

人工智能在小儿泌尿外科研究中的应用：数据分析与发现

姜壮雨, 赵 森

西安医学院研究生处, 陕西 西安

收稿日期: 2025年12月15日; 录用日期: 2026年1月8日; 发布日期: 2026年1月21日

摘 要

小儿泌尿系统疾病作为常见小儿病症, 种类繁多且临床表现复杂, 对诊断和治疗决策带来了重大挑战。传统研究方法受限于数据获取困难、样本量小及数据标准化不足等问题。人工智能(AI)技术的引入为解决这些问题提供了新途径。在诊断方面, AI技术通过超声和CT影像分析, 显著提高了肾积水分级、膀胱输尿管反流评估等医学图像分析的准确性和客观性。在手术治疗中, AI技术通过整合患者的临床特征、遗传信息和影像数据, 为医生提供个性化治疗建议。在预后评估方面, 基于机器学习和深度学习的预测模型能够融合多维临床数据, 对肾盂输尿管连接处梗阻肾盂成形术后复发、后尿道瓣膜预后等提供精准预测, 辅助制定个性化治疗及随访策略。尽管AI技术在小儿泌尿外科展现出巨大潜力, 但在数据质量、算法透明度及伦理合规等方面仍面临挑战。未来, 随着多学科协作的深化和技术的不断进步, 建立完善的数据共享机制、开发可解释AI技术、推动AI与临床实践深度融合将成为重要发展方向。本文旨在系统梳理AI技术在小儿泌尿外科研究中的应用现状, 分析其在数据分析和知识发现方面的潜力、局限性及未来方向, 为推动AI技术在小儿泌尿外科领域的深入应用提供参考。

关键词

人工智能, 小儿泌尿外科, 医学图像分析, 预后预测

AI in Pediatric Urology Research: Data Analysis and Discovery

Zhuangyu Jiang, Sen Zhao

Postgraduate Office, Xi'an Medical College, Xi'an Shaanxi

Received: December 15, 2025; accepted: January 8, 2026; published: January 21, 2026

Abstract

Pediatric urological diseases, as common pediatric conditions, encompass a wide variety of

文章引用: 姜壮雨, 赵森. 人工智能在小儿泌尿外科研究中的应用: 数据分析与发现[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 1953-1960. DOI: 10.12677/acm.2026.161247

disorders with complex clinical presentations, posing significant challenges for diagnosis and treatment decisions. Traditional research methods are limited by difficulties in data acquisition, small sample sizes, and insufficient data standardization. The introduction of artificial intelligence (AI) technology offers new approaches to address these challenges. In diagnostics, AI technology has significantly improved the accuracy and objectivity of medical image analysis for conditions such as hydronephrosis grading and vesicoureteral reflux evaluation through ultrasound and CT imaging. In surgical treatment, AI technology integrates patients' clinical characteristics, genetic information, and imaging data to provide personalized treatment recommendations. In prognostic evaluation, prediction models based on machine learning and deep learning can integrate multidimensional clinical data to provide accurate predictions for conditions such as recurrence after pyeloplasty for ureteropelvic junction obstruction and prognosis of posterior urethral valves, assisting in the development of personalized treatment and follow-up strategies. Despite the tremendous potential demonstrated by AI technology in pediatric urology, challenges remain in data quality, algorithm transparency, and ethical compliance. In the future, with deepening multidisciplinary collaboration and continuous technological advancement, establishing comprehensive data sharing mechanisms, developing explainable AI technology, and promoting the deep integration of AI with clinical practice will become key developmental directions. This review aims to systematically examine the current applications of AI technology in pediatric urology research and analyze its potential, limitations, and future directions in data analysis and knowledge discovery, providing a reference for promoting the in-depth application of AI technology in the field of pediatric urology.

Keywords

Artificial Intelligence, Pediatric Urology, Medical Image Analysis, Prognosis Prediction

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

小儿泌尿系统疾病作为常见儿科疾病, 对儿童的生长发育具有深远影响。其诊断与治疗作为儿科学的重要组成部分, 显著关系到儿童的成长发育。该类疾病种类多样, 包括先天性尿道下裂、膀胱输尿管反流、肾积水等, 临床表现复杂, 常为诊断和治疗决策带来诸多挑战。随着人工智能(AI)技术的发展和运用, 为小儿泌尿外科的研究提供了新的思路和方法。

小儿泌尿外科研究常面临数据获取困难、样本量有限等挑战。再者小儿泌尿外科数据具有高维度、高复杂性及高异质性等特点, 传统统计分析方法难以充分挖掘其临床价值。此外, 多中心协作研究不足, 数据标准化与共享机制尚未完全建立, 限制了研究结果的可靠性[1]。AI 技术的发展, 特别是机器学习和深度学习算法, 使其能够从有限数据中提取有价值的信息, 识别复杂疾病模式。研究表明, AI 在小儿肾积水分级和尿道下裂分类中已展现出优于传统方法的准确性[2]; AI 辅助的影像分析系统可自动识别异常特征, 减少主观判断偏差; 在治疗方面, AI 算法可整合患者的临床特征、遗传信息及影像数据, 为医生提供个性化治疗建议[3]。

然而, AI 技术在小儿泌尿外科的应用仍处于早期阶段, 面临数据质量、算法透明度及伦理合规等挑战。本文旨在系统综述 AI 技术在小儿泌尿外科研究中的应用现状, 分析其在数据分析和知识发现方面的潜力、局限性及未来方向, 为推动 AI 技术在小儿泌尿外科领域的深入应用提供参考。

2. AI 辅助小儿泌尿系统疾病诊断

医学影像是小儿泌尿系统疾病诊断的重要手段, AI 技术的引入有望提高诊断的准确性、客观性和效率。在小儿泌尿外科领域, 超声检查因其无创、无辐射和实时性成为首选影像学方法。AI 技术在超声图像分析中的应用正逐步改变传统诊断模式及临床决策流程。

超声成像作为小儿泌尿系统疾病的基础诊断工具, 常依赖临床医生的主观判断和经验, 可能导致诊断结果不一致。人工智能技术可通过标准化图像分析减少医师间的诊断差异, 使其在超声影像的临床应用中具有重要价值[4]。

在肾积水诊断方面, Smail 等开发了一种基于深度学习的肾积水超声图像自动分级方法。该研究使用卷积神经网络(CNN)分析肾积水超声图像, 旨在创建客观的临床辅助工具。结果表明, AI 模型能有效区分不同级别的肾积水, 准确率达 90.7% [5]。Lin 等开发了深度学习模型, 通过儿童超声检查中的液区与肾脏面积比预测胎儿泌尿外科学会(SFU)分级。该模型可对超声图像进行肾脏分割和液体检测, 自动识别肾盂收集系统。结果显示, 该模型可提供客观的肾积水评估指标, 与传统 SFU 分级系统的一致性超过 85% [5]。Lien 等使用先进深度学习算法分析超声图像以诊断肾积水, 结果显示深度学习模型在肾积水检测中具有高准确性, 灵敏度为 93.8%, 特异度为 91.2%, 为临床医生提供了有价值的诊断辅助工具[6]。Ostrowski 等开发了基于卷积神经网络的自动化系统, 用于超声图像上的 SFU 肾积水分级。结果显示, AI 模型在产前超声检查中识别和分级肾积水表现良好, 总体准确率为 82.3%, 尤其在区分需进一步随访和干预的病例方面效果显著[7]。这种自动化方法有望提高肾积水分级的一致性和效率, 减轻临床医生的工作量。Erdman 等[8]使用单中心 1009 张儿童肾积水超声图像, 通过卷积神经网络(CNN)构建预测模型, 仅凭超声图像即可预测梗阻性肾积水。该模型在测试集上 AUC 值达 0.94, 显著优于传统临床评估方法。

除超声成像外, 计算机断层扫描(CT)在小儿泌尿系统疾病诊断中也扮演重要角色, 尤其在泌尿系结石和复杂解剖结构评估中。在儿童泌尿系结石的诊断和干预中, CT 检查对结石的检出率高达 97%, 远超过传统 X 线片[9]。然而, 辐射剂量一直是儿童 CT 应用的限制因素。Bombiński 等探索了在儿童低剂量 CT 尿路造影(CTU)中使用迭代重建技术, 在保持诊断质量的同时减少辐射暴露。结果显示, 辐射剂量可降低 40~60% [9]。显然, AI 技术的引入有望在降低辐射剂量的同时进一步优化 CT 图像质量, 为小儿泌尿系统疾病诊断提供更安全有效的影像工具。

在肾脏病理诊断中, AI 技术也展现出巨大潜力。Bukowy 等开发了基于区域的卷积神经网络, 用于定位三色染色的全肾切片中的肾小球。研究表明, AI 技术能够准确识别和定位肾小球, 准确率达 87.6%, 为肾脏病理分析提供了自动化工具[9]。该技术在儿童肾脏疾病的病理诊断中具有重要应用价值, 有望提高诊断的准确性和效率。Feng 等开发了 AI 辅助的全幻灯片图像量化评估系统, 用于自动分析肾脏病理切片和识别病理特征。结果显示准确率达 91.3%, 为临床医生提供了诊断支持[10]。这些基于 AI 的病理分析工具有望提高儿童肾脏疾病诊断的准确性和效率, 为精准治疗提供依据。

在儿童肾脏超声异常自动筛查中, Tsai 等建立了人工智能模型, 用于筛查多种儿童肾脏异常, 包括占位性病变和肾积水。研究人员使用深度学习和迁移学习方法开发了计算机辅助诊断模型。结果显示, AI 模型在识别多种肾脏病变方面表现出高准确性, 为临床医生提供了有效的筛查工具[11]。该自动筛查系统有望提高儿童肾脏疾病的早期检出率, 改善患者预后。Rybak 等开发了一种新型数字平台, 用于收集泌尿外科新型成像传感器的测量数据。该平台每秒可处理高达 1000 个数据点, 极大提高了数据收集和效率[12]。此类数字平台的建立为 AI 技术在小儿泌尿外科的应用提供了基础支持, 有助于实现医学影像数据的标准化采集与分析, 为 AI 模型的开发与验证提供高质量数据源。

3. AI 在小儿泌尿外科治疗中的应用

随着机器学习、深度学习及计算机视觉等技术的成熟, 人工智能技术在医学领域的快速发展为小儿泌尿外科治疗决策提供了新的思路与方法。AI 在该领域的应用正从辅助诊断向治疗决策支持系统演变, 能够整合患者的临床特征、基因组数据及影像信息, 为医生提供更加个性化的治疗方案建议[13]。这对小儿泌尿外科尤为重要, 因为儿童的解剖和生理特征与成人差异显著, 治疗需更具针对性。

在治疗方案优化中, AI 系统通过分析大量患者数据, 识别影响治疗效果的关键因素, 协助医生制定基于证据的治疗计划。例如, 针对儿童肾积水患者, Seckiner 等[14]使用人工神经网络技术分析 71 例膀胱输尿管反流患者的临床数据, 包括年龄、性别、反流分级及肾功能等因素, 构建预测模型以辅助医生在保守治疗和手术干预之间做出选择, 模型准确率达 87.3%, 为临床决策提供了有价值的参考。

AI 技术在外科规划和手术模拟中也展现出巨大潜力。Lanfranchi 等研究了头戴式虚拟现实显示器(HMD)和患者特异性术前模拟对小儿泌尿外科决策的影响。结果显示, 该方法显著提高了医生对复杂解剖结构的理解, 增强了手术规划的准确性, 并在部分情况下优化了原治疗方案。尤其对于先天性泌尿系统畸形等复杂病例, 虚拟现实技术可帮助医生更直观地理解患者的解剖特征, 制定更精确的手术计划[15]。此外, AI 在机器人辅助腹腔镜手术中提供导航支持, 可减少手术并发症并提高手术精度。如达芬奇机器人系统在儿童肾盂成形术和输尿管再植术中的成功应用[16]。

值得一提的是, 可解释人工智能(XAI)技术正在逐步解决 AI 在临床决策中的“黑盒”问题。以 Grad-CAM (梯度加权类激活映射)为例, 该技术能够生成视觉化的“热力图”, 直观展示深度学习模型在做出诊断或治疗建议时所关注的图像区域。例如, 在 Ahmed 等[17]开发的用于识别 KUB X 线片中肾脏结石的 VGG16 模型中, Grad-CAM 热力图可清晰指示模型判断为结石的影像区域, 帮助医生验证其是否与临床可疑病灶一致。这种可视化解释不仅增强了医生对 AI 建议的信任, 也为模型决策提供了临床可接受的依据, 尤其在高风险治疗决策中具有重要意义。

4. AI 在小儿泌尿系统疾病预后评估中的应用

AI 在小儿泌尿外科预后评估中的应用由来已久。早在 1998 年, Bagli 等就探索了人工神经网络在预测肾盂成形术后超声结果中的应用。该研究分析了 93 例肾盂成形术患者的数据, 构建了三层前馈神经网络模型以预测术后超声检查结果。尽管当时计算能力和数据规模有限, 但该模型在预测术后肾积水改善方面仍达到 83% 的准确率[18]。这一早期研究为当今 AI 预后预测模型奠定了基础, 展示了 AI 技术在小儿泌尿外科领域的长期发展历史。

Drysdale 等在其研究中开发了个性化机器学习算法, 以识别肾盂输尿管连接处梗阻(UPJO)行肾盂成形术后可能复发的儿童。研究团队采用多种机器学习算法, 包括随机森林、支持向量机和逻辑回归, 构建预测模型并通过十倍交叉验证进行验证。结果显示, 随机森林算法表现最佳, 在预测肾盂成形术后 UPJO 复发方面 AUC 值达 0.82。研究表明, 机器学习算法在小儿泌尿系统疾病预后评估中具有广阔应用前景, 有助于医生更准确地预测手术结果并优化患者管理[19]。

在肾积水预后评估中, Sloan 等使用卷积神经网络(CNN)构建分类模型, 能有效区分高等级和低等级肾积水, 准确率达 87.5%。其中灵敏度为 85.7%, 特异度为 88.9%。这表明深度学习模型能有效区分不同严重程度的肾积水, 为预后评估提供客观依据[20]。Song 等使用 U-Net 深度学习架构构建图像分割模型, 用于自动计算肾积水面积与肾实质比率(HAPR)。其自动计算结果与专家手动测量高度一致($ICC = 0.91$), 并在预测肾积水预后方面表现出良好性能[21]。这种自动化的肾积水定量评估方法不仅减少了主观误差, 提高了评估一致性, 还为临床医生提供了更客观的预后评估指标, 有助于制定个性化治疗和随访策略。

对于膀胱输尿管反流(VUR)患者, Selvi 和 Baydilli 应用机器学习方法分析 RIVUR (儿童膀胱输尿管

反流随机干预)研究数据,旨在识别最可能从抗生素预防中受益的 VUR 儿童。研究人员使用随机森林算法构建预测模型,纳入包括 VUR 分级、尿路感染史及膀胱肠道功能障碍等多种临床特征。结果显示,该模型能有效识别高风险患者,预测准确率达 84.3% [22]。该研究为 VUR 患者的个体化治疗提供了重要证据,有助于优化抗生素使用策略,减少不必要的药物暴露和细菌耐药风险。类似地,Khondker 等结合 VCUG 图像和患者报告结局,开发了 VUR 定量分级模型,其预测性能与传统国际反流研究委员会(IRSC)分级系统具有良好一致性($\kappa = 0.76$),并能动态反映疾病进展[23]。

在预测尿路感染(UTI)复发方面, Lee 等开发了基于深度学习的方法,通过分析 99mTc-DMSA 肾扫描图像预测小儿患者 UTI 复发风险。该研究纳入 286 例有 UTI 病史的小儿患者,使用卷积神经网络分析 DMSA 图像中的肾损伤模式和严重程度。结果显示,深度学习模型在预测 UTI 复发方面准确率达 85.7%,明显优于传统临床评分系统[24]。

对于后尿道瓣膜(PUV)这一影响男孩肾脏和排尿功能的严重先天性疾病, Kwong 等开发了名为“后尿道瓣膜结局预测”(PUVOP)的机器学习工具。该研究分析了来自多中心的 302 例 PUV 患者的临床数据,包括诊断时的临床特征、手术方法、术后并发症等多维信息,并使用 XGBoost 算法构建了预测多种临床相关结局的模型,包括肾功能进展、控尿状态及再手术需求。在预测终末期肾病发展方面 AUC 值达 0.89、预测控尿问题方面 AUC 值为 0.83 [25]。该研究为 PUV 患者的长期管理提供了有力工具,有助于早期识别高风险患者并实施针对性干预。

值得注意的是, AI 在个性化随访策略制定中也发挥重要作用。Drysdale 等根据肾盂成形术后 UPJO 复发风险将患者分层,并为不同风险组制定差异化的随访计划,从而实现医疗资源优化与患者负担减轻。这种基于数据的精准随访模式,代表了预后管理的重要发展方向[19]。

5. 挑战与展望

5.1. 挑战

尽管人工智能技术在小儿泌尿外科领域具有广阔前景,但在实际应用中仍面临许多亟待解决的挑战。小儿数据的独特性和稀缺性是 AI 应用的基本障碍。小儿数据在数量、质量和多样性方面存在显著不足,主要源于儿童的特殊保护地位和严格的伦理法规。在此基础上,隐私保护和伦理问题构成 AI 应用的第二大障碍。小儿医疗数据具有长期敏感性,其使用必须遵循更严格的伦理标准[26]。在小儿泌尿外科领域,儿童生殖系统疾病信息尤为敏感,不当使用可能导致终身隐私侵犯和社会歧视。因此, AI 系统的数据安全机制必须足够强大,以防止未经授权的访问和数据泄露[27]。随着 AI 技术在临床决策中扮演越来越重要的角色,其决策可能对儿童产生长期影响。如何平衡技术创新与患者权益保护已成为医疗机构、研究人员和伦理委员会面临的共同挑战。这一伦理困境不仅涉及技术层面,还涉及社会价值观和法律框架的调整,需要多学科协作解决。

模型可解释性不足是限制 AI 临床应用的另一个关键因素。尽管 VGG16 等深度学习模型在泌尿系统结石识别中表现优异,但其“黑盒”特性使医生难以理解决策依据[28]。在小儿泌尿外科手术决策等高风险场景中,医生需要清楚理解 AI 建议背后的原因,而非简单接受不透明的结果。这种可解释性的缺乏不仅影响医生对 AI 系统的信任,还可能引发法律和伦理层面的责任归属问题,尤其在治疗效果不理想时。

技术整合与临床验证也构成实施障碍。尽管 AI 与物联网(IoT)等技术的结合为临床医学带来新机遇,但系统间的兼容性问题、数据标准化困难及实时处理能力限制等因素阻碍了技术的无缝整合[29]。同时, AI 模型从实验室走向临床应用需经过严格的临床验证,以证明其有效性和安全性。然而,多中心前瞻性研究在小儿难以开展,验证过程复杂且成本高昂。AI 系统在小儿应用前必须经过彻底的临床验证,尤其是针对不同年龄组和疾病严重程度的儿童进行全面评估[30]。尽管这些严格的验证要求是必要的,但它们

无疑延迟了创新技术的临床转化速度, 形成了从实验室到临床应用的“死亡之谷”, 需要政策支持和资金投入才能有效跨越。

监管审批和标准制定滞后是 AI 技术实施的最终障碍。目前, 联邦学习等新型 AI 架构虽有助于解决数据隐私问题, 但仍缺乏成熟的监管评估和临床验证标准[31]。这种监管不确定性增加了医疗机构和公司在 AI 技术研发与应用中的风险。随着机器人辅助手术等新技术在小儿泌尿外科的应用, 如何建立适合 AI 辅助手术系统的安全标准和质评体系已成为亟待解决的问题。

5.2. 未来研究方向

未来 AI 在小儿泌尿外科的研究将呈现多元化发展趋势。Ng 指出, 基于 AI 的计算机辅助检测和诊断系统在小儿放射学中展现出高诊断性能, 尤其在识别泌尿系统异常方面[32]。然而, 当前研究存在方法学弱点, 特别是缺乏模型的外部验证。未来研究需采用更稳健的方法学, 并进行多中心验证研究, 以推动 AI 辅助诊断系统在临床实践中的广泛应用。在罕见病研究中, Irissarry 和 Burger-Helmchen 讨论了 AI 如何解决孤儿药开发中的三大障碍: 高财务风险、开发复杂性和低实验性。对于小儿泌尿外科罕见病, 如特定类型的先天性尿道畸形, AI 可通过简化药物开发流程、分析复杂数据和预测结局, 提高对这些疾病的理解, 并通过模拟和虚拟试验加速药物发现和治疗方案优化, 以弥补患者群体有限的不足[33]。Serrano 等的研究表明, AI 在药物递送系统创新中具有重要价值, 可根据儿童的年龄、体重和代谢特征优化靶器官中的药物分布和释放特性, 提高治疗效果并减少不良反应[34]。在医学教育中, Sriram 等指出, AI 通过自适应学习平台、虚拟模拟和自动化评估提供个性化学习体验, 正在重塑医学培训模式, 尤其适用于学习复杂的小儿泌尿外科手术技能[35]。

此外, Muralidharan 等的研究表明, 尽管儿童疾病负担主要集中在低收入和中等收入国家, 但 AI 研究主要集中于高收入国家。未来研究需要更多国际合作和能力建设, 以开发适应不同资源水平的 AI 解决方案, 如轻量级算法和低成本诊断设备, 使初级医疗卫生机构能够进行初步筛查和评估, 提高医疗可及性[36]。

总之, 未来 AI 在小儿泌尿外科的研究将聚焦于改进技术方法学、多学科整合、建立伦理监管框架及在资源有限环境中的应用。通过国际合作和能力建设, 推动 AI 技术在全球范围的普及与应用, 最终提高小儿泌尿系统疾病的诊疗水平和儿童生活质量。

6. 结论

总之, 人工智能技术在小儿泌尿外科领域展现出巨大潜力, 为疾病诊断、治疗和预后评估提供了新思路 and 工具。虽然 AI 技术在小儿泌尿外科的应用仍面临诸多挑战。但 AI 技术在医学图像分析、疾病分类和预后预测方面取得了显著进展。尤其在肾积水分级、膀胱输尿管反流评估和尿道下裂分类方面, 基于深度学习的算法展现出优于传统方法的准确性和一致性。这些技术不仅减少了诊断中的主观偏差, 还能从复杂医学数据中提取有价值的信息, 辅助临床决策。在未来, 随着技术的不断进步和多学科协作的深化, AI 在小儿泌尿外科的应用将更加广泛和深入, 有望成为推动小儿泌尿外科发展的重要力量, 为小儿患者提供更精准和个性化的医疗服务, 最终提高疾病诊疗水平和儿童生活质量。

参考文献

- [1] Khondker, A., Kwong, J.C., Malik, S., Erdman, L., Keefe, D.T., Fernandez, N., *et al.* (2022) The State of Artificial Intelligence in Pediatric Urology. *Frontiers in Urology*, **2**, Article 1024662. <https://doi.org/10.3389/fruro.2022.1024662>
- [2] Chowdhury, A.T., Salam, A., Naznine, M., Abdalla, D., Erdman, L., Chowdhury, M.E.H., *et al.* (2024) Artificial Intelligence Tools in Pediatric Urology: A Comprehensive Review of Recent Advances. *Diagnostics*, **14**, Article 2059. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14182059>

- [3] Scott Wang, H., Vasdev, R. and Nelson, C.P. (2024) Artificial Intelligence in Pediatric Urology. *Urologic Clinics of North America*, **51**, 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2023.08.002>
- [4] Komatsu, M., Sakai, A., Dozen, A., Shozu, K., Yasutomi, S., Machino, H., *et al.* (2021) Towards Clinical Application of Artificial Intelligence in Ultrasound Imaging. *Biomedicines*, **9**, Article 720. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9070720>
- [5] Smail, L.C., Dhindsa, K., Braga, L.H., Becker, S. and Sonnadara, R.R. (2020) Using Deep Learning Algorithms to Grade Hydronephrosis Severity: Toward a Clinical Adjunct. *Frontiers in Pediatrics*, **8**, Article 1. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.00001>
- [6] Lien, W., Chang, Y., Chou, H., Lin, L., Liu, Y., Liu, L., *et al.* (2023) Detecting Hydronephrosis through Ultrasound Images Using State-Of-The-Art Deep Learning Models. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **49**, 723-733. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.10.001>
- [7] Ostrowski, D.A., Logan, J.R., Antony, M., Broms, R., Weiss, D.A., Van Batavia, J., *et al.* (2023) Automated Society of Fetal Urology (SFU) Grading of Hydronephrosis on Ultrasound Imaging Using a Convolutional Neural Network. *Journal of Pediatric Urology*, **19**, 566.e1-566.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2023.05.014>
- [8] Erdman, L., Skreta, M., Rickard, M., McLean, C., Mezlini, A., Keefe, D.T., *et al.* (2020) Predicting Obstructive Hydronephrosis Based on Ultrasound Alone. In: Martel, A.L., *et al.*, Eds., *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention—MICCAI 2020*, Springer, 493-503. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59716-0_47
- [9] Woźniak, M.M. and Mitek-Palusińska, J. (2022) Imaging Urolithiasis: Complications and Interventions in Children. *Pediatric Radiology*, **53**, 706-713. <https://doi.org/10.1007/s00247-022-05558-6>
- [10] Feng, C., Ong, K., Young, D.M., Chen, B., Li, L., Huo, X., *et al.* (2023) Artificial Intelligence-Assisted Quantification and Assessment of Whole Slide Images for Pediatric Kidney Disease Diagnosis. *Bioinformatics*, **40**, btad740. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btad740>
- [11] Tsai, M., Lu, H.H., Chang, Y., Huang, Y. and Fu, L. (2022) Automatic Screening of Pediatric Renal Ultrasound Abnormalities: Deep Learning and Transfer Learning Approach. *JMIR Medical Informatics*, **10**, e40878. <https://doi.org/10.2196/40878>
- [12] Rybak, G., Strzecha, K. and Krakós, M. (2022) A New Digital Platform for Collecting Measurement Data from the Novel Imaging Sensors in Urology. *Sensors*, **22**, Article 1539. <https://doi.org/10.3390/s22041539>
- [13] Novac, B., Zara, R. and Ciobica, A. (2025) Artificial Intelligence in Urology: New Technologies with Major Potential. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, **15**, 319-324. <https://doi.org/10.70594/brain/15.4/21>
- [14] Seckiner, I., Seckiner, S.U., Erturhan, S., Erbagci, A., Solakhan, M. and Yagci, F. (2008) The Use of Artificial Neural Networks in Decision Support in Vesicoureteral Reflux Treatment. *Urologia Internationalis*, **80**, 283-286. <https://doi.org/10.1159/000127342>
- [15] Lanfranchi, G., Costanzo, S., Selvaggio, G.G.O., Gallotta, C., Milani, P., Rizzetto, F., *et al.* (2024) Virtual Reality Head-Mounted Display (HMD) and Preoperative Patient-Specific Simulation: Impact on Decision-Making in Pediatric Urology: Preliminary Data. *Diagnostics*, **14**, Article 1647. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14151647>
- [16] Sheth, K.R. and Koh, C.J. (2019) The Future of Robotic Surgery in Pediatric Urology: Upcoming Technology and Evolution within the Field. *Frontiers in Pediatrics*, **7**, Article 259. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00259>
- [17] Ahmed, F., Abbas, S., Athar, A., Shahzad, T., Khan, W.A., Alharbi, M., *et al.* (2024) Identification of Kidney Stones in KUB X-Ray Images Using VGG16 Empowered with Explainable Artificial Intelligence. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 6173. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56478-4>
- [18] Bagli, D.J., Agarwal, S.K., Venkateswaran, S., Shuckett, B., Khoury, A.E., Merguerian, P.A., *et al.* (1998) Artificial Neural Networks in Pediatric Urology: Prediction of Sonographic Outcome Following Pyeloplasty. *Journal of Urology*, **160**, 980-983. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(01\)62675-2](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(01)62675-2)
- [19] Drysdale, E., Khondker, A., Kim, J.K., Kwong, J.C.C., Erdman, L., Chua, M., *et al.* (2021) Personalized Application of Machine Learning Algorithms to Identify Pediatric Patients at Risk for Recurrent Ureteropelvic Junction Obstruction after Dismembered Pyeloplasty. *World Journal of Urology*, **40**, 593-599. <https://doi.org/10.1007/s00345-021-03879-z>
- [20] Sloan, M., Li, H., Lescay, H.A., Judge, C., Lan, L., Hajiyeve, P., *et al.* (2023) Pilot Study of Machine Learning in the Task of Distinguishing High and Low-Grade Pediatric Hydronephrosis on Ultrasound. *Investigative and Clinical Urology*, **64**, 588-596. <https://doi.org/10.4111/icu.20230170>
- [21] Song, S.H., Han, J.H., Kim, K.S., Cho, Y.A., Youn, H.J., Kim, Y.I., *et al.* (2022) Deep-Learning Segmentation of Ultrasound Images for Automated Calculation of the Hydronephrosis Area to Renal Parenchyma Ratio. *Investigative and Clinical Urology*, **63**, 455-463. <https://doi.org/10.4111/icu.20220085>
- [22] Selvi, I. and Baydilli, N. (2021) Selecting Children with Vesicoureteral Reflux Who Are Most Likely to Benefit from Antibiotic Prophylaxis: Application of Machine Learning to RIVUR. Letter. *Journal of Urology*, **206**, 1337-1338. <https://doi.org/10.1097/ju.0000000000002191>

-
- [23] Khondker, A., Kwong, J.C.C., Rickard, M., Skreta, M., Keefe, D.T., Lorenzo, A.J., *et al.* (2022) A Machine Learning-Based Approach for Quantitative Grading of Vesicoureteral Reflux from Voiding Cystourethrograms: Methods and Proof of Concept. *Journal of Pediatric Urology*, **18**, 78.e1-78.e7. <https://doi.org/10.1016/j.jpurol.2021.10.009>
- [24] Lee, H., Yoo, B., Baek, M. and Choi, J.Y. (2022) Prediction of Recurrent Urinary Tract Infection in Paediatric Patients by Deep Learning Analysis of 99mTc-DMSA Renal Scan. *Diagnostics*, **12**, Article 424. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020424>
- [25] Kwong, J.C., Khondker, A., Kim, J.K., Chua, M., Keefe, D.T., Dos Santos, J., *et al.* (2021) Posterior Urethral Valves Outcomes Prediction (PUVOP): A Machine Learning Tool to Predict Clinically Relevant Outcomes in Boys with Posterior Urethral Valves. *Pediatric Nephrology*, **37**, 1067-1074. <https://doi.org/10.1007/s00467-021-05321-3>
- [26] Coghlan, S., Gyngell, C. and Vears, D.F. (2023) Ethics of Artificial Intelligence in Prenatal and Pediatric Genomic Medicine. *Journal of Community Genetics*, **15**, 13-24. <https://doi.org/10.1007/s12687-023-00678-4>
- [27] Cacciamani, G.E., Chen, A., Gill, I.S. and Hung, A.J. (2023) Artificial Intelligence and Urology: Ethical Considerations for Urologists and Patients. *Nature Reviews Urology*, **21**, 50-59. <https://doi.org/10.1038/s41585-023-00796-1>
- [28] Lu, Z., Qian, P., Bi, D., Ye, Z., He, X., Zhao, Y., *et al.* (2021) Application of AI and IoT in Clinical Medicine: Summary and Challenges. *Current Medical Science*, **41**, 1134-1150. <https://doi.org/10.1007/s11596-021-2486-z>
- [29] Rieke, N., Hancox, J., Li, W., Milletari, F., Roth, H.R., Albarqouni, S., *et al.* (2020) The Future of Digital Health with Federated Learning. *npj Digital Medicine*, **3**, Article No. 119. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00323-1>
- [30] Hou, S.W., Xing, M.H. and Gundeti, M.S. (2023) Pediatric Robotic Urologic Procedures: Indications and Outcomes. *Indian Journal of Urology*, **39**, 107-120. https://doi.org/10.4103/iju.iju_276_22
- [31] Aylward, B.S., Abbas, H., Taraman, S., Salomon, C., Gal-Szabo, D., Kraft, C., *et al.* (2022) An Introduction to Artificial Intelligence in Developmental and Behavioral Pediatrics. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, **44**, e126-e134. <https://doi.org/10.1097/dbp.0000000000001149>
- [32] Ng, C.K.C. (2023) Diagnostic Performance of Artificial Intelligence-Based Computer-Aided Detection and Diagnosis in Pediatric Radiology: A Systematic Review. *Children*, **10**, Article 525. <https://doi.org/10.3390/children10030525>
- [33] Irissarry, C. and Burger-Helmchen, T. (2024) Using Artificial Intelligence to Advance the Research and Development of Orphan Drugs. *Businesses*, **4**, 453-472. <https://doi.org/10.3390/businesses4030028>
- [34] Serrano, D.R., Luciano, F.C., Anaya, B.J., Ongoren, B., Kara, A., Molina, G., *et al.* (2024) Artificial Intelligence (AI) Applications in Drug Discovery and Drug Delivery: Revolutionizing Personalized Medicine. *Pharmaceutics*, **16**, Article 1328. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16101328>
- [35] Sriram, A., Ramachandran, K. and Krishnamoorthy, S. (2025) Artificial Intelligence in Medical Education: Transforming Learning and Practice. *Cureus*, **17**, e80852. <https://doi.org/10.7759/cureus.80852>
- [36] Muralidharan, V., Schamroth, J., Youssef, A., Celi, L.A. and Daneshjou, R. (2024) Applied Artificial Intelligence for Global Child Health: Addressing Biases and Barriers. *PLOS Digital Health*, **3**, e0000583. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000583>