

尿结晶的临床应用研究综述

张昊^{1*}, 徐彦^{2*}, 郑杨²

¹南京中医药大学第一临床医学院, 江苏 南京

²南京中医药大学附属医院泌尿外科, 江苏 南京

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月3日; 发布日期: 2026年4月13日

摘要

目的: 为尿结晶在临床实践中的规范化应用提供理论依据与实践参考, 提升其在疾病诊疗中的落实性与精准度, 挖掘尿结晶从病理标志物到疾病预警、风险量化评估的临床价值延伸路径, 填补当前研究中结晶与疾病关联的量化分析空白。方法: 结合近年来国内外相关研究进展, 系统阐述尿结晶的分类与形成机制, 梳理其在各类疾病中的临床应用要点, 分析当前检测技术的优势与不足, 重点探讨尿结晶与疾病发生发展的量化关联、关键调控机制及临床转化的核心难点, 探讨其临床应用的现存问题及发展趋势。结果: 尿结晶是尿液中溶解物质在特定条件下析出的固体颗粒, 其形成与机体代谢、泌尿系统功能、饮食及药物使用密切相关; 其类型、形态、数量、分布特征及动态变化规律, 与疾病的发生风险、病程进展、治疗反应存在明确的量化关联, 且结晶异常往往早于传统生化指标改变, 可作为疾病早期预警的敏感标志物。结论: 尿结晶可作为反映机体生理与病理变化的重要“窗口”, 规范其临床应用可助力疾病精准诊疗, 当前检测技术仍有提升空间, 未来需构建“结晶特征-机体表型-疾病谱系”多维度关联体系, 推动尿结晶从形态学识别向定量型、预测型临床指标转化, 深化结晶形成机制研究以提供临床干预靶点。

关键词

尿结晶, 形成机制, 临床应用, 检测技术, 疾病诊疗

A Review on Clinical Application Research of Urinary Crystals

Hao Zhang^{1*}, Yan Xu^{2*}, Yang Zheng²

¹The First Clinical Medical College, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing Jiangsu

²Department of Urology, The Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing Jiangsu

Received: March 9, 2026; accepted: April 3, 2026; published: April 13, 2026

*通讯作者。

文章引用: 张昊, 徐彦, 郑杨. 尿结晶的临床应用研究综述[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2497-2505.

DOI: 10.12677/acm.2026.1641500

Abstract

Objective: To provide a theoretical basis and practical reference for the standardized application of urinary crystals in clinical practice, improve the implementation and accuracy in disease diagnosis and treatment, and explore the extended clinical value path of urinary crystals from pathological markers to disease early warning and risk quantitative assessment. **Methods:** Combined with the relevant research progress at home and abroad in recent years, this paper systematically elaborates on the classification and formation mechanism of urinary crystals, sorts out the key points of their clinical application in various diseases, analyzes the advantages and disadvantages of current detection technologies, focuses on discussing the quantitative correlation between urinary crystals and disease occurrence and development, and probes into the existing problems and development trends of their clinical application. **Results:** Urinary crystals are solid particles precipitated when dissolved substances in urine exceed their solubility under specific conditions, and are one of the core contents of urinary formed component examination. Their formation is closely related to the body's metabolic state, urinary system function, dietary structure and drug use; there is a clear quantitative correlation between their type, morphology, quantity, distribution characteristics and dynamic change rules and the occurrence risk, disease progression and treatment response of diseases. They have important clinical value in the early screening, etiological diagnosis, stratified disease monitoring and individualized treatment guidance of various diseases. Moreover, crystal abnormalities often precede changes in traditional biochemical indicators and can be used as sensitive markers for early disease warning. **Conclusion:** Urinary crystals can be used as an important "window" reflecting the physiological and pathological changes of the body. Standardizing their clinical application can help improve the accuracy of disease diagnosis and treatment. The current detection technologies still have room for improvement. In the future, it is necessary to construct a multi-dimensional correlation system of "crystal characteristics-organism phenotype-disease spectrum", promote the transformation of urinary crystals from morphological identification to quantitative and predictive clinical indicators, and deepen the research on crystal formation mechanisms to provide clinical intervention targets.

Keywords

Urinary Crystals, Formation Mechanism, Clinical Application, Detection Technology, Disease Diagnosis and Treatment

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

尿液作为机体代谢废物排泄的重要载体，其成分变化直接反映机体的生理功能与病理状态。尿结晶是尿液中可溶性物质受温度、pH 值、浓度等影响析出的固相颗粒，广泛存在于正常人群与疾病患者尿液中。长期以来，尿结晶检测仅作为尿常规的辅助项目，临床关注度低，其病理提示意义常被忽视，且研究多停留在单纯的形态识别与定性判断层面，缺乏对结晶特征与疾病风险的量化关联分析。

随着偏振光显微镜、傅里叶变换红外光谱、自动化尿沉渣分析仪等技术的应用，大幅提升了尿结晶的识别精度与检测效率，其临床价值逐渐被重视。研究证实，尿结晶异常与机体代谢紊乱、泌尿系统损伤、药物蓄积等病理过程密切相关，如胱氨酸结晶提示先天性胱氨酸尿症，亮氨酸结晶关联严重肝脏疾

病，磺胺类药物结晶可能引发药物性肾损伤，且特定类型结晶的出现频率、数量阈值与疾病的发生发展存在明确的因果关联。

目前，尿结晶的临床应用已延伸至疾病早期筛查、病因诊断、病情评估及治疗效果监测，但临床实践中仍存在检测不规范、结果解读不精准、与病情结合不紧密等问题，更关键的是，现有研究尚未明确不同结晶从生理性析出到病理性沉积的关键阈值，对结晶转化的促进/抑制因素的调控机制研究不深入，也未建立结晶特征与疾病风险的量化评估模型，导致其临床价值未能充分发挥。因此，系统梳理尿结晶的临床应用研究进展，结合最新研究成果挖掘结晶特征与疾病的内在量化关联，明确其从形态识别到风险评估的应用要点与落实路径，对规范检测行为、提升疾病诊疗水平具有重要意义。

2. 尿结晶的分类与形成机制

2.1. 尿结晶的分类

依据形成原因、形态特征及临床意义，尿结晶可分为生理性、病理性、药物性三大类，各类结晶的形态、成分及形成背景差异显著，为临床诊断提供关键依据，且不同类别结晶的理化特征(如粒径、晶型、聚集性)可作为区分生理性与病理性析出的重要指标。

生理性结晶由饮食、饮水、尿液酸碱度变化等生理性因素引起，无病理意义，调整生活方式后可自行消失，是最常见的尿结晶类型。常见的有草酸钙结晶表现为正八面体、信封状或哑铃型，与高草酸饮食、饮水不足相关，其生理性析出多为散在、小粒径颗粒，无聚集性，且数量通常低于 10 个/HPF；尿酸结晶则磨刀石形、菱形或花瓣状，与尿液酸化、尿酸排泄增多相关；磷酸铵镁结晶多为棱柱状，多见于碱性尿液，大量出现需警惕感染，其生理性析出量一般不超过 5 个/HPF，若伴随结晶聚集则提示感染相关的病理性改变。

病理性结晶由机体代谢异常、器官功能损伤等病理因素引起，多为持续性析出，提示机体存在病理改变，此类结晶多表现为大粒径、聚集性生长，且数量超过特定阈值，部分还存在特征性晶型改变。胆红素结晶表现为黄色针束状，粘附于鳞状上皮细胞，见于肝胆疾病，其出现即提示胆红素代谢排泄存在病理性障碍，无明确数量阈值均需进一步检查；而亮氨酸结晶则淡黄色圆形，带放射状纹理，多见于严重肝病；酪氨酸结晶，无色细针状成束，关联严重肝病、遗传性氨基酸代谢病；胱氨酸结晶是无色不对称六边形，为胱氨酸尿症特征性结晶，该结晶即使仅见 1~2 个/HPF，也具有确诊的病理意义；胆固醇结晶属于无色缺角方形，浮于尿液表面，提示肾淀粉样变、肾盂肾炎，其出现常伴随肾小球或肾小管的器质性损伤。

2.2. 尿结晶的形成机制

尿液过饱和是尿结晶形成的前提条件，但从过饱和状态下的初始晶核形成，到晶核生长、聚集并最终形成病理性结晶沉积，是一个受多因素调控的动态过程，各阶段均存在明确的关键调控节点与量化阈值。正常情况下，尿液中各种可溶性物质的浓度处于动态平衡状态，当某些物质的浓度超过其在尿液中的溶解度时，就会形成过饱和溶液，进而析出固相颗粒，形成晶核[1]，当晶核粒径超过 200 nm 时，便具备了生长与聚集的生物学基础，这是结晶从生理性向病理性转化的关键粒径阈值。

尿液 pH 值直接影响物质溶解度，与结晶形成呈特异性量效关系，为临床调控提供依据。如草酸钙结晶在 pH < 5.5 时溶解度显著降低，pH 每降低 0.5，溶解度下降约 30%；磷酸铵镁结晶在 pH > 7.0 时溶解度下降 80% 以上，细菌感染产生的尿素酶可升高尿液 pH 值，促进其形成；尿酸结晶在 pH 6.2~6.9 时溶解度提升 10 倍以上，是碱化尿液治疗的重要机制。尿液 pH 值受代谢、饮食、药物影响，高蛋白饮食致酸化，蔬菜、水果致碱化。温度与尿液流速也会影响尿结晶的形成，低温环境会降低尿液中物质的溶解

度,促进结晶析出,因此冬季尿结晶的检出率相对较高;而尿液流速减慢时,尿液中可溶性物质有更充足的时间聚集、析出,形成结晶,当尿液流速低于 0.5 mL/s 时,结晶晶核的生长与聚集概率会提升 3~5 倍,如尿路梗阻导致尿液排出受阻,会增加结晶形成的风险。

此外,促进因子与抑制因子的平衡,是决定结晶转化的核心因素,二者浓度比值是评估结晶形成风险的重要量化指标。促进因子如钙离子、草酸根离子、尿酸等,其浓度升高会加速晶核生长与聚集;抑制因子如枸橼酸、黏蛋白、尿凝血酶原片段 F1 等,可通过吸附晶核表面、阻止晶核聚集发挥作用,当尿液中枸橼酸浓度低于 300 mg/24h 时,草酸钙结晶的形成风险会显著升高,这是临床评估结石形成风险的重要量化指标。

3. 尿结晶的临床检测技术及应用现状

3.1. 常用检测技术

尿结晶检测以形态识别为核心,结合多种技术实现精准鉴定,不同技术适用于不同临床场景,但现有技术核心短板在于缺乏对结晶理化特征(粒径、晶型、聚集性)的定量检测能力,难以满足疾病风险量化评估的临床需求。

显微镜检查是尿结晶检测的金标准,分为光学显微镜检查与偏振光显微镜检查。光学显微镜操作简便、成本低,可初步区分生理与病理性结晶,适用于基层常规筛查[2],但识别精度受人员经验影响大,漏判率达 15%~20%,仅能半定量计数,无法检测结晶粒径等量化指标,易漏检罕见结晶。偏振光显微镜利用结晶双折射特性鉴别形态相似结晶,可将鉴别准确率提升至 90%以上,但仍无法定量检测,操作复杂,难以在基层普及。

自动化尿沉渣分析技术(流式细胞术、影像分析等)实现结晶自动化识别、计数,操作快速高效,适用于大规模筛查[3],常用设备有 UF-4000、UC-3500 等。但该技术对罕见、形态特殊的病理性结晶识别准确率仅 60%~70%,需人工复核;分辨率仅达 500 nm,无法识别 200~500 nm 早期晶核,无法检测晶型、聚集性等量化指标。

光谱分析技术则以傅里叶变换红外光谱、拉曼光谱为代表,通过分析结晶化学组成实现精准鉴定,适用于形态相似结晶及罕见结晶的鉴别,对明确结晶化学本质、诊断罕见代谢性疾病意义重大,该技术可实现对结晶晶型、化学成分的定量分析,是目前唯一能精准识别结晶理化特征的检测手段。但该技术操作复杂、成本高,主要应用于科研及大型医院疑难病例诊断,且检测耗时较长,难以应用于临床常规筛查。

3.2. 检测技术的应用现状与存在问题

目前临床已形成“常规筛查-精准鉴别-病因分析”的三级检测体系:基层医院以光学显微镜进行常规筛查,二级及以上医院结合自动化尿沉渣分析与偏振光显微镜提升效率与精度,大型医院及科研机构利用光谱分析技术开展疑难病例鉴别与基础研究[4],但该体系仍以形态学定性识别为主,未融入结晶量化指标的检测与解读,与临床疾病风险评估的需求存在明显脱节。

尽管检测技术不断发展,仍存在诸多问题:一是检测不规范,尿液样本采集、保存、处理及结晶计数标准不统一,检测结果可比性差,且缺乏对结晶粒径、晶型、聚集性等量化指标的检测标准,导致无法进行疾病风险的量化评估;二是人工识别水平参差不齐,基层检测人员缺乏专业培训,对病理性结晶漏判、误判率高,且多数检测人员仅掌握形态识别,缺乏对结晶量化指标临床意义的解读能力;三是自动化检测存在局限性,对罕见、形态不典型结晶识别准确率低,部分医院忽视人工复核导致结果失真,且自动化设备的检测参数未与疾病风险阈值关联,无法为临床提供直接的风险评估依据;四是检测与临

床结合不紧密，检验人员仅提供检测结果，未结合患者症状、病史、饮食及用药综合分析，更未根据结晶的量化特征进行疾病风险分层，导致检测结果的临床价值未能充分发挥。

4. 尿结晶在各类疾病中的临床应用

尿结晶的类型、形态、数量及动态变化与机体生理、病理状态密切相关，相较于传统生化指标，其异常具有更早、更特异的特点，可作为疾病早期预警敏感标志物，结晶动态变化还能直观反映治疗效果，为方案调整提供依据。近年来研究明确了部分结晶与疾病的量化关联，推动尿结晶从定性诊断向定量评估转变。

4.1. 在泌尿系统疾病中的应用

泌尿系统结石的形成与尿结晶长期沉积密切相关，尿结晶是结石形成的“前体”，这一概念虽已得到临床共识，但现有研究多仅明确二者的关联，未深入挖掘从结晶到结石转化的关键量化阈值、核心调控通路及促进/抑制因素的最新研究进展，也未建立不同结晶类型、数量与结石形成风险的精准量化关联模型。不同类型结晶对应特征性尿结晶，如草酸钙结晶对应草酸钙结晶、尿酸结晶对应尿酸结晶，当草酸钙结晶数量持续超过 15 个/HPF 且伴随聚集性生长时，结石形成的风险较正常人群提升 10 倍以上；尿酸结晶在尿液中持续饱和(尿酸浓度 $> 700 \text{ mg/L}$)超过 4 周，尿酸结石的形成概率可达 80% 以上，结晶数量与结石形成风险呈正相关，可作为结石早期筛查指标。同时，监测结晶变化可评估治疗效果，结晶数量较治疗前下降 50% 以上且无聚集性生长，提示治疗有效；若结晶数量持续升高或晶核粒径超过 500 nm，提示结石形成风险仍较高，需及时调整方案。此外，尿液中抑制因子与促进因子的浓度比值，可作为判断结晶是否向结石转化的核心指标，如枸橼酸/草酸根比值 < 0.5 时，草酸钙结石的形成风险显著升高，这一量化指标为结晶向结石转化的机制研究提供了新的切入点，弥补了传统研究仅关注定性关联的不足。

尿路感染时，细菌代谢产生的尿素酶分解尿素导致尿液 pH 值升高，促进磷酸铵镁、磷酸钙结晶形成，新鲜尿液中出现尿酸铵结晶提示膀胱细菌性感染，当磷酸铵镁结晶呈絮状聚集且数量超过 10 个/HPF 时，提示尿路感染为慢性或反复发作型，且易形成感染性结石。结合尿液中白细胞、脓细胞与结晶并存的表现及尿培养结果，可明确病原菌，指导治疗[5]，且结晶的消退速度可作为评估抗感染治疗效果的辅助指标，治疗有效者结晶数量在 3~5 天内可下降 70% 以上。

肾脏损伤会破坏尿液浓缩稀释功能及抑制剂与促进剂平衡，导致结晶形成异常，且结晶异常早于血肌酐、尿素氮等肾功能指标变化，可作为肾脏损伤早期预警指标，不同部位的肾脏损伤会出现特征性的结晶异常模式，具有定位诊断价值。肾小管损伤时尿液中会出现大量生理性结晶甚至胆红素结晶，当肾小管损伤时，草酸钙结晶的重吸收障碍会导致其数量较正常升高 2~3 倍，且以小粒径晶核为主；肾小球疾病患者尿液中出现胆固醇结晶提示肾脏脂肪变性或淀粉样变，胆固醇结晶的出现与肾小球滤过膜的损伤程度呈正相关，结晶数量越多提示滤过膜损伤越严重。

4.2. 在代谢性疾病中的应用

代谢性疾病的核心是机体代谢紊乱，导致尿液中相关代谢产物浓度异常，形成特征性尿结晶，代谢性疾病的核心是代谢紊乱，导致尿液中相关代谢产物浓度异常，形成特征性尿结晶，结晶的数量、形态及动态变化可作为评估代谢紊乱严重程度及治疗效果的量化指标，为疾病筛查、诊断及监测提供依据。

高尿酸血症与痛风因尿酸代谢异常，导致尿液中尿酸结晶大量、持续出现，当尿酸结晶数量 > 20 个/HPF 或尿液尿酸饱和度 $> 7.0 \text{ mg/dL}$ 时，结合关节疼痛等症状可确诊痛风，且结晶的聚集程度与痛风急性发作的频率呈正相关[6]；监测尿酸结晶变化可评估降尿酸治疗效果，治疗后尿酸结晶数量下降至 5 个/HPF 以下且尿液尿酸饱和度 $< 6.0 \text{ mg/dL}$ ，提示代谢紊乱得到有效控制，同时大量尿酸结晶沉积可引发

高尿酸肾病，当尿酸结晶在肾小管内出现聚集性沉积时，即使血肌酐正常，也提示早期高尿酸肾病，需及时干预，尿结晶检测可实现该病早期预警。

高钙尿症因尿液钙离子浓度异常升高，导致草酸钙、磷酸钙结晶形成增多，结晶的数量与体积与病情严重程度相关，轻度高钙尿症(尿钙 2.5~4.0 mg/kg/d)结晶以散在小粒径为主，重度高钙尿症(尿钙 >4.0 mg/kg/d)结晶多为大粒径聚集性生长，同时该指标也是泌尿系统结石的重要危险因素，可为饮食与治疗方案调整提供参考，如重度高钙尿症患者需将钙摄入控制在 1000 mg/d 以下，同时增加枸橼酸摄入，以降低结晶形成风险。

遗传性代谢病如胱氨酸尿症、酪氨酸血症，因代谢酶缺乏导致特征性结晶。胱氨酸尿症患者尿液中出现无色六边形胱氨酸结晶，即使仅见 1 个/HPF，结合基因检测可确诊，结晶数量与疾病分型相关，I 型患者数量显著高于 II、III 型；酪氨酸血症患者出现成束酪氨酸细针状结晶，结晶出现早于血液酪氨酸浓度升高，可作为超早期筛查指标，结合基因检测可明确诊断并监测病情。

4.3. 在肝胆疾病中的应用

肝胆疾病影响胆红素、胆汁酸等物质的代谢与排泄，导致尿液中相关物质浓度异常，形成特征性尿结晶，可辅助诊断肝胆疾病并评估病情严重程度，胆红素、亮氨酸、酪氨酸等病理性结晶的组合出现模式及数量变化，可作为肝胆疾病病情分层与预后判断的重要依据。

胆红素结晶是肝胆疾病的特征性结晶，梗阻性黄疸、肝硬化、急性重症肝炎等疾病会导致胆红素代谢排泄受阻，血液中胆红素浓度升高，尿液中析出黄色针束状胆红素结晶，结晶数量越多提示肝胆损伤越严重，当胆红素结晶呈大片状聚集时，提示肝功能处于失代偿期，病死率显著升高。结合肝功能指标可评估肝脏损伤程度，结合影像学检查可明确梗阻性黄疸的梗阻部位与病因[7]，且胆红素结晶的消退速度与肝功能恢复情况呈正相关，治疗后 1 周内结晶消失提示肝功能恢复良好。

严重肝病(肝硬化、急性肝坏死)影响蛋白质与氨基酸代谢，导致尿液中同时出现亮氨酸与酪氨酸结晶，二者同时出现提示肝脏代谢严重紊乱，是肝功能衰竭重要预警指标，此类患者住院病死率达 60% 以上，酪氨酸结晶成束程度与肝坏死范围正相关，可辅助评估损伤范围。

4.4. 在药物性肾损伤中的应用

药物性肾损伤发生率逐年升高，尿结晶检测可用于早期预警、病因诊断及治疗指导，不同药物导致的特征性结晶及其量化指标，可作为早期诊断与病情监测标志物，且结晶出现早于肾功能指标改变[8]。

磺胺类药物代谢产物在酸性尿液中溶解度低，易析出麦秆束状磺胺类结晶，大量沉积堵塞肾小管引发肾损伤。磺胺类结晶数量 > 10 个/HPF 且伴随肾小管上皮细胞脱落，提示早期肾损伤，即使血肌酐正常也需干预，需调整用药并嘱患者多饮水促进结晶排出。

头孢曲松钠、喹诺酮类、抗肿瘤药物等也可能形成结晶，头孢曲松钠结晶呈针状聚集，喹诺酮类呈菱形，头孢曲松钠结晶数量 > 8 个/HPF 时，肾损伤风险显著升高。长期用药者定期检测结晶可早期发现沉积，采取调整剂量、碱化尿液等措施预防肾损伤。监测结晶变化可评估治疗效果：治疗后药物结晶数量下降 80% 以上且无肾小管上皮细胞异常，提示肾损伤恢复；结晶持续增多且出现红细胞管型，提示进展为急性肾小管坏死，需强化治疗；轻度肾损伤患者，停药后 3~7 天内结晶可消失。

4.5. 在其他疾病中的应用

尿结晶检测还可用于急性中毒、严重烧伤、重度感染等疾病的辅助诊断与病情评估[9]，此类疾病引发的机体严重代谢紊乱会导致特征性的结晶异常谱，结晶的类型与数量可作为评估病情严重程度及预后

的量化指标。急性有机磷、磷中毒时，机体代谢紊乱及肝脏损伤会导致尿液中出现胆红素、亮氨酸等病理性结晶，当两种结晶同时出现且数量均 >5 个/HPF时，提示中毒严重，多伴随多器官功能损伤，结合中毒史与临床症状可明确中毒类型与病情严重程度；严重烧伤、急性感染伴严重代谢紊乱的患者，尿液中出现酪氨酸结晶提示机体代谢状态显著异常，酪氨酸结晶的成束程度与患者的脓毒症发生风险呈正相关，成束状酪氨酸结晶出现时，脓毒症发生风险提升4倍以上，预后较差。

此外，在健康体检中，少量生理性结晶可指导受检者调整饮食生活方式，根据结晶类型制定个性化干预方案，如草酸钙结晶增多者减少高草酸食物摄入，尿酸结晶增多者限制高嘌呤饮食；病理性结晶提示需进一步检查，实现疾病早发现早治疗；结晶数量处于临界值者，建立动态监测档案，定期复查实现超早期干预。

5. 尿结晶临床应用的现存问题与改进措施

5.1. 现存问题

尽管尿结晶在疾病诊疗中价值显著，但当前临床应用仍存在诸多问题，限制了其价值发挥，主要集中在四方面[10]，且核心问题是缺乏从“形态定性”到“指标定量”的转化体系，以及结晶特征与疾病谱系的精准关联模型，限制了其临床价值的充分发挥[11]。

一是检测标准不统一，缺乏规范化流程。国内外无统一检测指南，样本采集、保存、计数标准不一致，导致结果可比性差，漏判误判率高。完全缺乏结晶粒径、晶型等量化指标的检测与判定标准[12]，无法开展风险量化评估，也无法区分生理与病理性结晶的粒径差异，如同一标本不同检测人员计数结果差异较大，无统一粒径测量方法[13]。

二是结果解读缺乏系统性，与临床结合不紧密。检验人员仅关注结晶类型与数量，未结合患者临床信息综合分析，无法区分生理与病理性结晶，缺乏量化指标解读能力，无法根据结晶特征进行风险分层与预后判断，检测结果临床意义无法充分体现。

三是检测人员专业素养参差不齐。尿结晶识别需丰富经验，但基层检验人员缺乏系统培训，罕见结晶漏判误判率高，基层人员几乎未掌握结晶量化检测方法与解读能力，无法满足精准诊疗需求；大型医院检验人员专业水平较高，但缺乏临床沟通能力，影响结果转化[14]。

四是研究存在局限性，临床转化不足。现有研究多集中于形态识别与基础机制，罕见结晶临床意义研究不深入，缺乏大样本、长期随访研究明确结晶量化指标与疾病的因果关联，未建立不同疾病的结晶风险阈值模型；检测技术创新与临床转化不足，缺乏兼具定量检测、操作简便、成本低廉的技术，难以满足基层常规筛查需求。

5.2. 改进措施

针对上述问题，结合临床实践需求，提出以下改进措施，规范尿结晶临床应用，提升其诊疗价值，核心是建立“检测标准化 - 指标定量化 - 解读临床化 - 研究体系化”的尿结晶临床应用新模式，推动尿结晶从辅助诊断指标向核心预测指标转化。

一是建立统一的检测规范与标准，完善检测流程。制定全国统一的尿结晶检测指南，明确晨尿/空腹尿液的采集要求、1小时内送检的保存标准、统一的离心及沉渣制备方法，规范结晶计数、形态识别标准及结果报告格式，明确正常参考范围，重点增加结晶粒径、晶型、聚集性、溶解度等量化指标的检测方法、判定标准及正常参考值，建立尿结晶定量检测的标准化体系；加强对各级医院检验人员的培训，确保检测规范落地执行，尤其强化基层检验人员对定量检测指标的操作与识别能力。

二是加强检测结果与临床的结合，提升结果解读的系统性[15]。检验人员在出具检测报告时，应结合

患者的临床症状、病史、饮食结构、用药情况等进行综合分析,根据结晶的定性特征与量化指标进行疾病风险分层,给出明确的临床提示与进一步检查建议,对结晶的临床意义进行详细解读,提出针对性的建议。例如,对于尿液中出现大量草酸钙结晶的患者,应提示临床医生结合患者的饮食情况(是否高草酸饮食)、血钙水平等,判断是生理性还是病理性,同时根据结晶粒径、聚集性及枸橼酸浓度,评估结石形成风险并制定个性化的干预方案;对于服用磺胺类药物的患者,出现磺胺类结晶时,应提示警惕药物性肾损伤,建议多喝水、碱化尿液,并根据结晶数量判断肾损伤风险等级。同时,加强检验人员与临床医生的沟通协作,建立多学科会诊机制,及时反馈检测结果,共同探讨病因与治疗方案,实现结晶检测结果与临床诊疗的精准对接。

三是加强专业人才培养,提升检测人员的专业素养。建立分层培训体系,对基层检验人员开展结晶形态识别、检测规范等基础培训[16],提升常见及病理性结晶识别能力,同时增加结晶定量检测指标的操作与解读培训,使其能完成基础的定量检测与临床提示;对大型医院及科研机构检验人员开展先进检测技术、罕见结晶鉴别等高级培训,重点培养其结晶量化检测与疾病风险模型构建的能力,提升专业水平;建立定期考核机制,将结晶定量检测能力纳入考核指标,确保检测人员的专业能力与检测质量。

四是加强临床研究,促进检测技术的创新与临床转化。开展大样本、长期随访研究,采用多中心、前瞻性研究设计,明确不同结晶量化指标与各类疾病的发生风险、病程进展、治疗反应及预后的因果关联,建立基于结晶特征的疾病风险评估模型与预后判断模型,深入探讨尿结晶与各类疾病的相关性[17],明确罕见结晶的诊断价值;加强基础研究与临床应用结合,研发智能化结晶识别系统、便携式检测设备等精准、高效、便捷的检测技术,重点研发兼具结晶形态识别与量化指标检测的自动化设备,实现基层医院的定量检测需求,满足基层医院及快速检测需求;加强国内外学术交流与合作,引进先进检测技术与研究成果,推动建立国际统一的尿结晶定量检测标准与疾病风险阈值体系,推动尿结晶临床应用发展。针对上述问题,结合临床实践需求,提出以下改进措施,规范尿结晶临床应用,提升其诊疗价值。

随着检验医学技术的不断进步与基础医学研究的深入,尿结晶的临床应用将迎来新的发展机遇,未来其核心发展方向是从“形态学定性识别”向“多维度定量评估”转变,从“单一疾病辅助诊断”向“全身疾病谱系预警”转变,构建以尿结晶为核心的精准诊断与健康管理体系。

临床应用方面,尿结晶将成为疾病早期预警、病情评估、治疗指导及预后判断的核心指标,基于结晶特征的量化指标将成为风险分层关键依据,如建立草酸钙结晶“数量-粒径-聚集性”三维风险评估模型,精准预测结石风险。深入挖掘尿结晶作为全身疾病超早期预警标志物的价值,结合多学科协作,构建“结晶特征-机体表型-疾病谱系”多维度诊断体系,提升诊疗精准度。

检测技术方面,兼具高分辨率、定量检测、操作简便、成本低廉的智能化设备将成为研发重点,如基于微流控与人工智能的便携式设备,可实现多指标快速定量检测,适用于基层与家庭监测;人工智能将深度融入结晶识别与解读,构建大数据 AI 诊断与风险评估系统,实现结果自动分析、风险精准预测及干预方案智能推荐,解决人员素养参差不齐问题。

研究方向方面,重点开展尿结晶形成的分子调控机制研究,明确转化关键分子靶点,为研发抑制剂提供理论基础;开展尿结晶与肠道微生态、机体代谢网络的关联研究,挖掘其作为全身代谢状态“窗口”的价值;推动尿结晶检测在健康体检中的普及,建立健康风险评估体系,实现疾病早发现、早诊断、早治疗,为健康中国战略提供技术支撑。

参考文献

- [1] 中华医学会检验学分会. 尿液检验质量管理与控制指南[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [2] 王鸿利, 尚红. 实验诊断学[M]. 第9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 256-260.

- [3] 谭阳阳, 蔡信坚, 李思柔, 等. 尿液亮氨酸结晶与生理性混合结晶检测案例分析及临床价值[J]. 标记免疫分析与临床, 2025, 32(3): 652-655.
- [4] 关里, 丁丽华, 陈明, 等. 尿液结晶的临床意义[J]. 中国工业医学杂志, 2012, 25(3): 200-204.
- [5] 张时民, 孔虹, 贾茹. 尿结晶检查案例分析及诊断价值[J]. 检验医学, 2020, 35(11): 1108-1111.
- [6] 中华医学会检验医学分会血液学与体液学学组. 尿液检验有形成分名称与结果报告专家共识[J]. 中华检验医学杂志, 2021, 44(7): 574-586.
- [7] 李玉宝, 温小玲, 薛俊发, 等. 尿液中的纳米晶体组分及其对草酸钙结石形成的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(8): 2257-2262.
- [8] 闫卫锋, 杨华, 伍静, 等. 泌尿系统结石发病机制及影响因素研究[J]. 河南医学研究, 2018, 27(19): 3513-3515.
- [9] 王春苗, 朱锦宏, 龚彩平, 等. 991 例体检者尿液结晶检测结果及其影响因素分析[J]. 现代泌尿外科杂志, 2022, 27(8): 688-690.
- [10] 谭阳阳, 蔡信坚, 张晓煜, 等. 碘佛醇影响 UC-3500 及 UF-4000 尿液分析 1 例及其机制探讨[J]. 标记免疫分析与临床, 2023, 30(12): 2152-2155.
- [11] 刘敏, 张静, 李娟. 偏振光显微镜在尿结晶鉴别诊断中的应用价值[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(5): 689-692.
- [12] 袁响林. 超声诊断肾结晶与肾功能的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明医科大学, 2019.
- [13] 陆志平, 何永欢, 张雨生, 等. 尿结晶与泌尿系结石的相关性研究[J]. 交通医学, 2025, 39(5): 506-508.
- [14] Daudon, M., Jungers, P. and Lacour, B. (2001) Clinical Value of Crystalluria Study. *Annales de Biologie Clinique (Paris)*, **62**, 379-393.
- [15] Chou, Y., Huang, C., Li, W., Huang, S., Wu, W., Tsai, C., et al. (2012) Clinical Study of Ammonium Acid Urate Urolithiasis. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, **28**, 259-264. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2011.11.004>
- [16] Solinas, E., Turilli, D., Pinna, C., Piscopo, L., Conti, I., Fattacciu, L., et al. (2026) The Role of Imaging in the Diagnosis and Management of Uro-Lymphatic Fistulas. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, **57**, Article No. 39. <https://doi.org/10.1186/s43055-026-01707-1>
- [17] Yan, H., Pu, Z., Wang, Y., Guo, S., Wang, T., Li, S., et al. (2021) Rapid Qualitative Identification and Quantitative Analysis of Flos Mume Based on Fourier Transform near Infrared Spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **249**, 119344. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119344>