DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20260649

·综　述·

重症超声在急性肾损伤评估与管理中的应用进展

徐超锋，高　萍*
浙江大学医学院附属第二医院麻醉科，杭州 310000

［摘要］ 急性肾损伤（AKI）病因复杂，血清肌酐和尿量等常用指标难以及时反映肾脏血流动力学及容量状态。重症超声可通过评估肾脏形态和尿路梗阻、肾血流与微循环灌注、心肺容量状态及系统性静脉淤血，辅助AKI病因鉴别、治疗决策和疗效监测。肾动脉阻力指数、超声造影、肺部超声、下腔静脉超声和静脉淤血超声评分具有不同的适用场景，联合应用较单一指标更符合AKI的临床评估逻辑。剪切波弹性成像、多模态影像及人工智能辅助分析具有一定的潜在价值，但目前仍受证据有限、检查标准不统一及外部验证不足等因素限制。本文围绕临床决策路径综述了重症超声在AKI评估与管理中的应用进展，并分析不同技术的优势、局限及互补作用。

［关键词］ 重症超声；急性肾损伤；肾血流动力学；静脉淤血；容量管理
［引用本文］ 徐超锋，高萍. 重症超声在急性肾损伤评估与管理中的应用进展[J]. 海军军医大学学报，2026，47（10）：1365-1370. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20260649.

Application of critical care ultrasound for assessment and management of acute kidney injury: recent progress

XU Chaofeng, GAO Ping*
Department of Anesthesiology, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310000, Zhejiang, China

［**Abstract**］ Acute kidney injury (AKI) has complex etiologies, and conventional indicators such as serum creatinine and urine output do not promptly reflect renal hemodynamics or volume status. Critical care ultrasound can assist in etiological differentiation, treatment decision-making, and therapeutic monitoring of AKI by assessing renal morphology, urinary tract obstruction, renal blood flow, microcirculatory perfusion, cardiopulmonary volume status, and systemic venous congestion. The renal resistive index, contrast-enhanced ultrasound, lung ultrasound, inferior vena cava ultrasound, and venous excess ultrasound grading system have different clinical applications. Their combined use is more consistent with the clinical logic of AKI assessment than reliance on any single parameter. Shear wave elastography, multimodal imaging, and artificial intelligence-assisted analysis have potential value, but their application is currently limited by insufficient evidence, lack of standardized examination protocols, and inadequate external validation. This article reviews the application of critical care ultrasound in the assessment and management of AKI from a clinical decision-making perspective and discusses the advantages, limitations, and complementary roles of different ultrasound techniques.

［**Key words**］ critical care ultrasound; acute kidney injury; renal hemodynamics; venous congestion; volume management
［**Citation**］ Xu C, Gao P. Application of critical care ultrasound for assessment and management of acute kidney injury: recent progress[J]. Acad J Naval Med Univ, 2026, 47(10): 1365-1370. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20260649.

急性肾损伤（acute kidney injury，AKI）是重症患者常见的临床综合征，其发生率因患者构成、疾病严重程度和诊断标准不同存在差异，并与住院时间延长、肾脏替代治疗风险增加及不良预后密切相关。低血容量、低血压、脓毒症、药物、肾实质损伤和尿路梗阻等因素均可导致AKI，部分患者还可能同时存在多种病因。目前，AKI主要依据血清肌酐和尿量变化进行诊断，但血清肌酐升高具有一定滞后性，尿量则容易受到容量状态、利尿剂和血流动力学变化等因素影响。上述指标能够反映肾功能变化，却难以直接揭示病因及肾脏血流动力学状态[1]。

重症超声（critical care ultrasound，CCUS）具有床旁、无创、实时和可重复等特点，可用于观察

［收稿日期］ 2026-07-04　［接受日期］ 2026-09-30
［作者简介］ 徐超锋，硕士，住院医师. E-mail: 532058323@qq.com
*通信作者（Corresponding author）. E-mail: 2318111@zju.edu.cn

肾脏及尿路结构、肾内血流、微循环灌注、心肺容量状态和静脉淤血。CCUS 诊断 AKI 的临床价值并非依靠某一项孤立指标，而在于将不同部位和不同维度的超声信息与病史、实验室指标及血流动力学资料相结合，形成连续、动态的临床评估。本文围绕 AKI 的病因鉴别、肾脏灌注、容量与静脉淤血评估等临床问题，分析不同 CCUS 技术的适用场景、互补作用及局限，并讨论新兴技术和人工智能的潜在价值。

1　CCUS 在 AKI 病因鉴别中的应用

根据改善全球肾脏病预后组织标准，符合以下任一项即可诊断 AKI：48 h 内血清肌酐升高≥ 26.5 μmol/L；7 d 内血清肌酐升高至基线值的 1.5 倍或以上；尿量＜0.5 mL • kg^{-1} • h^{-1}，持续至少 6 h[2]。上述标准用于确认 AKI 及其严重程度，但不能直接区分肾前性、肾性和肾后性病因。CCUS 可在床旁快速完成肾脏、膀胱及心肺血流动力学评估，为病因判断提供补充信息。

1.1　*肾脏形态和肾实质评估*　灰阶超声可观察肾脏大小、皮质厚度、皮髓质分界及实质回声。晚期慢性肾脏病（chronic kidney disease，CKD）常表现为双肾缩小、皮质变薄和回声增强，但糖尿病肾病、淀粉样变性、多囊肾病及部分浸润性疾病患者的肾脏可不缩小，甚至可能增大。因此，肾脏大小和回声改变不能单独作为 AKI 或 CKD 的鉴别依据，应结合既往病史、基线血清肌酐、尿液检查和其他临床资料进行判断[3]。

灰阶超声的主要作用是发现明显的结构异常和提示慢性肾脏改变。肾脏增大并伴皮质回声增强时，应结合患者临床表现考虑肾实质水肿、浸润性疾病或其他肾实质病变的可能。皮质回声增强缺乏病因特异性，也可能受到设备参数和操作者判断的影响。

1.2　*尿路梗阻评估*　排除尿路梗阻是 AKI 早期评估的重要环节。CCUS 可在无需转运患者的情况下观察肾盂、输尿管近端和膀胱，识别肾积水、膀胱过度充盈及导尿管位置异常等情况。床旁超声对 AKI 患者尿路梗阻具有较高的诊断价值[4]，但肾积水程度与梗阻严重程度并非完全一致。在梗阻早期、脱水或腹膜后纤维化等情况下，患者即使存在梗阻，也可能没有明显肾积水；反之，肾盂扩张也不一定代表急性梗阻。对少尿、无尿、有泌尿系结石或肿瘤病史及盆腹腔手术史的患者，应优先进行肾脏和膀胱超声检查。若超声结果与临床表现不一致，仍应根据病情选择其他影像学检查或请泌尿外科评估，不能仅凭一次阴性超声结果完全排除梗阻性 AKI。

2　CCUS 在肾血流动力学及微循环评估中的应用

2.1　*肾动脉阻力指数*（renal resistive index，RRI）　RRI 通常通过脉冲多普勒获得叶间动脉或弓状动脉血流频谱，并根据收缩期峰值流速与舒张末期流速进行计算。缺血、炎症、肾间质水肿和静脉淤血等因素均可能改变肾内血流状态，使 RRI 升高。研究显示，RRI 升高与 AKI 发生、病情持续或不良预后相关[5-6]。

然而，RRI 并不是单纯反映肾血管阻力的特异性指标。年龄、动脉硬化、脉压、心率、心律失常、腹内压、机械通气及血管活性药物等均可影响测量结果。不同研究提出的界值也存在差异，因此不宜根据单次 RRI 测量结果判断 AKI 病因或预后。

RRI 更适合作为肾血流动力学变化的动态观察指标。在低血压、脓毒症或围手术期患者中，应先结合全身血流动力学、心功能和容量状态进行评估，再利用 RRI 观察肾内血流变化。连续测量时应尽量保持测量部位和呼吸、通气等条件一致。当需要进一步了解肾皮质微循环灌注时，可在条件允许的情况下联合超声造影（contrast-enhanced ultrasound，CEUS）。

2.2　CEUS　CEUS 通过静脉注射微泡造影剂显示组织微血管血流信号，可观察肾皮质灌注并获得峰值强度、达峰时间和灌注曲线等参数。一项病例对照研究显示，CEUS 可用于评估 AKI 患者肾皮质微循环灌注，并可动态观察血管活性药物或其他干预前后的灌注变化[7]。对于肾动脉夹层、栓塞或肾动脉狭窄干预后的患者，CEUS 也可能为肾脏低灌注评估提供补充信息[8]。另外，一项脓毒症相关 AKI 研究发现，CEUS 时间参数与 AKI 严重程度存在相关性，联合多普勒超声可能有助于从宏观血流和微循环两个层面评价肾脏灌注[9]。但是，相关参数容易受到设备、成像平面、感兴趣区选取和分析方法的影响，目前尚未形成普遍适用的诊断界值。

与 RRI 主要反映肾内动脉血流频谱变化不同，

CEUS 可进一步提供肾皮质微循环灌注信息，两者具有一定互补性。临床上可先采用常规多普勒超声进行床旁筛查，在需要进一步评价微循环灌注且患者无相关禁忌证时再考虑 CEUS。由于其定量标准尚未统一，并对设备、造影剂及操作者有一定要求，目前不宜作为所有 AKI 患者的常规检查。

2.3　超声指标与生物标志物的联合应用　单一超声参数难以完整反映 AKI 复杂的病理生理过程。肾损伤分子 1（kidney injury molecule-1，KIM-1）、中性粒细胞明胶酶相关脂质运载蛋白（neutrophil gelatinase-associated lipocalin，NGAL）等生物标志物可能在血清肌酐明显升高前发生变化。多项国内外研究显示，KIM-1、NGAL 与 RRI 等指标联合应用可能有助于 AKI 的早期识别和风险评估[10-12]。

超声与生物标志物反映的维度并不相同，前者侧重肾脏结构、血流动力学和灌注状态，后者主要反映肾小管损伤或相关生物学变化。两者联合具有理论上的互补性，但现有研究在检测时间、界值设定和研究人群方面差异较大，尚不足以形成统一的临床路径。因而联合评估结果应作为临床判断的补充，而不能替代血清肌酐、尿量变化及病因分析。

3　CCUS 在容量状态及静脉淤血评估中的应用

3.1　肺部和下腔静脉超声　容量不足和容量超负荷均可能导致或加重 AKI。肺部超声可通过 B 线、胸膜线及胸腔积液等征象评估肺部液体负荷，并通过动态复查观察肺充血变化[13]。B 线增多提示肺间质液体增加，也可见于肺炎、急性呼吸窘迫综合征和肺间质疾病，不能仅凭 B 线决定停止输液或进行液体清除。

下腔静脉超声可观察下腔静脉直径及其随呼吸的变化，为右心充盈状态评估提供信息。然而，其结果受到自主呼吸、机械通气模式、胸腹腔压力和右心功能等因素影响。下腔静脉扩张不等同于容量超负荷，下腔静脉塌陷也不能单独证明患者具有容量反应性。肺部和下腔静脉超声更适合与心脏超声、外周灌注、血压、尿量及液体平衡共同分析。对于低血压合并少尿的患者，应先判断是否存在循环低灌注及容量反应性；对于复苏后持续少尿、肺水增加或右心功能异常的患者，则应进一步评估静脉淤血，避免仅因少尿而反复经验性扩容。

3.2　静脉淤血超声评分（venous excess ultrasound grading system，VExUS）及肾静脉多普勒信息　静脉回流受阻和中心静脉压升高可增加肾静脉压力，降低有效肾灌注压并加重肾功能损害。VExUS 整合下腔静脉、肝静脉、门静脉及肾静脉多普勒信息，可对系统性静脉淤血程度进行半定量分级[14]。与单独观察下腔静脉相比，VExUS 能够从多个静脉血流频谱评价静脉淤血对器官灌注的影响。两项观察性研究显示，较高的 VExUS 分级与脓毒症患者发生 AKI 或肾功能持续异常存在相关性，VExUS 动态改善可能与液体平衡好转和临床状况改善同步[15-16]，但这两项研究均未指出不同人群 VExUS 的最佳界值，且 VExUS 指导治疗能否改善患者结局也尚未完全明确。

部分学者认为 VExUS 非常适用于疑似右心功能障碍、容量超负荷、复苏后持续少尿或拟进行液体清除的患者[17-18]。肾静脉多普勒信息可作为 VExUS 的一部分，用于观察肾静脉血流连续性及搏动变化。但 VExUS 不宜用于所有 AKI 患者的机械化筛查，也不能作为决定利尿、超滤或肾脏替代治疗的唯一依据。

3.3　CCUS 指导液体管理和肾脏替代治疗　AKI 患者的液体管理应在维持有效循环灌注和避免液体蓄积之间取得平衡。连续性肾脏替代治疗可用于液体清除，但清除速度过快可能导致循环容量下降、器官低灌注和血流动力学不稳定。CCUS 可通过连续评估心功能、肺水肿、下腔静脉及静脉血流频谱，为液体清除速度和治疗反应判断提供辅助信息[19]。

我国一项随机对照试验显示，CCUS 指导下的液体管理可能减少血液滤过过程中低血压的发生，并改善部分临床指标[20]。但超声指标仍需与累计液体平衡、血压、血管活性药物剂量、乳酸、毛细血管再充盈、尿量及体重变化共同判断。CCUS 的价值主要体现为动态反馈，而非依据某个固定界值直接决定补液或超滤。

综合现有证据，AKI 患者可按照以下顺序进行床旁评估：通过肾脏和膀胱超声排查明显结构异常及尿路梗阻，同时结合心脏、肺部和下腔静脉超声判断循环低灌注、容量不足或容量超负荷；怀疑肾血流动力学异常时，可进一步测量 RRI；怀疑系统性静脉淤血时，可联合肝静脉、门静脉及肾静脉多

普勒信息进行 VExUS 分级；需要进一步评价肾皮质微循环时，可选择 CEUS。CCUS 在 AKI 评估与管理中的临床应用路径见图 1。

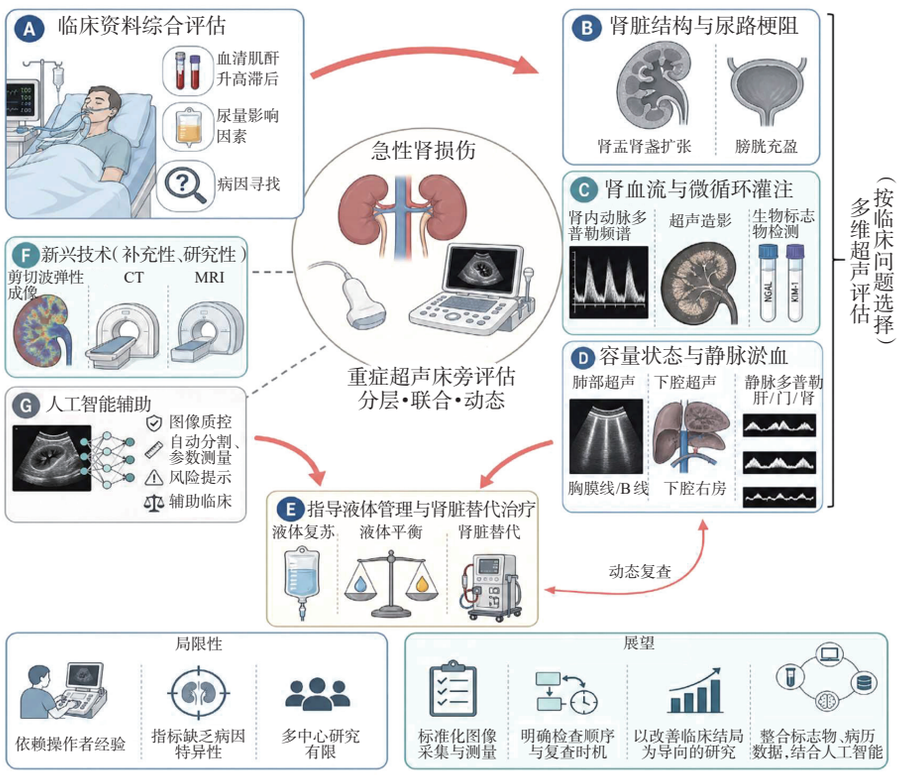

图 1　重症超声在急性肾损伤评估与管理中的临床应用路径

NGAL：中性粒细胞明胶酶相关脂质运载蛋白；KIM-1：肾损伤分子 1；CT：计算机断层扫描；MRI：磁共振成像.

4　新兴技术及其临床定位

4.1　剪切波弹性成像（shear wave elastography，SWE）　SWE 通过测量剪切波传播速度或组织弹性模量，对肾组织硬度进行定量评估。与依靠手动压迫的弹性成像方法相比，SWE 具有一定的可重复性，并已在 CKD、肾纤维化和移植肾评估中开展研究[21-22]。

然而，肾脏弹性并非仅由纤维化决定，还会受到肾灌注、间质水肿、尿路压力、呼吸和测量深度等因素影响。AKI 患者的肾组织硬度变化可能同时包含血流动力学和组织水肿等多种信息，缺乏病因特异性。现有证据主要来自 CKD 和移植肾研究，不能直接外推至普通 ICU 患者。

因此，SWE 目前更适合作为补充性或研究性工具，而不是 AKI 早期评估的优先检查。后续研究需明确测量方法、参考范围及不同 AKI 病因下的变化规律，并验证其能否在常规临床指标之外提供额外的诊断或预后价值。

4.2　多模态影像　多模态影像是根据临床问题整合超声、CT 和 MRI 等检查，以弥补单一影像技术的局限。CCUS 适合床旁快速筛查和动态复查，CT 和 MRI 则可在特定情况下进一步评价肾血管、尿路、组织结构及氧合状态。

血氧水平依赖磁共振成像（blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging，BOLD-MRI）利用脱氧血红蛋白的磁敏感性差异间接反映组织氧合，可能为肾脏缺氧研究提供信息[23]。但是，危重患者通常存在转运风险、监护设备限制及检查时间较长等问题，其临床应用受到限制。多模态影像并非对所有 AKI 患者依次完成多种检查，而应根据 CCUS 初步结果和待解决的临床问题进行选择。当 CCUS 提示血管性或结构性病变但无法明确病因时，可考虑进一步行 CT 或 MRI 检查；对于血流动力学不稳定或需要连续监测的患者，CCUS 仍是更具可行性的床旁工具。

5　人工智能辅助 CCUS 的潜在应用

人工智能在 AKI 领域的研究目前主要集中于整合电子病历、实验室指标和对生命体征进行风险

预测。梯度提升决策树、支持向量机和深度学习等模型在部分数据集中表现出较好的预测能力[24-25]。但此类研究并不等同于人工智能辅助 CCUS，两者在数据来源和临床应用场景方面存在差异。

人工智能辅助超声的潜在应用主要包括图像质量控制、肾脏轮廓自动分割、血流频谱识别、RRI 等参数的自动测量、CEUS 灌注曲线分析，以及超声指标与临床资料的整合。其中，血流频谱识别是指基于人工智能算法识别超声图像或多普勒频谱中的结构及异常特征，如肾脏轮廓、肾积水、B 线和异常静脉频谱等。目前上述应用多处于临床试验或初步验证阶段，其在 AKI 患者中的准确性和泛化能力仍需进一步评价。

深度学习模型也被用于从超声心动图中提取与部分生物标志物相关的影像特征[26]，提示超声图像中可能存在超出常规人工判读范围的信息。但此类结果与 AKI 进展监测之间仍属于间接联系，尚不能据此认为人工智能可以通过超声准确识别肾小球、肾小管或肾间质病变。

人工智能有望降低超声检查对操作者经验的依赖，提高图像采集和参数测量的一致性，但其临床应用仍面临训练数据代表性不足、设备差异、算法可解释性有限和外部验证不足等问题。人工智能算法较高的预测准确性或曲线下面积也不等同于能够改善临床结局，现阶段其更适合作为图像采集、参数测量和风险提示的辅助工具，不能替代医师对 AKI 病因、血流动力学及治疗反应的综合判断。

6　局限性和展望

CCUS 为 AKI 评估提供了从肾脏结构、血流动力学、微循环到全身容量状态和静脉淤血的多维信息，但目前仍存在若干局限。

首先，超声检查依赖操作者经验，图像质量和测量结果容易受到患者体位、体型、机械通气及腹内压等因素影响。不同研究对 RRI、CEUS、VExUS 和 SWE 采用的检查方法及界值并不完全一致，限制了研究结果的比较和推广。

其次，多数超声指标缺乏病因特异性。例如，RRI 升高既可能与肾内损伤有关，也可能受全身血管状态和心脏功能影响；B 线增多提示肺间质液体增加，但不能单独区分心源性肺水肿与其他肺部疾病；肾脏弹性变化也可能同时受到纤维化、灌注和组织水肿影响。临床上应避免将单项指标等同于某一病因或直接作为诊治依据。

再次，现有研究较多关注超声参数与 AKI 发生或预后的相关性，而真正评价超声指导治疗能否改善患者结局的前瞻性、多中心临床试验仍然有限。部分人工智能研究还存在样本量不足、单中心数据、模型过拟合和缺少外部验证等问题。

未来研究应建立标准化的图像采集和测量流程，明确不同临床场景下的检查顺序及动态复查时机。研究重点也应由“某项指标能否预测 AKI”，进一步转向“基于多参数超声的治疗策略能否改善临床结局”。在此基础上，可将 CCUS 与生物标志物、电子病历和人工智能算法进行整合，形成可解释、可验证的风险分层和临床决策支持工具。

7　结　论

CCUS 能够从肾脏和尿路结构、肾血流和微循环、心肺容量状态及系统性静脉淤血等多个维度辅助 AKI 评估。不同技术具有各自的适用场景：灰阶超声适合排查结构异常和尿路梗阻，RRI 与 CEUS 分别从肾内血流频谱和微循环灌注角度提供信息，肺部和下腔静脉超声可辅助容量评估，VExUS 则更侧重系统性静脉淤血评估。上述技术应根据具体临床问题分层、联合和动态应用，不宜依赖单一指标做出诊断或治疗决策。

SWE、多模态影像和人工智能辅助分析拓展了 CCUS 的应用范围，但目前尚缺乏充分的临床验证。未来需要通过标准化、多中心研究明确其临床定位，并评价基于 CCUS 的综合管理策略能否真正改善 AKI 患者的临床结局。

[参 考 文 献]

[1] 国家慢性肾病临床医学研究中心，中国医师协会肾脏内科医师分会，中国急性肾损伤临床实践指南专家组. 中国急性肾损伤临床实践指南[J]. 中华医学杂志，2023，103(42)：3332-3366. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20230802-00133.

[2] 郭锦洲. 改善全球肾脏病预后组织(KDIGO)临床实践指南：急性肾损伤[J]. 肾脏病与透析肾移植杂志，2013，22(1)：57-60. DOI: 10.3969/j.issn.1006-298X.2013.01.014.

[3] Liu C, Wang X. Clinical utility of ultrasonographic evaluation in acute kidney injury[J]. Transl Androl Urol, 2020, 9(3): 1345-1355. DOI: 10.21037/tau-20-831.

[4] Nepal S, Dachsel M, Smallwood N. Point-of-care ultrasound rapidly and reliably diagnoses renal tract obstruction in patients admitted with acute kidney injury[J]. Clin Med (Lond), 2020, 20(6): 541-544. DOI: 10.7861/clinmed.2019-0417.

[5] Lerolle N, Guérot E, Faisy C, et al. Renal failure in septic shock: predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index[J]. Intensive Care Med, 2006, 32(10): 1553-1559. DOI: 10.1007/s00134-006-0360-x.

[6] 黄挺，谢榕城，王雨婷，等. 肾阻力指数联合血液和尿液生物标志物早期预测介入术后造影剂诱导的急性肾损伤的价值[J]. 实用医学杂志，2024，40(7)：1011-1016. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2024.07.023.

[7] 李华，高月花，贾化平，等. 超声造影对急性肾损伤患者肾脏血流灌注水平的评价[J/OL]. 中华医学超声杂志(电子版)，2018，15(7)：534-538. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2018.07.012.

[8] 孙由静，王思宇，马娜，等. 超声造影基线肾皮质血流灌注对重度肾动脉狭窄支架治疗短期预后的观察性研究[J]. 中华超声影像学杂志，2021，30(11)：944-949. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20210430-00301.

[9] 刘培青，张迎春，丁常伟，等. 多普勒超声联合超声造影在脓毒性急性肾损伤中的临床应用：从宏观到微观的肾灌注视角[J]. 中华超声影像学杂志，2023，32(10)：871-879. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230309-00138.

[10] Shaker A M, Mohamed M F, Thabet K K, et al. Serum interleukin-18, kidney injury molecule-1, and the renal resistive index for predicating acute kidney injury in critically ill patients with sepsis[J]. Saudi J Kidney Dis Transpl, 2023, 34(Suppl 1): S153-S160. DOI: 10.4103/sjkdt.sjkdt_56_22.

[11] 徐佳音，朱海燕，徐锦. NGAL 和KIM-1 检测在儿童脓毒症合并急性肾损伤中的诊断价值[J]. 复旦学报(医学版)，2021，48(1)：82-90. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8467.2021.01.013.

[12] Jahaj E, Vassiliou A G, Pratikaki M, et al. Serum neutrophil gelatinase-associated lipocalin (NGAL) could provide better accuracy than creatinine in predicting acute kidney injury development in critically ill patients[J]. J Clin Med, 2021, 10(22): 5379. DOI: 10.3390/jcm10225379.

[13] Reisinger N, Koratala A. Quantitative lung ultrasonography for the nephrologist: applications in dialysis and heart failure[J]. Kidney360, 2022, 3(1): 176-184. DOI: 10.34067/KID.0003972021.

[14] Beaubien-Souligny W, Rola P, Haycock K, et al. Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system[J]. Ultrasound J, 2020, 12(1): 16. DOI: 10.1186/s13089-020-00163-w.

[15] 陈工泽，宋佳，陈文玮，等. 静脉淤血超声评分与脓毒症患者急性肾损伤的相关性研究[J/OL]. 中华危重症医学杂志(电子版)，2024，17(6)：465-472. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2024.06.005.

[16] 笪伟，朱甜甜，王晓波，等. VExUS 评分在脓毒症合并急性肾损伤患者中的应用价值[J]. 中华急诊医学杂志，2024，33(3)：312-316. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.03.009.

[17] Longino A, Martin K, Leyba K, et al. Correlation between the VExUS score and right atrial pressure: a pilot prospective observational study[J]. Crit Care, 2023, 27(1): 205. DOI: 10.1186/s13054-023-04471-0.

[18] Campos-Sáenz de Santamaría A, Albines Fiestas Z S, Crespo-Aznarez S, et al. VExUS protocol along cardiorenal syndrome: an updated review[J]. J Clin Med, 2025, 14(4): 1334. DOI: 10.3390/jcm14041334.

[19] 柯慧娟，吴爽，马琴琴，等. 重症超声引导下液体复苏与早期目标导向治疗对复苏效果血流动力学和氧代谢指标的影响[J]. 中国急救医学，2021，41(8)：676-682. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2021.08.006.

[20] 崔晓琼，邹永明，高文卿，等. 重症超声指导间歇性血液滤过治疗急性肾损伤的容量管理[J]. 中华危重病急救医学，2023，35(3)：310-315. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220809-00733.

[21] 刘小蓝，张亚庆，麦湘湘，等. 超声血流动力学参数与实时剪切波弹性成像定量参数对肾移植后急性肾损伤的预测价值[J]. 中国现代医学杂志，2023，33(9)：12-17. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2023.09.003.

[22] 苏娟. 超声血流动力学参数联合实时剪切波弹性成像定量参数预测肾移植后急性肾损伤的价值[J]. 中外医学研究，2025，23(19)：111-114. DOI: 10.14033/j.cnki.cfmr.2025.19.030.

[23] 徐基磐，陈丽华，任燕，等. 多参数功能MRI评价冷缺血再灌注肾损伤大鼠肾脏血流及氧合水平的价值[J]. 国际医学放射学杂志，2024，47(3)：342-348. DOI: 10.19300/j.2024.L20862.

[24] Li C, Liu J, Fu P, et al. Artificial intelligence models in diagnosis and treatment of kidney diseases: current status and prospects[J]. Kidney Dis (Basel), 2025, 11(1): 491-507. DOI: 10.1159/000546397.

[25] Annalisa S, Marco F, Bibiana B, et al. Acute kidney injury prediction and prognostication using machine learning[J]. Int Urol Nephrol, 2026, 58(8): 3161-3170. DOI: 10.1007/s11255-025-04959-4.

[26] Hughes J W, Yuan N, He B, et al. Deep learning evaluation of biomarkers from echocardiogram videos[J]. EBioMedicine, 2021, 73: 103613. DOI: 10.1016/j.ebiom.2021.103613.

［本文编辑］　杨亚红