

儿童肾移植现状及早期疗效分析概述

杨舒媛, 武梅芳, 严早航, 华 焱*, 温 晟

重庆医科大学附属儿童医院泌尿外科, 儿童少年健康与疾病国家临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 儿童泌尿生殖发育与组织工程重点实验室, 重庆

收稿日期: 2025年12月9日; 录用日期: 2026年1月2日; 发布日期: 2026年1月13日

摘 要

儿童终末期肾病(ESRD)是危及生命的重大疾病, 肾移植是最有效的治疗方式之一。相较于成人, 儿童肾移植在病因学、免疫状态、药代动力学、外科技术以及长期管理等方面具有显著特殊性。成功的移植不仅依赖精细的外科手术, 更需个体化免疫抑制方案、积极防控应对各类并发症以及贯穿全生命周期的多学科随访。本文系统综述儿童肾移植的关键环节, 重点探讨其特殊性管理与早期疗效评估, 为临床实践提供参考。

关键词

儿童, 小儿外科, 终末期肾病, 肾移植

An Overview of the Current Status and Analysis of Early Efficacy in Pediatric Kidney Transplantation

Shuyuan Yang, Meifang Wu, Zaohang Yan, Yi Hua*, Sheng Wen

Department of Urology, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Children and Adolescents' Health and Diseases, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Children Urogenital Development and Tissue Engineering of Chongqing Education Commission of China, Chongqing

Received: December 9, 2025; accepted: January 2, 2026; published: January 13, 2026

Abstract

End-stage renal disease (ESRD) in children is a life-threatening condition, and kidney transplantation

*通讯作者。

文章引用: 杨舒媛, 武梅芳, 严早航, 华焱, 温晟. 儿童肾移植现状及早期疗效分析概述[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 1176-1182. DOI: 10.12677/acm.2026.161152

stands as one of the most effective treatment options. Compared with adults, pediatric kidney transplantation presents distinct particularities in etiology, immune status, pharmacokinetics, surgical techniques, and long-term management. Successful transplantation relies not only on meticulous surgical techniques but also on individualized immunosuppressive regimens, proactive prevention and management of complications, and lifelong multidisciplinary follow-up. This article systematically reviews key aspects of pediatric kidney transplantation, with a focus on its unique management strategies and early outcome evaluation, aiming to provide insights for clinical practice.

Keywords

Children, Pediatric Surgery, End-Stage Renal Disease, Kidney Transplantation

Copyright © 2026 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

肾脏疾病在全球范围内是日益严峻的公共卫生挑战,影响全年龄人群,以儿童患者更为突出。儿童肾脏疾病多源于先天性畸形、遗传性疾病或后天获得性病因,显著增加终末期肾病(end stage renal disease, ESRD)的发生风险。肾移植作为该疾病主要治疗手段,能有效提升患者的生存质量和预期寿命。对儿童而言,其在减少生长发育迟缓和代谢并发症方面优于长期透析。研究儿童肾移植术后早期疗效与预后至关重要,这关系到移植物存活率和排斥反应控制,也涉及儿童特殊生长发育需求、心理社会适应以及长期健康结局,从而为临床实践优化提供依据。

2. 儿童肾移植的背景及特殊性

肾移植是目前治疗终末期肾病最有效的方法之一。1954 年美国完成了世界首次人体肾移植,而我国儿童肾移植始于 20 世纪 80 年代。虽然我国儿童肾移植起步时间晚,但发展迅速,在各大医疗中心均能开展并取得良好的治疗效果。由于儿童身体和心理等各方面与成人有一定差异。对儿童受者的治疗方案的选择及术后监管均需有别于成人。

2.1. 流行病学与病因特点

儿童 ESRD 的疾病谱具有鲜明的年龄及地域特征,美国肾脏病数据系统(United States Renal Data System, USRDS)数据统计,先天性结构异常(congenital anomalies of the kidney and urinary tract, CAKUT)为欧美国儿童的首要病因,约占总人数的 28.1% [1]。在我国肾小球疾病是 ESRD 的首要病因,约占 43.2%,其次才是 CAKUT,约占 40.7% [2]。

2.2. 免疫及药代动力学特点

儿童免疫系统与成人不同,儿童免疫系统的免疫应答能力较弱,因其免疫系统以初始 T、B 细胞为主,记忆细胞较少。更容易诱导免疫耐受的同时也可能增加某些感染的风险[3]。儿童对于钙调磷酸酶抑制剂(calcineurin inhibitor, CNI)类药物的代谢也与成人不同。CNI 类药物代谢受年龄与 CYP3A5 基因型影响显著。有国外文献指出[4]年龄和 CYP3A5 基因型的高表达是影响药物代谢速度的独立因素。治疗药物

监测结合基因分型,是实现儿童个体化给药、避免排斥或药物中毒的关键。

3. 儿童肾移植外科技术与手术进展

随着近年来手术技术的进步和医疗观念的改变,低年龄、低体重已不是绝对限制因素。Humar 等对 321 例儿童肾移植受者的回顾分析发现不论是患者还是移植物的存活率在不同年龄之间均无显著差异[5],尽早行手术治疗可能会获得更好的治疗效果。手术入路的选择取决于供肾与受者的匹配情况。腹膜外入路为儿童肾移植常见术式,该术式在有效防治移植肾出现扭转的同时有效降低肠梗阻风险[6]。出现供者为成人或供肾与血管不匹配时,经腹腔入路仍是良好的选择。对复杂移植情况,如为克服儿童受体血管细小与成人供肾不匹配的难题,个体化的血管重建技术得到广泛应用;同时,机器人辅助腹腔镜技术作为微创外科的重要进展,开始在供肾获取和移植手术中应用,尤其有利于在儿童狭小空间内实现精准操作、减少创伤。在术后管理细节上,对于输尿管支架植入仍存争议,通常建议在 4 周内取出输尿管支架以减少 BK 病毒血症及尿路感染风险[7] [8]。但更多的讨论则聚焦于如何基于吻合质量、患儿体重等因素进行个体化决策,以平衡尿漏与感染风险,而非单一的时间决策。

4. 术后早期疗效评估

儿童肾移植术后早期疗效评估需综合多方面分析。在监测临床体征与肾功能的基础上,供体来源的游离 DNA (donor-derived cell-free DNA, dd-cfDNA)与供体特异性抗体(donor-specific antibody, DSA)有助于早期预警排斥;影像学检查可评估结构和血管,病理结果为确诊提供依据。

4.1. 临床表现的评估

患者所有的临床表现都需要关注,并且通过结合实验室检查来予以证明和排除。肾移植术后需重点关注尿量、血压变化以及是否存在手术无关的移植肾区剧烈疼痛等。

4.2. 临床数据的监测

尿量是反映肾脏血流灌注和肾小管功能的重要指标,可在早期提示急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)、排斥反应以及血管并发症等。术后 24 h 尿量 $< 1\text{ L}$ 是移植肾功能延迟恢复(delayed graft function, DGF)的独立预测因素。血清肌酐(serum creatinine, Scr)的下降能反映移植肾功能的恢复情况,理想情况下应在术后 3~5 天降至基线值,下降缓慢或持续升高,需警惕 DGF 可能。相较于单纯依靠 Scr,估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)更能够客观、动态地反映肾小球滤过功能。中国《肾移植术后随访规范(2019 年版)》推荐采用 CKD-EPI 公式(成人)或 Schwartz 公式(儿童)定期计算 eGFR,术后定期监测,建立个体化 eGFR 变化曲线,实现精准管理。术后 eGFR 年下降率 $> 5\text{ ml/min/1.73m}^2$ 是慢性移植肾肾病(chronic allograft nephropathy, CAN)的独立预测因子[9] [10]。高血压是移植后最常见的并发症之一,专家共识推荐术后严格监测,且目标控制 $< 130/80\text{ mmHg}$,合并蛋白尿者需更严格。

4.3. 影像学评估

超声作为便捷且无创检查,是肾移植术后检查的首选。通过成像评估移植肾大小、形态。体积增大超过基础值 20%需考虑急性排斥反应或肾静脉血栓,体积缩小需警惕慢性移植肾肾病。同时超声多普勒叶间动脉阻力指数(rejection index, RI)评估血流灌注, $\text{RI} > 0.8$ 提示移植肾灌注异常。超声造影能更敏感地发现早期排斥反应和局灶性梗死。MRI 和 CT 也可提供更全面的评估,当超声检查无法明确诊断或需精细评估血管及周围组织时,CT 血管成像或 MRI 可作为重要补充[11]。

4.4. 病理活检

移植肾穿刺活检是诊断移植肾病理状态的“金标准”。活检能明确鉴别急/慢性排斥反应、CNI 肾毒性及复发性肾病等，对亚临床排斥反应起到重要作用。尽管活检是有创操作，但其安全性较高，且结果对免疫抑制方案的调整有指导意义[12]。

5. 儿童肾移植的免疫抑制方案管理

独特的免疫特点及药代动力学特征，使得儿童肾移植受者呈现出高度的个体异质性，与之密切相关的免疫抑制管理包括免疫诱导和免疫维持两个阶段。这是决定移植植物长期存活及患儿生存质量的关键。

5.1. 免疫诱导方案

诱导治疗在围手术期高效清除或抑制淋巴细胞，起预防早期急性排斥反应作用。抗胸腺细胞球蛋白(antithymocyte globulin, ATG)是儿童肾移植常用用药，其累计剂量 6~10 mg/kg。但研究证实，低剂量 ATG 使用不会增加急性排斥反应发生风险，且能减少后续感染可能[13]。对于应用免疫抑制最小化方案，或高免疫风险患者的诱导治疗，阿仑单抗(CD-52 抗体)可实现强效淋巴细胞清除[14]。虽然巴利昔单抗在预防急性排斥的效果不如 ATG，但其非清除性有效减少移植后淋巴组织增殖性疾病(post-transplant lymphoproliferative disorder, PTLTD)和骨髓抑制的发生[15]。

5.2. 免疫维持方案

他克莫司(tacrolimus, Tac)已成为儿童免疫维持的基石。一项多中心研究对比了 Tac 与环磷酰胺(cyclosporin A, CsA)分别联合抗增殖药物与激素的方案，显示 Tac 能更有效地降低排斥风险，并能显著恢复早期肾功能，且不影响患者的生存率[16]。西罗莫司和依维莫司均属于哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mammalian target of rapamycin, mTOR)类药物，因其显著的不良反应，通常不作为一线选择。西罗莫司可导致睾酮水平下降，停药后可恢复[17]。激素在免疫诱导和维持中均起到重要作用，但长期使用可能导致患儿出现发育迟缓、高血压、伤口延迟愈合等。在 Webb 等人[18]的研究中，早期停止使用类固醇激素有利于患者生长发育，减少长期使用激素所带来的并发症，不会对移植物的功能和远期预后产生显著不良影响。硫唑嘌呤(azathioprine, AZA)和霉酚酸(mycophenolic acid, MPA)类药物是实体器官移植常用的抗增殖类药物。两者均通过抑制嘌呤的合成以减少 T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞的增殖。MPA 类药物凭借较轻的不良反应和提高术后远期生存率的特点逐渐取代 AZA，成为与 CNI 联用的首选。在 CNI 和糖皮质激素联合使用的基础免疫抑制方案中加入吗替麦考酚酯(mycophenolate mofetil, MMF)的受者 5 年移植生存率明显高于使用 AZA [19]。

6. 各类并发症与防控

6.1. 排斥反应

超急性排斥反应是由预存抗体触发，发生于术中或术后 48 小时内的免疫事件。临床表现为移植肾迅速丧失功能，未避免诱发更严重的全身炎症风暴需切除移植肾。重视预防筛查以紧急干预极早期病例[20]。急性排斥反应最常见于术后 1 周至 6 个月，突发性肾功能减退是其显著特征，大部分患者对大量激素冲击治疗反应良好，及时干预可显著改善预后。慢性排斥反应与抗体介导和混合排斥相关，儿童免疫活跃使得慢性排斥反应在儿童中更为常见，反复发作会导致移植植物长期存活率显著降低。排斥反应往往与预后密切相关，应当密切观察患者病情变化同时，建立个性化随访档案，以便及时评估患者的手术治疗效果，更好评估预后。

6.2. 血栓

血管栓塞是导致儿童肾移植术后早期移植物丢失的首要原因,在双供肾整体移植(en bloc kidney transplantation, EBKT)中风险尤其高,甚至显著高于成人。这类并发症受到手术难度、血管条件和高凝状态的影响。一项纳入 38 例接受小儿双供肾移植受者的研究中发现肾动静脉血栓形成导致的移植肾功能丧失是儿童移植物 1 年存活率低于成人主要原因[20]。

6.3. 感染

感染是我国肾移植儿童受者术后住院和死亡的最常见原因。儿童受者泌尿系感染(urinary tract infection, UTI)发生率高达 15%~58%,多见于存在泌尿系畸形的男性患儿。除常见的泌尿系感染,巨细胞病毒(cytomegalovirus, CMV)防控也至关重要。CMV 感染具有早期爆发和高病毒载量的特点,可导致直接组织损伤,并使排斥风险显著升高。防控策略需进行严格的术前风险评估与个体化干预,常规使用药物预防。常于术后 2 周内启用更昔洛韦,持续 3 至 6 月,高危患儿延长至 12 月,同时监测淋巴细胞亚群[21]。一旦怀疑发生感染应当立即干预,以控制感染获得良好预后效果。

6.4. 生长发育及内分泌相关并发症

糖皮质激素是移植术后的关键药物,发挥免疫抑制和抗炎作用减少术后排斥和移植物功能损害。对儿童而言,长期使用糖皮质激素能有效减少排斥发生,但会成为生长发育的不利因素。因此,制定个体化激素使用策略把握停药时机是儿童移植临床决策的关键。与接受类固醇持续治疗的儿童相比,在术后早期类固醇戒断的患儿在生长发育表现更加优秀,且两者在随访期间不良事件发生率未发现显著差异[18]。早期停用类固醇激素在减少并发症的同时不会影响移植物的功能和远期预后,还能帮助患儿尽早恢复社会功能[22]。在使用激素同时,我们应更多的联合内科及心理科进行干预,以帮助儿童更好地进行生长发育管理及心理调节。从生理、心理及社会因素上帮助患者回归正常生活,这不仅是单一病种的难题,更是医学多学科协作需要克服的难点及社会需要关注的重点问题。

7. 儿童肾移植的预后

多项研究分析了影响儿童肾移植预后的多种因素,包括原发病、移植时年龄、移植前透析情况、HLA 配型及术后并发症等。明确术后急性排斥反应(acute rejection, AR)和围术期血管并发症是移植肾丢失的独立危险因素,而术后感染是受者死亡的独立危险因素[20]。

统计我国 2011~2018 年间 19 岁以下肾移植受者的数据,发现其 1、3、5 年患者总体生存率分别为 97.6%、96.8%、95.5% [23]。其中 5~14 岁的人群的移植存活率低于 2~5 岁的儿童。青春期角色转换、心理逆反、社交压力等社会因素导致青少年治疗依从性下降,进一步影响预后[24]。

8. 儿童肾移植的展望

儿童肾移植的成功依赖于精细的外科技术、个性化免疫抑制、并规范防控及长期多学科随访。未来需重点发展优化手术策略、完善精准免疫抑制方案、加强青少年心理支持与治疗依从性等全生命周期管理,实现患儿长期生存质量与移植物存活率的共同提高。

8.1. 优化手术策略

未来随着技术进步,儿童肾移植将从术前精准规划、改进手术方式等方面多维度地提升手术质量。如术前利用 AI 进行精准的血管三维重建和手术模拟,实现更精准的术前规划和术中导航,提升手术安全

性；应用机器人辅助手术获取供肾，降低捐献者手术创伤，使部分因血管变异等复杂情况不适合传统手术的供体得以利用；机器人辅助移植，提升手术操作的精准度和灵活性，对于儿童患者狭小的手术空间，可实现更微创的效果。

8.2. 个体化免疫方案制定

现有免疫方案主要基于成人证据进行外推，儿童专属药代动力学模型及免疫监测体系尚不完整。未来可通过整合治疗药物、新兴免疫标志物监测等数据，开展前瞻性研究，构建符合儿童免疫特点的免疫抑制策略，明确早期激素撤离的合适人群及最佳时机。

8.3. 基因编辑技术

异种移植可通过基因编辑技术获取无排斥反应的动物器官，如猪肾脏，从根本上解决器官短缺问题，为紧急或配型困难的患儿提供新希望。

9. 结论

肾移植是治疗儿童终末期肾病最主要的策略，对于这类儿童的生存和长期生活质量的管理是非常具有挑战性的，术后早期围手术期管理更是重中之重。全世界主要的研究重点一般集中在手术策略的规划、免疫管理的精准化、术后并发症的预防与处理方面，同时人们也关注到儿童的生长发育与心理因素对于疾病带来的影响。总体来说儿童肾移植领域正朝着供体来源多元化、手术技术微创化和免疫管理精准化的方向快速发展。核心目标是让更多终末期肾病患者获得移植机会并改善长期生存质量。如何管理好肾移植儿童的生存及心理问题，这不单是一个医学难题，更值得社会的广泛关注。

参考文献

- [1] 朱兰, 陈刚. 儿童供肾移植的现状与进展[J]. 实用医院临床杂志, 2015, 12(4): 1-4.
- [2] Francis, A., Johnson, D.W., Melk, A., Foster, B.J., Blazek, K., Craig, J.C., *et al.* (2020) Survival after Kidney Transplantation during Childhood and Adolescence. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 15, 392-400. <https://doi.org/10.2215/cjn.07070619>
- [3] de Wildt, S.N., van Schaik, R.H.N., Soldin, O.P., Soldin, S.J., Brojeni, P.Y., van der Heiden, I.P., *et al.* (2011) The Interactions of Age, Genetics, and Disease Severity on Tacrolimus Dosing Requirements after Pediatric Kidney and Liver Transplantation. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 67, 1231-1241. <https://doi.org/10.1007/s00228-011-1083-7>
- [4] Hoyer, P.F. and Vester, U. (2001) Refining Immunosuppressive Protocols in Pediatric Renal Transplant Recipients. *Transplantation Proceedings*, 33, 3587-3589. [https://doi.org/10.1016/s0041-1345\(01\)02543-x](https://doi.org/10.1016/s0041-1345(01)02543-x)
- [5] Arrazola, L., Matas, A.J., Humar, A., Mauer, M. and Najarian, J.S. (2001) Kidney Transplantation in Young Children: Should There Be a Minimum Age? *Pediatric Nephrology*, 16, 941-945. <https://doi.org/10.1007/s004670100000>
- [6] Roach, J.P., Bock, M.E. and Goebel, J. (2017) Pediatric Kidney Transplantation. *Seminars in Pediatric Surgery*, 26, 233-240. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2017.07.006>
- [7] Dandamudi, R., Smith, J. and Dharnidharka, V.R. (2019) Renal Transplantation and Predisposition to Opportunistic Infections. *Current Opinion in Pediatrics*, 31, 226-231. <https://doi.org/10.1097/mop.0000000000000728>
- [8] 张泽旭, 肖琦, 肖建生. 中国儿童肾移植现状分析[J]. 实用器官移植电子杂志, 2024, 12(2): 143-148.
- [9] Schold, J.D., Poggio, E.D. and Augustine, J.J. (2018) Gathering Clues to Explain the Stagnation in Living Donor Kidney Transplantation in the United States. *American Journal of Kidney Diseases*, 71, 608-610. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.01.038>
- [10] 付迎欣. 肾移植术后随访规范(2019版) [J]. 器官移植, 2019, 10(6): 667-671.
- [11] 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, 代贺龙, 丁振山, 秦燕, 王祥慧, 等. 中国肾脏移植受者排斥反应临床诊疗指南[J]. 器官移植, 2025, 16(1): 1-20.

- [12] Beetz, O., Weigle, C.A., Nogly, R., Klempnauer, J., Pape, L., Richter, N., *et al.* (2020) Surgical Complications in Pediatric Kidney Transplantation—Incidence, Risk Factors, and Effects on Graft Survival: A Retrospective Single-Center Study. *Pediatric Transplantation*, **25**, e13871. <https://doi.org/10.1111/ptr.13871>
- [13] Ashoor, I.F., Beyl, R.A., Gupta, C., Jain, A., Kiessling, S.G., Moudgil, A., *et al.* (2021) Low-Dose Antithymocyte Globulin Has No Disadvantages to Standard Higher Dose in Pediatric Kidney Transplant Recipients: Report from the Pediatric Nephrology Research Consortium. *Kidney International Reports*, **6**, 995-1002. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2021.01.007>
- [14] Bartosh, S.M., Knechtel, S.J. and Sollinger, H.W. (2005) Campath-1H Use in Pediatric Renal Transplantation. *American Journal of Transplantation*, **5**, 1569-1573. <https://doi.org/10.1111/j.1600-6143.2005.00879.x>
- [15] McKeage, K. and McCormack, P.L. (2010) Basiliximab: A Review of Its Use as Induction Therapy in Renal Transplantation. *BioDrugs*, **24**, 55-76. <https://doi.org/10.2165/11203990-000000000-00000>
- [16] Trompeter, R., Filler, G., Webb, N.J.A., Watson, A.R., Milford, D.V., Tyden, G., *et al.* (2002) Randomized Trial of Tacrolimus versus Cyclosporin Microemulsion in Renal Transplantation. *Pediatric Nephrology*, **17**, 141-149. <https://doi.org/10.1007/s00467-001-0795-9>
- [17] Pape, L. and Ahlenstiel, T. (2014) mTOR Inhibitors in Pediatric Kidney Transplantation. *Pediatric Nephrology*, **29**, 1119-1129. <https://doi.org/10.1007/s00467-013-2505-9>
- [18] Webb, N.J.A., Douglas, S.E., Rajai, A., *et al.* (2015) Corticosteroid-Free Kidney Transplantation Improves Growth: 2-Year Follow-Up of the TWIST Randomized Controlled Trial. *Transplantation*, **99**, 1178-1185. <https://doi.org/10.1097/tp.0000000000000498>
- [19] Kaabak, M., Babenko, N., Shapiro, R., Zokoyev, A., Dymova, O. and Kim, E. (2018) A Prospective Randomized, Controlled Trial of Eculizumab to Prevent Ischemia-Reperfusion Injury in Pediatric Kidney Transplantation. *Pediatric Transplantation*, **22**, e13129. <https://doi.org/10.1111/ptr.13129>
- [20] 朱昆仑, 丰永花, 胡明尧, 崔开心, 尚文俊, 刘磊, 等. 儿童肾移植预后因素分析[J]. 中华儿科杂志, 2022, 60(9): 888-893.
- [21] 丁小明, 林俊, 胡小鹏, 戎瑞明, 郑瑾. 中国肾移植受者巨细胞病毒感染临床诊疗指南(2023 版) [J]. 器官移植, 2024, 15(3): 303-322.
- [22] 廖欣, 李颖杰, 谭锦兰, 张妙, 钟发展, 王长希, 等. 儿童肾移植后追赶性生长的临床特征[J]. 中国当代儿科杂志, 2020, 22(7): 755-761.
- [23] Shen, Q., Fang, X., Man, X., Zhai, Y., Liu, L., Wang, C., *et al.* (2021) Pediatric Kidney Transplantation in China: An Analysis from the IPNA Global Kidney Replacement Therapy Registry. *Pediatric Nephrology*, **36**, 685-692. <https://doi.org/10.1007/s00467-020-04745-7>
- [24] Anand, A., Malik, T.H., Dunson, J., McDonald, M.F., Christmann, C.R., Galvan, N.T.N., *et al.* (2021) Factors Associated with Long-Term Graft Survival in Pediatric Kidney Transplant Recipients. *Pediatric Transplantation*, **25**, e13999. <https://doi.org/10.1111/ptr.13999>