine12020290>

-
- [31] Liang, G.Z., Dorais, M., Collette, S., Sénécal, L., Belkaid, M., Turgeon, J., *et al.* (2024) Exposure to Renin-Angiotensin System Inhibitors before Kidney Transplantation Is Associated with a Decreased Risk of Delayed Graft Function. *Frontiers in Immunology*, **15**, Article ID: 1447638. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1447638>
- [32] Levine, M.A., Rasmussen, A., Lee, D., Rim, C., Farokhi, K., Luke, P.P., *et al.* (2024) Prospective Assessment of the Impact of Intraoperative Diuretics in Kidney Transplant Recipient Surgery. *Canadian Journal of Surgery*, **67**, E158-E164. <https://doi.org/10.1503/cjs.006422>
- [33] Ghazloujeh, Z.G., Jang, S.M. and Abdipour, A. (2024) Diuretic Use in Post-Kidney Transplant Patients: A Retrospective Chart Review. *Transplantation Proceedings*, **56**, 82-86. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2023.11.024>
- [34] Feng, Y., Jones, M.R., Ahn, J.B., Garonzik-Wang, J.M., Segev, D.L. and McAdams-DeMarco, M. (2021) Ambient Air Pollution and Posttransplant Outcomes among Kidney Transplant Recipients. *American Journal of Transplantation*, **21**, 3333-3345. <https://doi.org/10.1111/ajt.16605>