

Advances in Urinary Sediment Analysis

Win Kulvichit, Nattachai Srisawat

Division of Nephrology, Department of Medicine, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Abstract

Urine sediment examination is a fundamental diagnostic tool that provides immediate and clinically relevant information about underlying kidney disease. Microscopic analysis of urine sediment by trained specialists helps differentiate among various renal conditions, particularly distinguishing prerenal acute kidney injury from acute tubular necrosis. It also plays a key role in evaluating glomerular syndromes and crystalline nephropathy. By assessing cellular morphology and identifying casts and crystals, urine sediment analysis offers critical insights into the nature of renal injury and disease pathogenesis. Recent advances in automated urine analysis, including digital microscopy and flow cytometry, have enhanced efficiency and accuracy. These technologies enable rapid quantification of urinary elements, reduce interobserver variability, and integrate seamlessly with laboratory information systems to improve workflow. Despite these innovations, physician-performed urine sediment examination remains an indispensable tool in nephrology. Its contribution to improving diagnostic accuracy in acute kidney injury highlights the importance of maintaining proficiency in this technique among clinicians managing kidney disease.

Keywords: UA; urinalysis; urine examination; acute renal failure; AKI; ATN; glomerular disease; glomerulonephritis; nephrotic

Corresponding author: Win Kulvichit

Email: winkulvichit@gmail.com

Received: 21 February 2026; Revised: 13 April 2026; Accepted: 24 April 2026

<https://doi.org/10.63555/jnst.2026.286313>



All material is licensed under terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC-ND 4.0) license unless otherwise stated.

ความก้าวหน้าของการตรวจตะกอนปัสสาวะในโรคไต

วิมล กุลวิชิต, ญัฐชัย ศรีสวัสดิ์

สาขาวิชาโรคไต ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การตรวจตะกอนปัสสาวะเป็นเครื่องมือวินิจฉัยพื้นฐานที่ให้ข้อมูลสำคัญและทันที่เกี่ยวกับโรคไต การวิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยผู้เชี่ยวชาญสามารถช่วยในการแยกแยะโรคไตชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะการแยกภาวะไตวายเฉียบพลัน prerenal acute kidney injury ออกจากภาวะ acute tubular necrosis นอกจากนี้ ยังมีบทบาทสำคัญในการประเมินกลุ่มอาการของโรคไตไกลเมอรูลัสและภาวะไตวายที่สัมพันธ์กับผลึกคริสตัล (crystalline nephropathy) การประเมินลักษณะของเซลล์ รวมถึงการตรวจพบแคสต์และผลึกคริสตัลในปัสสาวะ ช่วยให้เข้าใจลักษณะของการ acute kidney injury และพยากรณ์การเกิดของโรคได้เป็นอย่างดี ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการตรวจปัสสาวะแบบอัตโนมัติ เช่น กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลและ flow cytometry ได้ช่วยเพิ่มทั้งประสิทธิภาพและความแม่นยำ โดยสามารถตรวจองค์ประกอบและวัดปริมาณตะกอนในปัสสาวะได้อย่างรวดเร็ว ลดความแปรปรวนระหว่างผู้ตรวจ และสามารถเชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศห้องปฏิบัติการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน แม้จะมีนวัตกรรมเหล่านี้ การตรวจตะกอนปัสสาวะโดยแพทย์ยังคงไว้ซึ่งความสำคัญในการวินิจฉัยโรคไตชนิดต่างๆ ด้วยข้อได้เปรียบด้านความแม่นยำของการวินิจฉัยภาวะไตวายเฉียบพลันสะท้อนถึงความจำเป็นในการคงไว้ซึ่งทักษะนี้ในหมู่แพทย์ที่ดูแลผู้ป่วยโรคไต

คำสำคัญ: ตรวจปัสสาวะ; ปัสสาวะตะกอน; ไตวายเฉียบพลัน; โรคไตเรื้อรัง; โปรตีนรั่ว; ไตอักเสบ; ตะกอนนิ่ว; นิ่ว

บทนำ

การตรวจตะกอนปัสสาวะ (urine sediment examination) เป็นการทดสอบพื้นฐาน ที่ให้ข้อมูลสำคัญต่อการช่วยวินิจฉัยแยกโรคของภาวะไตวายเฉียบพลัน การตรวจตะกอนปัสสาวะด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยผู้เชี่ยวชาญสามารถช่วยในการวินิจฉัยโรคไตได้หลายประเภท เช่น การแยกภาวะไตวายเฉียบพลัน (acute kidney injury) แบบ prerenal กับ acute tubular necrosis การวินิจฉัยภาวะไตอักเสบ (glomerular syndrome) ภาวะที่มีเม็ดเลือดขาวในปัสสาวะ รวมไปถึงภาวะไตวายที่เกิดจากผลึกคริสตัล (crystalline nephropathy) การสังเกตโครงสร้างเซลล์ การตรวจแยกประเภทของแคสต์ (cast) และผลึกคริสตัลต่างๆ สามารถให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับโรคที่เกิดขึ้นในไตได้

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีการตรวจปัสสาวะแบบอัตโนมัติ (automated urine examination) ได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด โดยมีการนำกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัลและ

flow cytometry มาใช้ในห้องปฏิบัติการทางคลินิก เทคโนโลยีเหล่านี้สามารถตรวจและวิเคราะห์อนุภาคในปัสสาวะโดยอัตโนมัติ ลดความแปรปรวนระหว่างผู้ตรวจ (interobserver variability) และเพิ่มความเร็วในการตรวจวิเคราะห์ นอกจากนี้ระบบอัตโนมัติยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบข้อมูลทางห้องปฏิบัติการได้ทันที อย่างไรก็ตามการตรวจตะกอนปัสสาวะเองโดยผู้เชี่ยวชาญยังคงเป็นทักษะที่จำเป็นในการวินิจฉัยโรคไตชนิดต่างๆ โดยเฉพาะภาวะไตวายเฉียบพลัน เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านความแม่นยำและความสามารถในการตรวจตะกอนได้หลากหลายชนิดมากกว่าเครื่องตรวจแบบอัตโนมัติ

ชนิดและลักษณะตะกอนปัสสาวะตามภาวะกลุ่มอาการของไต

ตะกอนปัสสาวะถูกวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบที่เกิดขึ้นในปัสสาวะ เช่น เซลล์, แคสต์, และผลึกคริสตัล โดยแต่ละชนิดสามารถบ่งชี้ถึงภาวะโรคไตที่แตกต่างกันได้

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ: วิมล กุลวิชิต

อีเมล: winkulvichit@gmail.com

รับบทความ: 21 กุมภาพันธ์ 2569; ปรับปรุงแก้ไข: 13 เมษายน 2569; รับผิดชอบ: 24 เมษายน 2569



All material is licensed under terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC-ND 4.0) license unless otherwise stated.

เซลล์

เซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cells, RBCs) มี 2 ลักษณะ ได้แก่ isomorphic RBCs อาจเกิดจากการเลือดออกนอกไต เช่น การบาดเจ็บในทางเดินปัสสาวะ นิ่วในทางเดินปัสสาวะ มะเร็งในทางเดินปัสสาวะ และ dysmorphic RBCs โดยเฉพาะ acanthocytes เป็นตัวบ่งชี้เลือดออกจากไตส่วนโกลเมอรูลัส

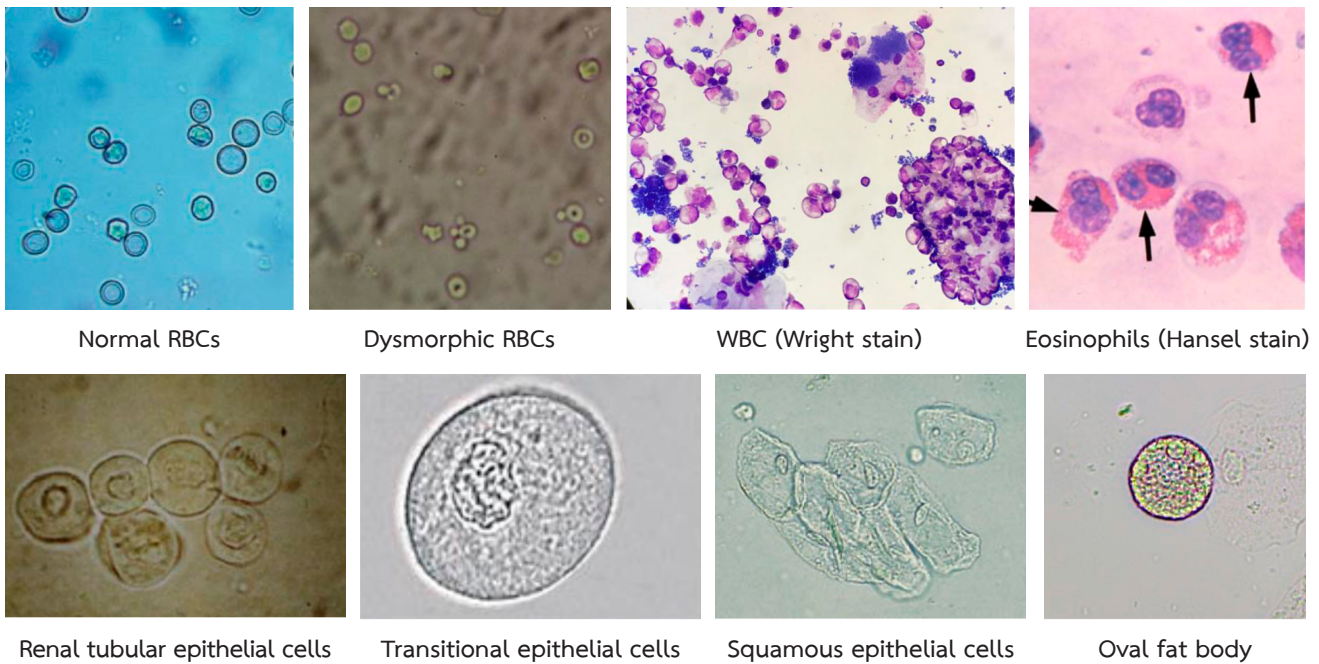
เซลล์เม็ดเลือดขาว (white blood cell, WBCs) ได้แก่ neutrophils มีลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 10-14 ไมโครเมตร พบนิวเคลียสเป็น lobe หรือมี refractile granule (เรียกว่า glitter cell) อาจเคลื่อนไหวแบบ Brownian movement หรือจับกลุ่มรวมกัน (clumping) อาจพบได้ในภาวะติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ หรือ ภาวะการอักเสบ เช่น นิ่ว acute glomerulonephritis เป็นต้น เซลล์ eosinophils อาจพบได้ในภาวะ acute interstitial nephritis, cholesterol emboli, การติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ ประเภทยาไรต์ เช่น schistosomiasis หรือ เชื้อวัณโรค หากไม่สามารถเห็นเซลล์ได้ชัดเจนใน urine fresh smear สามารถทำการย้อม Wright stain หรือ Hansel stain เพื่อให้เห็นเซลล์ eosinophil ได้ชัดเจนขึ้น ส่วนเซลล์ lymphocytes มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดเลือดแดง อาจพบได้ในภาวะ acute interstitial nephritis, การติดเชื้อวัณโรค หรือ เชื้อรา ภาวะสลัดไต ภาวะไตอักเสบจากภูมิคุ้มกัน หรือ leukemic kidney เป็นต้น

เซลล์เยื่อบุท่อไต (renal tubular epithelial cells, RTECs) มีรูปร่างหลากหลาย เช่น กลม วงรี เหลี่ยม หรือเป็นแท่ง มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ และมีอัตราส่วนระหว่างขนาดของนิวเคลียสต่อเซลล์สูง (เส้นผ่าศูนย์กลางนิวเคลียส 7.7 ± 1.1 ไมโครเมตร และ เส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ 13.2 ± 2.2 ไมโครเมตร) สามารถใช้บ่งชี้การเกิดการบาดเจ็บต่อท่อไต (tubular injury) หรือ acute tubular necrosis ได้ เซลล์ oval fat body เป็น RTECs ที่มี fat granule อยู่ภายในไซโทพลาซึม เกิดจากการเก็บไขมันเข้าไปในเซลล์เวลาที่มีการรั่วของไขมันในปัสสาวะ (lipiduria) เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์จะเห็น high refractile droplet ที่มี Maltese cross สามารถบ่งถึงภาวะ nephrotic syndrome ได้

Decoy cells เป็น RTECs ที่ติดเชื้อไวรัสทำให้เกิด viral cytopathic change ประกอบไปด้วย intranuclear viral inclusion

และมี eccentric cytoplasm คล้ายดาวหาง หรือบางตำราอาจเรียก comet cells¹ โดยสามารถแบ่งลักษณะ morphology ออกได้เป็น 4 subtype ได้แก่ subtype 1 classic decoy cells มีลักษณะ enlarged nucleus with ground glass intranuclear basophilic inclusion and rim dense chromatin, subtype 2 intranuclear inclusions surrounded by clear halo มักพบในการติดเชื้อ cytomegalovirus (CMV), subtype 3 multinucleated decoy cells with granular chromatin และ subtype 4 vesicular nuclei with clumped chromatin and nucleoli (empty post-inclusion stage) ซึ่งลักษณะของ decoy cells อาจมีความคล้ายคลึงกับ malignant cells ได้ บ่งถึงภาวะติดเชื้อ เช่น polyoma virus (BK virus), CMV และ adenovirus เป็นต้น เซลล์เยื่อบุผิวชนิด transitional uroepithelial cells มีสองชนิด ได้แก่ superficial transitional uroepithelial cells และ deep transitional uroepithelial cells โดย superficial transitional uroepithelial cells จะมีขนาดใหญ่กว่า RTECs และมีอัตราส่วนของนิวเคลียสต่อเซลล์ที่ต่ำกว่า RTECs โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของนิวเคลียสประมาณ 10.1 ± 1 ไมโครเมตร ในขณะที่เส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์มีขนาด 31.2 ± 9 ไมโครเมตร ส่วน deep transitional uroepithelial cells จะมีขนาดและอัตราส่วนของนิวเคลียสต่อเซลล์ที่ใกล้เคียงกับ RTECs ทำให้แยกจากกันได้ยาก superficial transitional uroepithelial cells สามารถบ่งถึงภาวะบาดเจ็บบริเวณ renal pelvis, ท่อไต, กระเพาะปัสสาวะ และ ท่อปัสสาวะส่วนต้น เช่น จากการใส่สายสวนปัสสาวะ มะเร็งเยื่อบุทางเดินปัสสาวะ นิ่วในทางเดินปัสสาวะ หรือการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ ส่วน deep transitional uroepithelial cells มักบ่งถึงภาวะมะเร็งเยื่อบุทางเดินปัสสาวะ

เซลล์เยื่อบุผิวชนิด squamous epithelial cells เป็นเซลล์ที่บุอยู่บนผิวของท่อปัสสาวะส่วนปลาย และ บริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ มีลักษณะ รูปทรงแบน เป็นแผ่นบางๆ รูปร่างไม่แน่นอน ไม่มีนิวเคลียส และอาจมีรอยพับ หากพบมากในปัสสาวะ มักบ่งถึงการปนเปื้อนสิ่งคัดหลั่งจากอวัยวะสืบพันธุ์ระหว่างการเก็บปัสสาวะ โดยเฉพาะในผู้หญิง และกรณีที่พบ squamous epithelial cells ปริมาณมากโดยไม่พบเม็ดเลือดขาว²



รูปที่ 1 เซลล์ในตะกอนปัสสาวะที่พบได้บ่อย
RBCs, red blood cells; WBC, white blood cells

แคสต์ (Cast)

แคสต์มีรูปร่างทรงกระบอก เกิดขึ้นเกิดจากจับตัวของโปรตีน uromodulin หรือ Tamm-Horsfall protein ซึ่งผลิตจากเซลล์ใน thick ascending limb of the loop of Henle แต่มักจะมาจับตัวกันใน ส่วนของ distal tubules และ collecting ducts และอาจจับกับอนุภาคสารหรือเซลล์ต่างๆ

Hyaline cast แคสต์ชนิดนี้จะไม่มีการมีเซลล์หรือเศษอื่น ๆ เจือปน และพบได้ในตะกอนปัสสาวะที่มีความเข้มข้นสูง มีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อย หรือมี pH ต่ำ พบได้บ่อยในภาวะที่มีอัตราการไหลของปัสสาวะลดลง เช่น ภาวะ prerenal AKI, การออกกำลังกายหนัก และการใช้ยาขับปัสสาวะประเภท loop diuretics

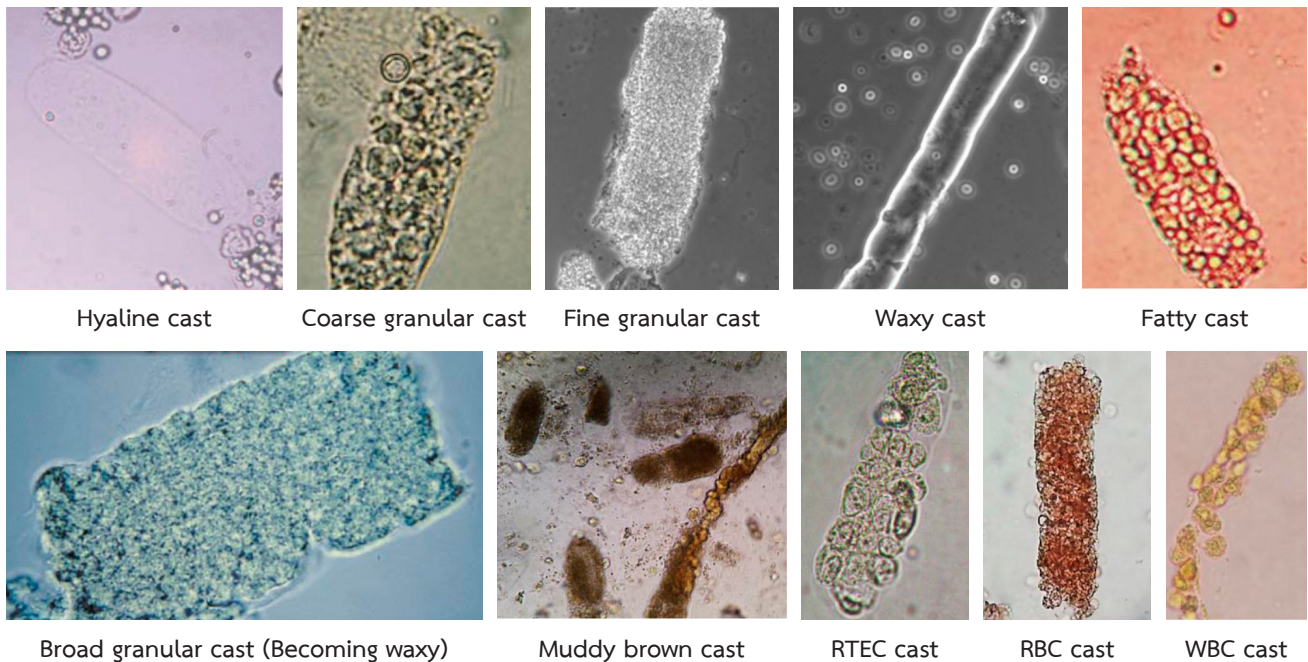
Granular cast เกิดจากการสะสมของสารที่สลายตัวจาก RTECs ซึ่งรวมถึงไลโซโซม และโปรตีน uromodulin อาจมีลักษณะหยาบ (coarse granular cast) หรือละเอียด (fine granular cast) และบางครั้งอาจผสมกัน **muddy Brown casts** เป็นชนิดของ granular cast ที่มีสีน้ำตาลเข้ม สันนิษฐานว่าสีน้ำตาลเข้มเกิดจาก mitochondrial pigments หรือ lipofuscin pigments ที่เกิดจากโปรตีนที่ถูกออกซิไดซ์ พบได้บ่อยในผู้ป่วยที่มี acute tubular necrosis และมักถือว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการบาดเจ็บในท่อไตที่รุนแรง ผู้ป่วยที่มี granular casts จำนวน

มากมักมีพยากรณ์โรคที่ไม่ดี และมีโอกาสสูงที่จะได้รับการบำบัดทดแทนไต

Broad cast มีความกว้างมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดเลือดแดงห้าตัว หรือ เม็ดเลือดขาวสามตัว โดยมักจะพบลักษณะเป็น fine granular broad cast หรือ waxy broad cast บ่งชี้ถึงภาวะท่อไตที่ขยายตัวออก (dilated tubules) เช่นในกรณีของโรคไตวายเรื้อรัง ส่วน **Waxy cast** สันนิษฐานว่าเกิดจาก granular cast ที่สลายตัว ลักษณะ ไม่มีสี มี high refractive index, rigid edge, sharp, blunt end มักบ่งถึงพยาธิสภาพที่อัตราการไหลของปัสสาวะลดลง เช่น ในโรคไตวายเรื้อรัง

Fatty cast เกิดจากการสลายตัวของ oval fat body จะเห็นลักษณะ Maltese cross ของ fat droplets เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ เช่นเดียวกับ oval fat body พบได้ในภาวะ nephrotic syndrome

Cellular cast มีเซลล์ชนิดต่าง ๆ เช่น เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว หรือ RTECs ฝังตัวในแคสต์ บ่งชี้ภาวะที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบหรือการบาดเจ็บในไต การพบ RBC casts บ่งชี้ถึงการบาดเจ็บของโกลเมอรูลัส ขณะที่การพบ WBC casts อาจบ่งบอกถึงภาวะ interstitial nephritis และการพบ epithelial cell casts บ่งบอกถึงภาวะ acute tubular necrosis



รูปที่ 2 แคสต์ที่พบได้บ่อยในปัสสาวะ

RTEC, renal tubular epithelial cells; RBC, red blood cells; WBC, white blood cells

ผลึกคริสตัล (Crystals)

ผลึกคริสตัลเกิดจากการตกตะกอนยิ่งยวดของสารต่างๆ ในปัสสาวะ (supersaturation) ซึ่งการจับตัวเป็นผลึกคริสตัลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความเป็นกรดต่างของปัสสาวะ³ (รูปที่ 3)

Uric acid crystals มีสี่รูปแบบได้แก่ amorphous uric crystal, anhydrous uric crystal (uricite), uric monohydrate crystal และ uric dihydrate crystal โดยที่พบบ่อยคือ uric dihydrate ลักษณะเป็น amber rhomboid, barrel, needle, 6-sided plate มี strong polychromatic birefringence พบในปัสสาวะที่มี pH เป็นกรด และอาจเกี่ยวข้องกับภาวะ acute uric acid nephropathy ในภาวะ tumor lysis syndrome หรือโรคเกาต์

Calcium oxalate crystals เป็นคริสตัลไม่มีสี (colorless) มีสองรูปแบบคือ calcium oxalate monohydrate มีรูปแบบเป็นวงรี (ovoid) แท่ง (rod) หรือ dumbbell shape และมี strong birefringence ส่วน calcium oxalate dihydrate มีลักษณะเป็นซองจดหมาย (envelope shape) มี weak birefringence โดยส่วนใหญ่มักจะพบรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งในปัสสาวะ แต่ก็อาจจะพบปนกันได้บ้าง สามารถพบในกรณีของ hyperoxaluria เช่น primary hyperoxaluria หรือ acquired จาก enteric hyperoxaluria ซึ่งเป็นผลจากการผ่าตัด gastric bypass การได้รับวิตามินซีทางหลอดเลือดดำในขนาดสูง รับประทานมะเฟือง

ปริมาณมาก ethylene glycol poisoning หรือการบริโภคอาหารที่มี ออกซาเลตสูง และมักพบในปัสสาวะที่เป็นกรด

Triple phosphate crystals หรือ Struvite crystal หรือ magnesium ammonium phosphate hexahydrate ไม่มีสี มีลักษณะฝาปิดโลงศพ (coffin lid) prisms, trapezoids และมี strong birefringence พบในปัสสาวะที่เป็นด่าง และสัมพันธ์กับการติดเชื้อจากแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ urease เช่น *Ureaplasma urealyticum*, *Corynebacterium urealyticum* เป็นต้น

Calcium phosphate crystals มีสองรูปแบบคือ ortho-phosphate ลักษณะเป็น amorphous round granulation มี weak birefringence และ brushite อาจมีลักษณะเป็น needle, stick, rosette, prism, stars, splinter-like, หรือ rods และมี strong birefringence พบในปัสสาวะที่เป็นด่าง และอาจเกี่ยวข้องกับภาวะ acute phosphate nephropathy

Xanthine crystals ลักษณะเป็น granules, และเป็นแท่ง มี strong birefringence พบในปัสสาวะที่เป็นกรด อาจเกี่ยวข้องกับโรค xanthinuria เช่น autosomal recessive xanthinuria ที่เป็นผลมาจากการขาด enzyme xanthine dehydrogenase นำไปสู่การคั่งของ xanthine หรืออาจเป็นจากการใช้ยา allopurinol หรือ febuxostat ที่ทำให้ xanthine เพิ่มขึ้นจากการยับยั้ง enzyme xanthine oxidase

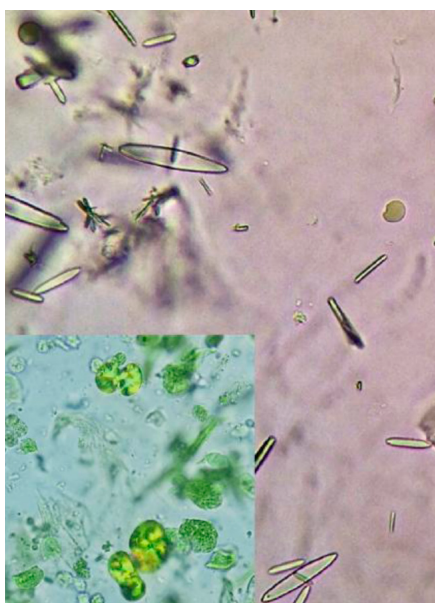
Cystine crystals ไม่มีสี เป็นแผ่นหกเหลี่ยม (colorless hexagonal plates) มี weak birefringence พบในปัสสาวะที่เป็นต่าง อาจเกี่ยวข้องกับโรค cystinuria เช่น autosomal recessive hereditary cystinuria หรือ acquired cystinuria หลังการปลูกถ่ายไตที่มีความผิดปกติของการทำงานของ proximal tubule นำไปสู่การขับออกของ dibasic amino acid ได้แก่ cystine, lysine, arginine, ornithine เพิ่มขึ้น

2,8-Dihydroxyadenine crystals มีลักษณะ reddish brown sphere มี strong birefringence และเป็น Maltese cross พบในปัสสาวะที่เป็นกรดหรือต่างก็ได้ เนื่องจากกลายน้ำได้ไม่ดี อาจเกี่ยวข้องกับโรค adenine phosphoribosyltransferase deficiency (autosomal recessive)

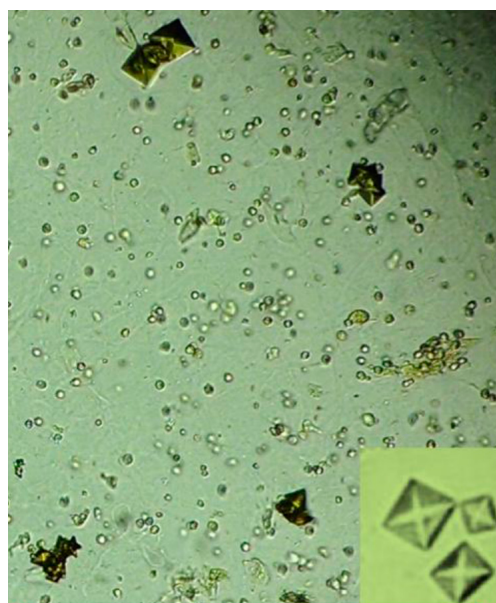
Cholesterol crystals ลักษณะเป็น large notched

geometric plates มักพบในผู้ป่วย nephrotic syndrome หรือในปัสสาวะที่แช่ตู้เย็น

Drug related crystals พบในปัสสาวะผู้ป่วยที่ได้รับยาต่างๆ (รูปที่ 4) ทำให้เกิด intratubular obstruction และภาวะ acute kidney injury ยาส่วนใหญ่จับตัวเป็นคริสตัลในปัสสาวะที่เป็นกรด ยกเว้นยา ciprofloxacin ที่จะตกตะกอนในปัสสาวะที่เป็นด่าง Sulfonamide crystals ไม่มีสีลักษณะเป็นหกเหลี่ยมหรือวงรี; sulfadiazine crystals ลักษณะเป็น shock/sheave of wheat; Amoxicillin crystals ไม่มีสีลักษณะเป็นเข็มบาง (thin needles) หรือ ไม้กวาด (brush-like broom); Ciprofloxacin crystals ไม่มีสี ลักษณะเป็นเข็ม, sheaves, star fans; Acyclovir crystals ไม่มีสี มีลักษณะเป็นเข็มบาง; Methotrexate crystals มีสีเหลือง-น้ำตาล ลักษณะเป็นเข็มบาง



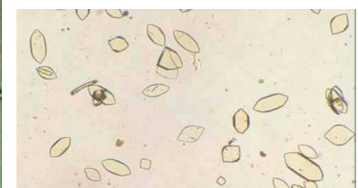
Calcium oxalate monohydrate



Calcium oxalate dihydrate



Triple phosphate

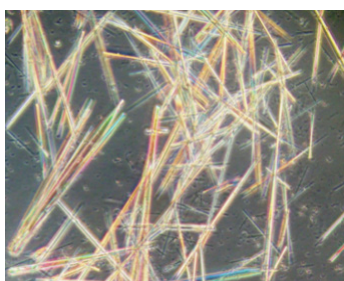


Uric acid



Calcium phosphate

รูปที่ 3 คริสตัลในตะกอนปัสสาวะที่พบได้บ่อย



Aminopenicillins,
quinolones, ceftriaxone
(needle-shaped)

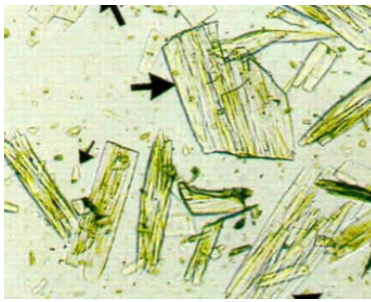


Sulfonamides
(hexagons or ovoid structures; wheat shock;
dumbbell; needle-shaped; fan-shaped; rosettes)

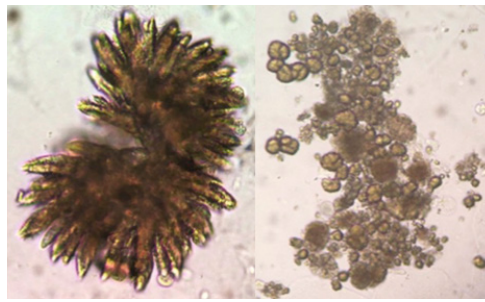


Atazanavir
(needle-shaped)

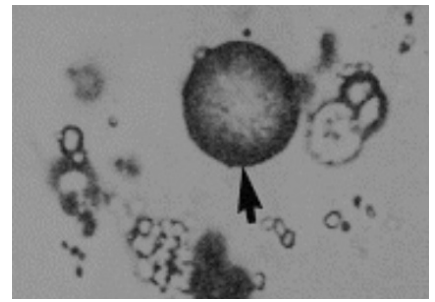
รูปที่ 4 ผลึกคริสตัลที่เกิดจากยาในตะกอนปัสสาวะ



Indinavir
(plate-like; fan-shaped)



Methotrexate
(crystalline cast/crumping)



Triamterene
(spherical)

รูปที่ 4 ผลึกคริสตัลที่เกิดจากยาในตะกอนปัสสาวะ (ต่อ)

การแปลผลทางคลินิกจากข้อมูลตะกอนปัสสาวะ

Acute kidney injury และ chronic kidney disease

ตะกอนปัสสาวะเป็นเครื่องมือสำคัญในการแปลผลทางคลินิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวินิจฉัยภาวะไตเฉียบพลัน (acute kidney injury หรือ AKI) เนื่องจากในภาวะไตวายเฉียบพลันมีการบาดเจ็บของไตอย่างรวดเร็ว ทำให้เซลล์เยื่อบุท่อไตหลุดลอกออกมาในปัสสาวะ ส่งผลให้พบแคสต์และเซลล์ผิดปกติที่สะท้อนพยาธิสภาพของโรค ซึ่งสามารถช่วยแยกสาเหตุของโรคได้อย่างแม่นยำ ต่างจากโรคไตวายเรื้อรังซึ่งเป็นกระบวนการค่อยเป็นค่อยไป มีการปรับตัวของไตและเกิดพังผืดโดยไม่มีการหลุดลอกมาก ตะกอนปัสสาวะในโรคไตวายเรื้อรังจึงมักไม่จำเพาะ เช่น granular cast หรือ waxy cast

Glomerulonephritis และ Nephrotic Syndrome

หากตรวจพบลักษณะตะกอนแบบ nephritis คือ มีเม็ดเลือดแดง หรือ RBC cast ในปัสสาวะ โดยมีเกณฑ์คือเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ light microscopy พบ RBC cast จำนวน 1 อันต่อฟิลด์ (field) หรือมี acanthocyte มากกว่าร้อยละ 5 ของจำนวนเม็ดเลือดแดง หรือมี dysmorphic RBCs มากกว่าร้อยละ 50 หรือ ถ้าดูด้วย phase contrast microscopy พบจำนวน dysmorphic RBCs มากกว่าร้อยละ 75 ของจำนวนเม็ดเลือดแดงในฟิลด์ ร่วมกับการมีโปรตีนรั่วในปัสสาวะ จะช่วยสนับสนุนการวินิจฉัยภาวะ proliferative glomerulonephritis ส่วนกรณีปัสสาวะของผู้ป่วย nephrotic มักจะไม่พบตะกอนปัสสาวะที่มีเซลล์ อาจพบหลักฐานการรั่วของไขมันในปัสสาวะ เช่น oval fat body, fatty cast, cholesterol crystal ซึ่งจะสนับสนุนการวินิจฉัยภาวะ non-proliferative glomerulonephritis อย่างไรก็ตามภาวะนี้มักไม่ทำให้เกิดไตวายเฉียบพลัน ดังนั้นถ้าผู้ป่วยมีภาวะไตวายเฉียบพลันต้องหาสาเหตุอื่นร่วมด้วย เช่น prerenal azotemia, renal vein thrombosis, nephrosarcoma, หรือ interstitial nephritis เป็นต้น สำหรับผู้ป่วย nephritic-nephrotic syndrome จะสามารถตรวจพบตะกอนปัสสาวะได้ทั้งในรูปแบบผสม nephritic urine และ nephrotic urine ร่วมกัน

Acute interstitial nephritis

สำหรับการวินิจฉัยภาวะ acute interstitial nephritis (AIN) พบว่าตะกอนปัสสาวะขาดความไวและความจำเพาะในการใช้วินิจฉัยโรค จากการศึกษาพบว่าสามารถตรวจพบเม็ดเลือดขาวในปัสสาวะได้ตั้งแต่ร้อยละ 20-80⁴ สำหรับ eosinophil นั้น ข้อมูลปัจจุบันไม่สนับสนุนจำนวน eosinophil ที่มากกว่าร้อยละ 1 หรือ ร้อยละ 5 ในการวินิจฉัยแยกโรค biopsy-proven AIN จาก proliferative glomerulonephritis, diabetic nephropathy, หรือ cast nephropathy ได้⁵ ในส่วนของ WBC cast นั้นสามารถพบในภาวะอื่นๆ ได้เช่นกัน เช่น pyelonephritis, proliferative glomerulonephritis, acute papillary necrosis โดยสรุปในภาวะ AIN สามารถพบตะกอนในปัสสาวะที่ประกอบไปด้วย RTECs, granular cast, WBCs และ WBC cast แต่จะไม่พบ dysmorphic RBCs หรือ RBC cast ดังนั้นหากพบตะกอนปัสสาวะที่สงสัยร่วมกับประวัติการสัมผัสยาที่มีความเสี่ยง ควรทำการเจาะชิ้นเนื้อไตเพื่อการวินิจฉัยที่ถูกต้อง

Acute tubular necrosis และ Pre-renal acute kidney injury

สำหรับการวินิจฉัยแยกโรคภาวะ acute tubular necrosis (ATN) และ prerenal AKI ซึ่งเป็นปัญหาที่พบบ่อยในผู้ป่วยภาวะไตวายเฉียบพลัน การตรวจพบความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะที่ใกล้เคียงกับเลือด (isosthenuria) ประมาณ 1.010 การพบ granular cast โดยเฉพาะ muddy brown cast และ RTECs บ่งบอกถึงภาวะ ATN มากกว่า prerenal AKI หากพบทั้ง hyaline cast หรือ hyaline-granular cast ร่วมกับ RTECs อาจจะช่วยสนับสนุนภาวะ ATN ที่เกิดจาก hypoperfusion, prerenal AKI ที่มีความรุนแรงจนเกิดเป็น patchy tubular injury อย่างไรก็ตามแม้จะตรวจไม่พบ RTECs หรือ granular cast อาจจะไม่สามารถตัดภาวะ ATN ออกไปได้ เนื่องจากรายงานในอดีตพบว่าในเพียงร้อยละ 20-25 ของผู้ป่วย AKI ระยะที่ 2 เท่านั้นที่ตรวจพบตะกอนปัสสาวะที่เข้าได้กับภาวะ ATN⁶

ในบางครั้งลักษณะของ RTECs อาจแยกได้ยากจาก deep transitional uroepithelial cell แนะนำให้ใช้ข้อมูลทางคลินิกมาช่วยในการแยกชนิดของเซลล์ เช่นหากพบเซลล์ที่สงสัยร่วมกับ granular cast และ proteinuria อาจนึกถึงเซลล์ดังกล่าวว่าเป็น RTECs มากกว่า uroepithelial cells ในทางกลับกันหากไม่ได้มีปัญหา AKI และ/หรือ ไม่มีตะกอนปัสสาวะอื่นๆ ร่วมด้วยเลย อาจทำให้นึกถึง uroepithelial cell มากกว่า RTECs นอกจากนี้จำนวน granular cast และ RTECs ในตะกอนปัสสาวะยังพบว่ามีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของ AKI ตัวอย่างเช่น การพบ granular cast จำนวนมากในผู้ป่วยที่นอนโรงพยาบาลมักบ่งชี้ถึงภาวะ ATN ที่มีความรุนแรง และสัมพันธ์กับความเสี่ยงในการได้รับ การบำบัดทดแทนไตในอนาคต

Crystalline nephropathy

การตรวจพบผลึกคริสตัลในตะกอนปัสสาวะเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปสู่การวินิจฉัยสาเหตุของ AKI ที่เกิดจาก crystalline nephropathies ชนิดต่างๆ การตรวจพบ uric acid crystal ในตะกอนปัสสาวะของผู้ป่วยที่มี tumor lysis syndrome ช่วยให้การวินิจฉัยภาวะ acute urate nephropathy ได้⁷ หากตรวจพบ xanthine crystal ในผู้ป่วยที่มีภาวะ tumor lysis syndrome ที่กำลังได้รับยา allopurinol อยู่ อาจนำไปสู่การวินิจฉัย xanthine nephropathy⁸ การตรวจพบ calcium-phosphate crystals ในตะกอนปัสสาวะผู้ป่วยที่มีการรับสารละลายโพสเฟตสูง อาจช่วยในการวินิจฉัยภาวะ acute phosphate nephropathy จากการรับประทาน oral sodium phosphate solution ที่ใช้สำหรับเตรียมลำไส้ก่อนการส่องกล้อง⁹ การตรวจพบ calcium oxalate crystal ในตะกอนปัสสาวะผู้ป่วยหมดสติไม่ทราบสาเหตุ และมีภาวะ AKI ร่วมกับ wide gap metabolic acidosis อาจนำไปสู่การวินิจฉัย ethylene glycol poisoning¹⁰ การพบ needle-shaped birefringent crystals ในผู้ป่วย AKI ที่เพิ่งได้รับยา ciprofloxacin สามารถช่วยในการวินิจฉัยภาวะ ciprofloxacin crystal nephropathy¹¹ อย่างไรก็ตามพึงระวังว่า การตรวจพบคริสตัลในตะกอนปัสสาวะไม่ได้หมายถึงภาวะผิดปกติเสมอไป เนื่องจากสามารถพบคริสตัลในปัสสาวะในสภาวะปกติได้ โดยเฉพาะเมื่อตั้งปัสสาวะทิ้งไว้นานกว่า 2 ชั่วโมงก่อนที่จะทำการตรวจตะกอนปัสสาวะ หรือมีการรับประทานอาหารที่มีสารบางอย่างในปริมาณสูง เช่น oxalate crystal อาจพบหลังจากการรับประทานอาหารที่มีออกซาเลตสูง ได้แก่ ผักโขม ช็อกโกแลต หรือ ถั่วอัลมอนต์ ดังนั้นในการแปลผลต้องกระทำร่วมกับข้อมูลทางคลินิก ผลการตรวจก่อนนี้ที่เข้ากันได้กับชนิดของผลึกคริสตัล และตะกอนในปัสสาวะอื่นๆ ประกอบกันจึงจะช่วยสนับสนุนว่าผลึกคริสตัลที่พบเป็น pathologic crystal

ประสิทธิภาพในการวินิจฉัยภาวะไตวายเฉียบพลันจากการตรวจตะกอนปัสสาวะเองด้วยกล้องจุลทรรศน์

การตรวจปัสสาวะเองด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นการทดสอบที่คุ้มค่าใช้เวลาไม่มาก ควรตรวจภายใน 2 ชั่วโมงหลังเก็บตัวอย่างปัสสาวะเพื่อการแปลผลที่ถูกต้อง เนื่องจากหากทิ้งปัสสาวะไว้นานเซลล์จะแตกสลาย จากการศึกษาในอดีตกว่า 15 ปีที่แล้วพบว่า ระบบการให้คะแนนตะกอนปัสสาวะ (urine sediment scoring system) สามารถช่วยวินิจฉัยแยกภาวะ ATN และ pre-renal AKI ได้ค่อนข้างแม่นยำ ในการวินิจฉัยผู้ป่วยที่มีภาวะไตวายเฉียบพลันจำนวน 231 ราย การตรวจพบ granular cast 1-5 ตัวใน low-power field [LPF] หรือ RTEC 1-5 ตัวใน high-power field [HPF] สามารถทำนายการวินิจฉัย ATN ได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า positive predictive value (PPV) ที่ร้อยละ 100 ในทางกลับกันการตรวจไม่พบ RTECs หรือ granular cast สามารถวินิจฉัย prerenal AKI ได้อย่างแม่นยำเช่นเดียวกัน โดยมี negative predictive value (NPV) ที่ร้อยละ 91¹² อีกการศึกษาหนึ่งพบว่าการตรวจปัสสาวะด้วยกล้องจุลทรรศน์เปลี่ยนการวินิจฉัยจาก prerenal AKI ไปเป็น ATN ร้อยละ 23 และเปลี่ยนการวินิจฉัยจาก ATN ไปเป็น prerenal AKI ร้อยละ 14% นอกจากนี้การตรวจพบตะกอนปัสสาวะที่มี granular cast และ RTECs ยังสัมพันธ์กับความรุนแรงของภาวะ AKI และสามารถใช้ในการทำนายพยากรณ์โรคได้อีกด้วย ผู้ป่วย AKI ที่มีคะแนน granular cast สูงมีความเสี่ยงในการเกิดภาวะ AKI ระดับรุนแรงขึ้นถึง 7.3 เท่า และสัมพันธ์กับความเสี่ยงของความจำเป็นในการบำบัดทดแทนไต โดยพบว่าการทำนายผลลัพธ์ทางคลินิกเป็นไปในรูปแบบ dose-dependent relationship¹³ นอกจากนี้คะแนน granular cast และ RTECs ยังสามารถทำนายการฟื้นตัวของไตในผู้ป่วยที่มีภาวะไตวายเฉียบพลันได้อีกด้วย โดยหากพบ granular cast หรือ RTECs ปริมาณมากบ่งบอกถึงอัตรา การฟื้นตัวของไตที่ต่ำกว่าผู้ป่วยที่มีปริมาณ granular cast หรือ RTECs น้อยกว่า

การตรวจตะกอนปัสสาวะอาจสามารถพยากรณ์การเกิดภาวะ AKI ได้อีกด้วย การศึกษาในผู้ป่วยจำนวน 164 รายที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจ พบว่าการตรวจพบ RTECs หรือ granular cast ในตะกอนปัสสาวะสามารถทำนายการเกิด AKI ได้ด้วย AUC 0.58 มีความจำเพาะสูงถึงร้อยละ 94.3 อย่างไรก็ตามพบมีความไวเพียงร้อยละ 22.8¹⁴ อีกการศึกษาหนึ่งทำในผู้ป่วยที่มาโรงพยาบาลที่ห้องฉุกเฉิน พบว่าการตรวจปัสสาวะพบตะกอน RTECs หรือ granular cast สามารถทำนายการเกิด AKI ได้ด้วยความจำเพาะที่ค่อนข้างสูงแต่ขาดความไวเช่นกัน โดยสรุปการตรวจตะกอนปัสสาวะค่อนข้างมีความจำเพาะต่อภาวะ ATN และสามารถทำนายการเกิดภาวะ AKI รวมถึงผลลัพธ์ที่ของ AKI ได้ แต่หากตรวจ

ไม่พบตะกอนไม่สามารถที่จะตัดภาวะ ATN ออกไปได้เนื่องจาก มีความไวค่อนข้างต่ำ ตารางที่ 1 สรุปการศึกษาประสิทธิภาพ ของตะกอนปัสสาวะในการวินิจฉัยและการพยากรณ์โรคของ ภาวะไตวายเฉียบพลัน

ตารางที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนปัสสาวะในการวินิจฉัยและพยากรณ์ภาวะไตวายเฉียบพลัน

การศึกษา	Population	N	Outcomes	Results
Chawla et al. (2008) ¹⁵	AKI	18	Renal non-recovery	AUC 0.79
Perazella et al. (2010) ¹³	AKI	197	Worsened AKI (increased AKIN stage, RRT, death)	AUC 0.75
Bagshaw et al. (2011) ¹⁶	AKI in ICU	83	Worsened AKI RRT/death	AUC 0.85
Hall et al. (2011) ¹⁷	AKI	249	Worsened AKI (increased AKIN stage, RRT, death)	AUC 0.66
Schinstock et al. (2013) ¹⁸	Emergency department patients	363	AKI occurrence by AKIN criteria	AUC 0.57 Sensitivity 22% Specificity 91%
Goldani et al. (2020) ¹⁴	Cardiac surgery patients	164	AKI occurrence by AKIN criteria	AUC 0.58 Sensitivity 22.8% Specificity 94.3%

AUC, area under the curve; AKIN, Acute Kidney Injury Network; RRT, renal replacement therapy; ICU, intensive care unit

การตรวจวิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะแบบอัตโนมัติ (automated urine examination)

การตรวจตะกอนปัสสาวะเองด้วยกล้องจุลทรรศน์มีข้อจำกัด ในด้านแรงงาน เวลา ผู้เชี่ยวชาญ และปัญหาของ interobserver variability ที่ทำให้ผลการตรวจไม่แน่นอน จึงมีการพัฒนาการตรวจ วิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะแบบอัตโนมัติที่ช่วยให้สามารถตรวจสอบ ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว ลดภาระงาน และประหยัดต้นทุน โดย ระบบเหล่านี้สามารถประมวลผลภาพแบบดิจิทัลจากตัว อย่างปัสสาวะและจำแนกเซลล์หรืออนุภาค โดยอาศัยอัลกอริทึม ทางคอมพิวเตอร์ร่วมกับการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ปัสสาวะด้วยระบบตรวจอัตโนมัติได้รับความนิยมมาก ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างปัสสาวะได้อย่าง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (ตารางที่ 2) โดยเทคโนโลยีหลักที่ได้รับ พัฒนาคือ การวิเคราะห์ภาพดิจิทัลของอนุภาคในปัสสาวะ (Urine digitized microscopy) และ automated flow cytometry

Automated particle recognition

ระบบ APR เช่นระบบ iQ200 (Iris Diagnostics, USA) หรือ

FUS100 (Dirui Industrial Co. Ltd., China) ใช้เทคโนโลยีการไหล laminar flow ของปัสสาวะโดยไม่ต้องปั่นเหวี่ยง ร่วมกับซอฟต์แวร์ ดิจิทัล APR เพื่อระบุและจำแนกอนุภาคในปัสสาวะ โดยกล้อง วิดีโอจะจับภาพอนุภาคกว่า 500 ภาพต่ออนุภาคและวิเคราะห์โดย โครงข่ายประสาทเทียม (neural network) ที่มีฐานข้อมูลภาพ อ้างอิงกว่า 26,000 ภาพ ซึ่งระบบ iQ200 สามารถจำแนกอนุภาค ได้ถึง 12 ประเภท¹⁹ และลดความจำเป็นในการเตรียมตัวอย่าง ด้วยมือ แต่ยังคงต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบและจัด ประเภทอนุภาคใหม่ในกรณีที่โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ถูกต้อง ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงพัฒนาระบบตรวจปัสสาวะ อัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์ภาพดิจิทัลอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มความ ไวและความจำเพาะของการตรวจ เช่น DxU Microscopy Series (Beckman, USA, 2021) เป็นรุ่นปรับปรุงของ iQ200 ที่รองรับ ตัวอย่างได้มากขึ้นและลดอัตราความจำเป็นที่ต้องทบทวนตะกอน ปัสสาวะด้วยมือเหลือเพียงร้อยละ 4 ส่วน FUS-200 (Dirui, China) เป็นรุ่นพัฒนาของ FUS-100 ที่รองรับปริมาณตัวอย่างสูงขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความไวในการตรวจหาแบคทีเรีย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการตรวจตะกอนปัสสาวะเองและการตรวจแบบอัตโนมัติ

	การตรวจตะกอนปัสสาวะเอง	การตรวจตะกอนปัสสาวะอัตโนมัติ
อคติ (Bias)	มีความแตกต่างระหว่างผู้ตรวจ (Interobserver variability)	ไม่มี
ปริมาตรตัวอย่าง	12 มล.	4 มล.
มาตรฐาน	จำกัด	ดีเยี่ยม
ปริมาณตัวอย่างที่ตรวจต่อชั่วโมง	ต่ำ	สูง
การจำแนกผลึกและแคสท์	ดีเยี่ยม	จำกัด
การจำแนกจุลชีพ	ดีเยี่ยม	ทำได้แต่มีข้อจำกัด
การตรวจไขมัน	ดีเยี่ยม	ไม่ได้
การหาปริมาณอนุภาค	ประเมินค่าโดยประมาณ	ให้ตัวเลขที่แม่นยำ
การรายงานผลอัตโนมัติ	ทำไม่ได้	ทำได้
ระยะเวลาของผล	ช้า	เร็ว
ข้อผิดพลาดจากการบันทึกผล	มาก	น้อย
ค่าใช้จ่าย	ถูก	แพง

Cuvette-based microscopy

ระบบกล้องจุลทรรศน์คิวเวตต์ เช่น sediMAX (77 Elektronika, Hungary) หรือที่รู้จักกันในชื่อ UriSed ใช้หลักการปั่นเหวี่ยงเพื่อสร้างชั้นตะกอนปัสสาวะก่อนการวิเคราะห์ แล้วใช้กล้องดิจิทัลจับภาพ 15 ภาพต่อหนึ่งตัวอย่าง จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์ neural network ประมวลผล ซึ่งระบบนี้จะประมวลผลภาพตะกอนปัสสาวะออกมาเป็นฟิล์มภาพคล้ายคลึงกับการตรวจตะกอนปัสสาวะเองทางกล้องจุลทรรศน์²⁰ ระบบกล้องจุลทรรศน์คิวเวตต์รุ่นใหม่ เช่น SediMax (CONTRUST) รวมเทคโนโลยี phase contrast microscopy และ bright field microscopy เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจหาคริสตัลและพยาธิ ส่วน Cobas u 701 (Roche, Germany) และ Atellica UAS 800 (Siemens, Germany) เป็นอีกระบบคิวเวตต์ใหม่ ซึ่งมีความไวสูงในการตรวจหาแคสท์และคริสตัล และสามารถเชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบผลเพิ่มเติมได้

Automated flow cytometry

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบ automated flow cytometry ขึ้นมาเพื่อลดภาระในการตรวจซ้ำของเจ้าหน้าที่ (ตารางที่ 3) โดยระบบ automated flow cytometry ใช้หลักการนำอนุภาค

ของปัสสาวะที่ยังไม่ปั่นไหลผ่านเครื่องตรวจนับเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ เพื่อสร้างแผนภูมิ scattergram ออกมาเพื่อวิเคราะห์ชนิดของอนุภาค²¹ ต่างจากระบบของ digitized microscopy ที่วิเคราะห์ภาพของอนุภาค ตัวอย่างระบบที่ใช้เทคโนโลยี flow cytometry ได้แก่ UF-100 (Sysmex, Kobe, Japan), UF-1000i, UF-5000, UF-4000 ซึ่งจากการศึกษาเทียบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจ flow cytometry ด้วยระบบ UF-5000 ยังดีกว่า u 701 ที่เป็น digitized microscopy ในด้านการตรวจ crystal และ cast²²

โดยสรุประบบวิเคราะห์ปัสสาวะแบบอัตโนมัติสามารถตรวจตะกอนปัสสาวะได้ภายในเวลา 20 วินาทีต่อการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการตรวจวิเคราะห์ปัสสาวะด้วยมือที่ใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 2.7 นาทีต่อการทดสอบนอกจากนี้การใช้การวิเคราะห์ปัสสาวะแบบอัตโนมัติยังช่วยลดต้นทุนด้านกำลังคนโดยร้อยละ 32 ของห้องปฏิบัติการสามารถลดจำนวนนักเทคนิคทางการแพทย์ได้ และอาจลดต้นทุนการตรวจวินิจฉัยได้ถึงร้อยละ 70 ต่อการทดสอบ²³ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อช่วยลดภาระการคัดกรองการตรวจปัสสาวะปริมาณมาก

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างระบบวิเคราะห์ภาพดิจิทัลของอนุภาคในปัสสาวะ (digitized microscopy) และ flow cytometry

	Digitized microscopy	Flow cytometry
ภาพที่ได้	ภาพอนุภาคขาวดำหรือทั้งฟิลด์ภาพ	Scattergrams ไม่มีภาพของอนุภาค
อนุภาคที่ระบุและนับได้	เม็ดเลือดแดง, เม็ดเลือดขาว epithelial cells, hyaline casts, คริสตัล และ แบคทีเรีย	เม็ดเลือดแดง, เม็ดเลือดขาว epithelial cells, hyaline casts, คริสตัล และ แบคทีเรีย
ข้อดี	มีภาพให้ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ	ใช้ความเชี่ยวชาญน้อย
ปริมาณตัวอย่างขั้นต่ำ	2-3 มิลลิลิตร	4 มิลลิลิตร
จำนวนตัวอย่างต่อชั่วโมง	65-100	100
รุ่นอุปกรณ์	มีให้เลือกหลากหลาย	มีให้เลือกจำนวนน้อย
ราคา	2,000,000 บาท	4,250,000 บาท

ประสิทธิภาพในการวินิจฉัยภาวะไตวายเฉียบพลันด้วยการตรวจตะกอนปัสสาวะแบบอัตโนมัติ

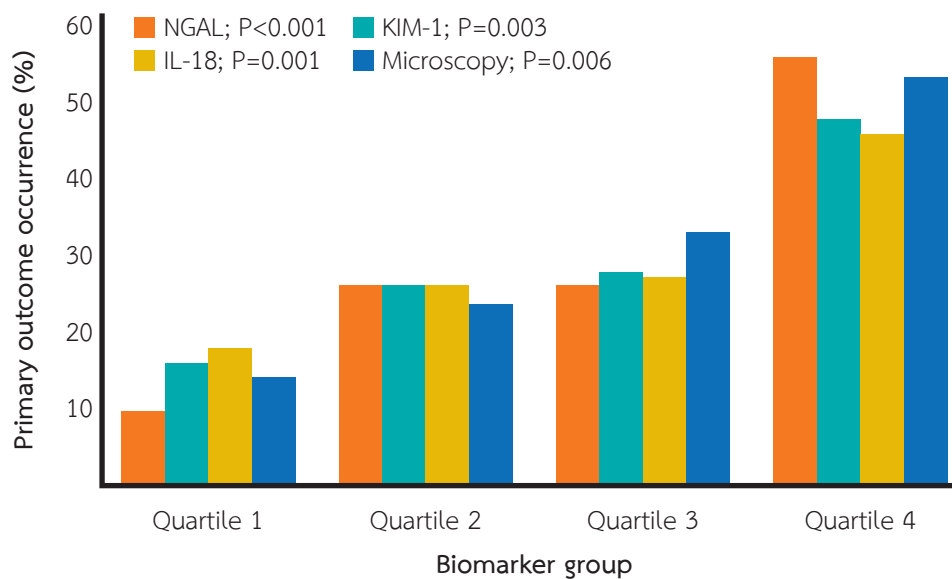
การศึกษาของระบบวิเคราะห์ภาพดิจิทัลของอนุภาคในปัสสาวะโดยใช้ iQ200 ในผู้ป่วย 25 รายที่มีภาวะไตวายเฉียบพลันจาก ATN พบว่าระบบ iQ200 สามารถตรวจจับ granular cast ได้ในร้อยละ 24 ของตัวอย่างเทียบกับร้อยละ 72 จากการตรวจเองด้วยกล้อง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ²⁴ อีกการศึกษาใช้ระบบ Cobas 6500 และ iQ200 เทียบกับการวิเคราะห์ปัสสาวะเองด้วยกล้องของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการพบว่า Cobas 6500 ตรวจพบเม็ดเลือดขาวด้วยค่าความไวร้อยละ 93 และความจำเพาะร้อยละ 87 และตรวจพบเม็ดเลือดแดงด้วยค่าความไวร้อยละ 82 และความจำเพาะร้อยละ 81 ในขณะที่ระบบ iQ200 ตรวจพบเม็ดเลือดขาวด้วยค่าความไวร้อยละ 92 และความจำเพาะร้อยละ 71 และตรวจพบเม็ดเลือดแดงด้วยค่าความไวร้อยละ 90 และความจำเพาะร้อยละ 63²⁵ นอกจากนี้การวิเคราะห์ปัสสาวะแบบอัตโนมัติโดยเฉพาะ flow cytometry ยังมีข้อจำกัดในด้านการตรวจวินิจฉัยแคสต์และคริสตัล โดยการศึกษาหนึ่งพบว่าระบบ Cobas 6500 มีค่าความไวในการตรวจ pathologic cast เพียงร้อยละ 39.2 และค่าความจำเพาะร้อยละ 98.1 ส่วน UX-2000 มีค่าความไวในการตรวจ pathologic cast เพียงร้อยละ 45.1 และค่าความจำเพาะร้อยละ 93.7²⁶ การศึกษาของระบบ automated flow cytometry โดยใช้ UF-1000i ในปัสสาวะ 214 ตัวอย่างพบว่าสามารถตรวจจับเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเซลล์เยื่อผิว ได้ดีเทียบเท่ากับการตรวจตะกอนปัสสาวะเองด้วยกล้อง แต่ตรวจแคสต์ได้ไม่ดีเท่าการตรวจเอง²⁷ อีกการศึกษาหนึ่งใช้ UF-5000 ตรวจปัสสาวะจำนวน 636 ตัวอย่างพบว่ามีความไวในการตรวจแคสต์และคริสตัลเพียงร้อยละ 31.03 และร้อยละ 62.75 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระบบ

digitized microscopy ชนิด UAS 800 ที่มีความไวในการตรวจแคสต์ และคริสตัลสูงถึงร้อยละ 63.79 และร้อยละ 80.36 ตามลำดับ²²

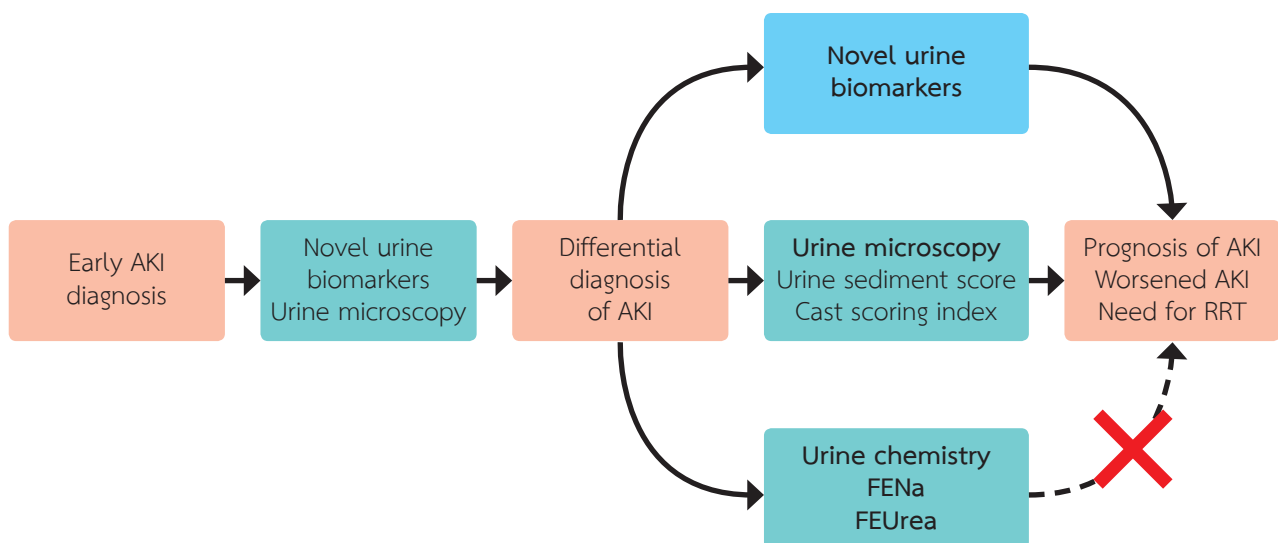
โดยสรุปการตรวจปัสสาวะอัตโนมัติยังคงมีข้อจำกัดในประสิทธิภาพและความแม่นยำ และการวิเคราะห์ปัสสาวะเองด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยผู้เชี่ยวชาญยังคงเป็น gold standard ที่มีบทบาทสำคัญในการตรวจวินิจฉัยโรคไตในปัจจุบัน

การตรวจตะกอนปัสสาวะเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดทางชีวภาพใหม่สำหรับภาวะไตวายเฉียบพลัน (Novel biomarkers of AKI)

ปัจจุบันมีตัวชี้วัดทางชีวภาพที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการวินิจฉัยและพยากรณ์ของภาวะไตวายเฉียบพลัน เช่น neutrophil gelatinase-associated lipocalin (NGAL), kidney injury molecule (KIM)-1, interleukin (IL)-18 ซึ่งตัวชี้วัดทางชีวภาพเหล่านี้บ่งบอกถึงการอักเสบบาดเจ็บของท่อหน่วยไต การศึกษาของ Hall และคณะ¹⁷ พบว่า urine NGAL, urine KIM-1, urine IL-18 และคะแนนจากการตรวจตะกอนปัสสาวะ สามารถช่วยปรับการทำนายความเสี่ยง (net reclassification index) ของ AKI ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า area under the receiver operating curve หรือ AUROC ของ urine NGAL 0.74, urine KIM-1 0.68, urine IL-18 0.68, urine microscopy 0.66 ในขณะที่ fractional excretion ของ sodium (FENa) และ FEUrea, มี AUROC เพียง 0.58 และ 0.6 ตามลำดับเท่านั้น ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการตรวจตะกอนปัสสาวะมีความแม่นยำในการพยากรณ์โรคใกล้เคียงกับตัวบ่งชี้ปัสสาวะแบบใหม่ (รูปที่ 5 และ 6) ในขณะที่ FENa หรือ FEUrea มีความสามารถที่ด้อยกว่าในการพยากรณ์ผลลัพธ์ AKI



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงตัวชี้วัดทางชีวภาพใหม่สำหรับภาวะไตวายเฉียบพลันแบบตาม quartile และ urine microscopy score (0, 1, 2, ≥ 3) ในการทำนายผลลัพธ์ภาวะไตวายเฉียบพลันที่แย่ลงและอัตราการเสียชีวิตในโรงพยาบาล (worsened AKI or in-hospital death)¹⁷



รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงแนวทางการใช้ตะกอนปัสสาวะในการดูแลผู้ป่วยภาวะไตวายเฉียบพลัน²⁸
AKI, acute kidney injury; RRT, renal replacement therapy

เซลล์วิทยาทางปัสสาวะ (urine cytology)

Urine cytology หรือ urine cytopathology คือ การศึกษา ลักษณะของเซลล์ที่พบในปัสสาวะโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเน้น การวิเคราะห์ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุทางเดินปัสสาวะ เช่น เซลล์มะเร็ง เซลล์ติดเชื้อ และเซลล์ที่มีลักษณะผิดปกติ เทคนิคนี้ ต่างจากการตรวจปัสสาวะทั่วไปตรงที่ต้องใช้การเตรียมตัวอย่าง แบบเฉพาะ เช่น การปั่น (cytocentrifugation) การตรึงเซลล์

ด้วยแอลกอฮอล์ และการย้อมสี Papanicolaou ก่อนนำมาตรวจ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยทั่วไปมักใช้ในการวินิจฉัยมะเร็งของ ทางเดินปัสสาวะ โดยเฉพาะ urothelial carcinoma ในผู้ป่วย ที่มีปัสสาวะเป็นเลือด ที่ไม่ได้มาจากโกลเมอรูลัส²⁹

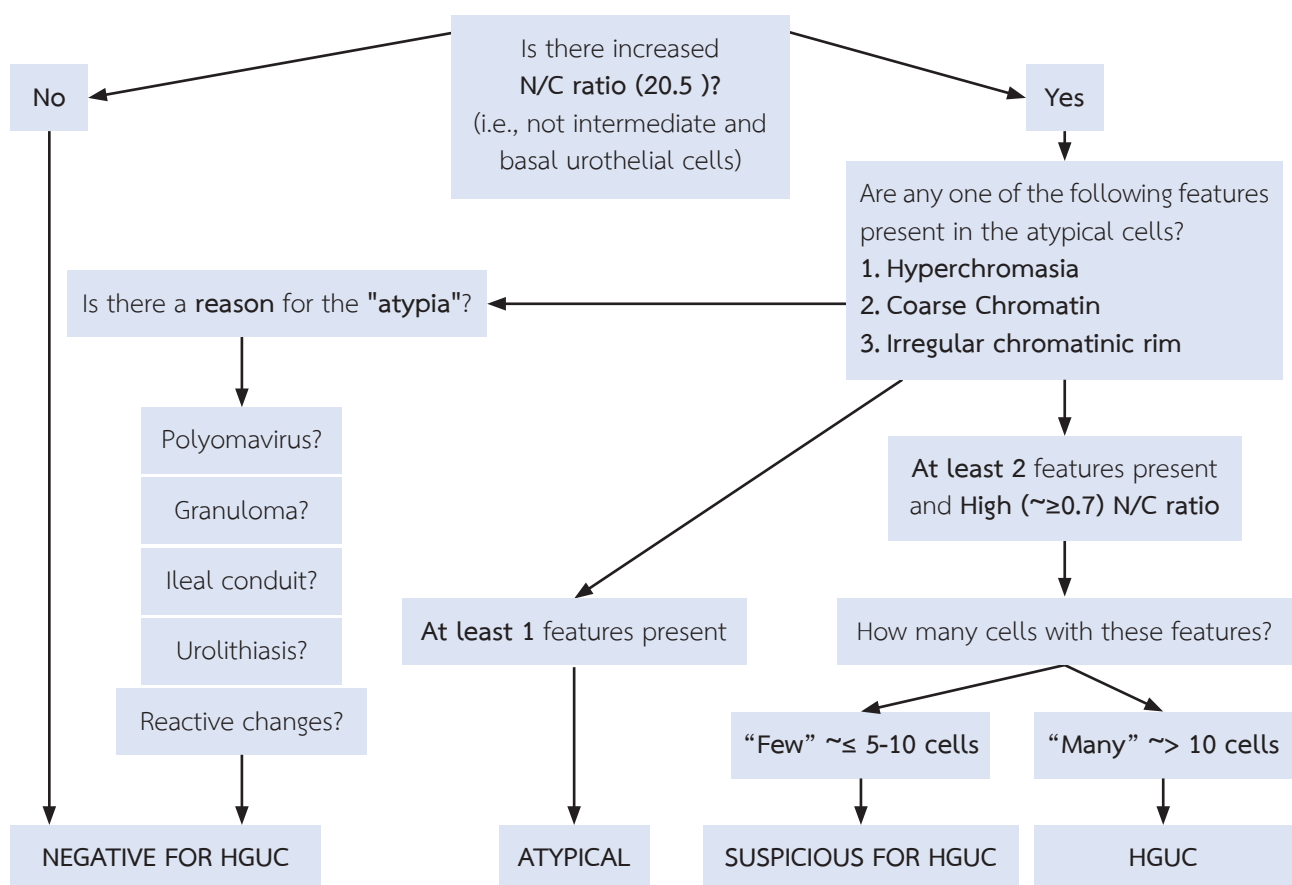
นอกจากการตรวจเซลล์มะเร็งแล้ว urine cytology ยังมี บทบาทสำคัญในการเฝ้าระวังการติดเชื้อ polyomavirus เช่น BK virus ในผู้ป่วยปลูกถ่ายไต โดยพบว่าเซลล์ที่ติดเชื้อ BK virus

จะมีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า “decoy cells” ซึ่งอาจมีรูปร่างคล้ายเซลล์มะเร็ง ทำให้ต้องอาศัยความชำนาญในการแปลผลการตรวจพบ decoy cells อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในลักษณะที่พบภายใน casts หรือมีจำนวนมาก มีค่า positive predictive value สูงถึงร้อยละ 75 ถึงมากกว่าร้อยละ 90% ในการทำนายภาวะ BK virus nephropathy³⁰ นอกจากนี้ ยังพบว่าการลดลงหรือหายไปของ decoy cells ในตัวอย่างปัสสาวะมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของผู้ป่วยที่ตรวจขึ้นเนื้อไตแล้วพบว่าการอักเสบลดลง ทำให้การตรวจลักษณะเซลล์ในปัสสาวะกลายเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังที่มีความรวดเร็ว ประหยัด และเหมาะสมในบริบทที่การตรวจหาเชื้อไวรัสด้วยเทคนิค PCR มีข้อจำกัด

เซลล์ผิดปกติเหล่านี้สามารถตรวจพบได้ทั้งในตัวอย่างปัสสาวะที่ผ่านการย้อมสีและไม่ย้อม โดยเฉพาะเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ phase contrast ซึ่งช่วยให้มองเห็นรายละเอียดของเซลล์ได้ชัดเจนแม้ไม่ได้ย้อมสี^{31,32} ทั้ง decoy cells และเซลล์มะเร็งสามารถระบุได้จากตะกอนปัสสาวะทั่วไป การพิจารณาความ

เป็นไปได้ของภาวะเนื้องอกปัสสาวะจึงควรเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะเช่นเดียวกับการมองหา RBC casts ในกรณี hematuria จาก glomerular disease อย่างไรก็ตาม แม้ urine cytopathology จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็ยังมีข้อจำกัด เช่น ความไวที่ต่ำต่อมะเร็งชนิด low-grade และการแปลผลต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ตรวจ จึงได้มีการก่อตั้งระบบการรายงานผลเซลล์วิทยาปัสสาวะในปีค.ศ. 2016 เรียกว่า The Paris System for Reporting Urinary Cytology (TPS)³³ และได้มีการปรับปรุงในปีค.ศ. 2022³⁴ โดยกำหนดเกณฑ์และแนวทางที่ชัดเจนในการจำแนกชนิดของเซลล์ผิดปกติ (รูปที่ 7) เพื่อลดความไม่สม่ำเสมอของรายงานผล, เพิ่มความแม่นยำในการตรวจหา urothelial carcinoma โดยเฉพาะชนิดที่มีความรุนแรงสูง (High-Grade Urothelial Carcinoma – HGUC) และช่วยให้การสื่อสารระหว่างนักพยาธิวิทยาและแพทย์ผู้ดูแลผู้ป่วยเป็นระบบมากขึ้น³⁵

The Paris System Approach to Diagnosis in Urinary Cytology



รูปที่ 7 แผนภาพกระบวนการรายงานผลเซลล์วิทยาปัสสาวะ ตาม The Paris System for Reporting Urinary Cytology (TPS)³⁶ HGUC, High-Grade Urothelial Carcinoma

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) ในการพัฒนาการตรวจตะกอนปัสสาวะ

การตรวจวิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะด้วยวิธีดั้งเดิม คือใช้การส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์นั้นอาจมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความคลาดเคลื่อนจากผู้ตรวจ ความล่า และการใช้เวลาในการแปลผล ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการวินิจฉัยได้ Machine learning และ artificial intelligence (AI) จึงเข้ามามีบทบาทในทางการแพทย์มากขึ้นในปัจจุบัน โดยอาศัยการสร้างฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างและมีคุณภาพสูง เพื่อพัฒนาโมเดลที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ วินิจฉัย และทำนายพยากรณ์โรคได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วขึ้น ในการวิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะ มีการประยุกต์นำ AI มาใช้ร่วมกับการตรวจทางกล้องจุลทรรศน์ โดยพัฒนาโมเดล deep learning ที่สามารถตรวจจำแนกชนิดของตะกอนปัสสาวะ เช่น เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว casts crystals และแบคทีเรียได้แม่นยำกว่าการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยมนุษย์ นอกจากนี้ AI ยังช่วยปรับปรุง การวิเคราะห์ flow cytometry ซึ่งสามารถตรวจจับอนุภาคในปัสสาวะได้อย่างรวดเร็ว ลดอัตราการให้ผลบวกสูงและผลลบสูงในการวินิจฉัยโรคจากผลตรวจทางปัสสาวะ^{37,38}

การใช้ AI ในการวิเคราะห์ตะกอนปัสสาวะอาศัยเทคโนโลยีการรู้จำภาพ (computer Vision) และโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (deep Learning) เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านภาพและตีความภาพจากกล้องจุลทรรศน์ได้ โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังนี้³⁹⁻⁴¹

การพัฒนาโมเดล machine learning (model development)

การเตรียมข้อมูล (data curation) เริ่มต้นด้วยการรวบรวมภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของตัวอย่างปัสสาวะ ผู้เชี่ยวชาญจะทำการ “ติดป้ายกำกับ” (annotation) หรือระบุชื่อประเภทของตะกอนในแต่ละภาพ ข้อมูลที่ติดป้ายแล้วจะกลายเป็น labeled data สำหรับการฝึกฝนโมเดล AI ในขั้นตอนถัดไป เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากเนื่องจากความแม่นยำและความสม่ำเสมอในการติดป้ายกำกับในขั้นตอนนี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของโมเดล

การพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm development) มีวิธีการคือข้อมูลที่ได้รับการติดป้ายจะถูกแบ่งเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดฝึก (training), ชุดตรวจสอบ (validation), และชุดทดสอบ (testing) Machine learning จะถูกฝึกให้รู้จักลักษณะของตะกอนแต่ละชนิดโดยอาศัยข้อมูลจากชุดฝึก มีการฝึกฝนและปรับแต่งโมเดล (model tuning) ซ้ำหลายรอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หลังจากโมเดลได้ผลลัพธ์ที่เสถียร จึงจะนำไปทดสอบด้วยชุดทดสอบอิสระ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในสภาพแวดล้อมจำลอง

การตรวจสอบความแม่นยำทางคลินิก (validation)

อัลกอริทึมที่ผ่านการพัฒนาแล้วจะถูกนำไปทดสอบใช้งานทาง

คลินิกจริง โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับผลการแปลผลจากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ เพื่อให้มั่นใจว่า AI algorithm ที่พัฒนาขึ้นจะมีความแม่นยำ ปลอดภัย และพร้อมสำหรับการใช้งานในบริบททางการแพทย์จริง

การนำไปใช้ (implementation)

การเก็บภาพและการเตรียมข้อมูล (preprocessing) โดยภาพตะกอนปัสสาวะจะถูกถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล จากนั้นจะมีการปรับภาพ เช่น การเพิ่มความคมชัด ลบสัญญาณรบกวน และแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง โดยใช้เทคนิค เช่น U-shaped Convolutional Network (U-Net) หรือ Mask Region-Based Convolutional Neural Network (Mask R-CNN) ช่วยให้สามารถดึงข้อมูลเชิงลึกและรายละเอียดของวัตถุได้พร้อมกัน เพื่อช่วยตัดสินใจที่ต้องการจากภาพ

การตรวจจับและแยกประเภทวัตถุ (object detection & classification) โดยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เช่น Convolutional Neural Networks (CNNs) จะเรียนรู้จากภาพที่มีการระบุชนิดของตะกอนแล้ว เช่น เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว casts crystals เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโมเดลที่สามารถตรวจจับวัตถุหลายชนิดในภาพเดียวได้แก่ You Only Look Once (YOLO) ใช้การวิเคราะห์ภาพเพียงครั้งเดียวเพื่อหาวัตถุทั้งหมดในภาพ เหมาะกับงานที่ต้องการการตรวจจับแบบ real-time เช่น ตรวจตะกอนปัสสาวะจากวิดีโอหรือภาพจำนวนมาก และ Faster Region-Based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN) เป็นการพัฒนาเพิ่มเติมจาก R-CNN และ Fast R-CNN โดยเพิ่ม Region Proposal Network (RPN) ที่ช่วยให้ตรวจจับและจำแนกวัตถุได้รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น

การรายงานผล (interpretation and report) โดยระบบ AI สามารถระบุชนิดและจำนวนของตะกอนในภาพ รวมถึงแจ้งเตือนเมื่อพบสิ่งผิดปกติที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมโดยแพทย์ และสามารถเชื่อมต่อกับ Hospital Information System (HIS) เพื่อการจัดเก็บและเรียกดูผลการตรวจได้อย่างเป็นระบบ

ประสิทธิภาพของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจตะกอนปัสสาวะ

Nagai และคณะ ได้ทดสอบการใช้ Convolutional Neural Network (CNN) สำหรับจำแนกภาพผลึกพบว่าโมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมี accuracy อยู่ที่ร้อยละ 91.8 และเมื่อเปรียบเทียบกับเคสจริงในเวชปฏิบัติ จะมีความถูกต้องในการวินิจฉัย urine crystal อยู่ที่ร้อยละ 88³⁹ นอกจากนี้ Erten และคณะ ได้ทำการศึกษาภาพตะกอนปัสสาวะ ได้แก่ cast, crystal, epithelial cells, epithelial nuclei, erythrocyte, leukocyte, และเส้นใยเซลล์ และพัฒนาโมเดลที่นอกจากจะความแม่นยำโดยรวม

สูงถึงร้อยละ 98.52 ในการจำแนกเซลล์และตะกอนในปัสสาวะแล้ว ยังใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ต่ำ และมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้จริงในระบบวิเคราะห์ภาพตะกอนปัสสาวะแบบอัตโนมัติในระบบคลินิก⁴²

ในการวิเคราะห์แถบตรวจปัสสาวะอัตโนมัติ มีการนำ AI มาใช้ร่วมกับ computer vision ที่สามารถอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของสีได้อย่างแม่นยำ สามารถจำแนกความแตกต่างของสีและปรับการอ่านให้เหมาะสมกับสภาพแสง เพื่อลดปัจจัยกวนได้ดี จึงลดข้อผิดพลาดจากการอ่านผลโดยมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีการใช้ AI ในการวิเคราะห์แถบตรวจปัสสาวะแบบบูรณาการ โดยตรวจสอบค่าต่างๆ เช่น กลูโคส คีโตน และอัลบูมิน ประกอบกัน⁴³ Jang และคณะ ได้พัฒนาโมเดล Extreme Gradient Boosting (XGBoost) เพื่อทำนายค่าประเมินอัตราการกรองของไต (estimated glomerular filtration rate; eGFR) จากผลแถบตรวจปัสสาวะร่วมกับข้อมูลอายุและเพศ ซึ่งช่วยลดความจำเป็นในการตรวจซีรัมครีเอตินิน โมเดลนี้ให้ค่าความแม่นยำสูง (AUC 0.91–0.94) แต่ยังมีข้อจำกัดในผู้ป่วยบางกลุ่ม เนื่องจากบางรายอาจมีภาวะไตเสื่อมโดยไม่มีโปรตีนรั่วในปัสสาวะ⁴⁴ และยังมีการพัฒนาแอปพลิเคชัน AI บน smart phone ช่วยให้สามารถตรวจปัสสาวะที่บ้านได้ เพิ่มโอกาสในการคัดกรองโรคไต⁴⁵

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่รองรับศักยภาพของการประยุกต์ใช้ AI และ machine learning ในการเพิ่มความแม่นยำของการตรวจปัสสาวะ ทำให้งานวิเคราะห์เป็นระบบอัตโนมัติ และให้ผลลัพธ์ที่ดีในห้องปฏิบัติการ แต่ในการนำมาใช้จริง ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความแปรปรวนของข้อมูลในโลกความเป็นจริง หากข้อมูลที่ฝึกโมเดล AI ขาดความหลากหลาย อาจก่อให้เกิดอคติในการวิเคราะห์ (bias) ซึ่งส่งผลต่อการดูแลรักษาผู้ป่วยแต่ละราย และอาจนำไปสู่การตัดสินใจทางคลินิกที่ผิดพลาดได้ และการขาดการทดสอบภายนอก (external validation) ทำให้โมเดลยังไม่แม่นยำเมื่อใช้ข้ามกลุ่มผู้ป่วย⁴⁶ นอกจากนี้ยังมีประเด็นด้านจริยธรรมและกฎหมายในการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อสร้างฐานข้อมูล หากไม่มีมาตรการปกป้องข้อมูลอย่างเหมาะสม อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวตนของผู้ป่วยโดยไม่ตั้งใจ หรือการใช้ข้อมูลในทางที่ไม่ได้รับอนุญาต และหากต้องการนำ AI ไปใช้จริงในคลินิก ควรเลือกอุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ AI ที่ได้รับการรับรองทางกฎหมาย (regulatory approval) จากหน่วยงานกำกับดูแลอีกด้วย งานวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโมเดล AI ให้แม่นยำยิ่งขึ้น โดยขยายฐานข้อมูลสำหรับ machine learning ให้มีขนาดใหญ่และหลากหลายมากขึ้น และมีการทดสอบภายนอก เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือ AI สำหรับการตรวจปัสสาวะสามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย (generalizability) และมีความน่าเชื่อถือ (reliability) ในอนาคต

สรุป

การตรวจตะกอนปัสสาวะยังมีความสำคัญและมีประโยชน์ในการวินิจฉัยและดูแลรักษาผู้ป่วยไตวายเฉียบพลัน ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันจะมีการตรวจแบบอัตโนมัติ หรือการตรวจตัวชี้วัดทางชีวภาพใหม่เพื่อช่วยประหยัดเวลาและลดปัญหา interobserver variability การตรวจตะกอนปัสสาวะโดยแพทย์ผู้ชำนาญก็ยังมีความดีในด้านราคาที่ถูกลงกว่า ใช้ทรัพยากรน้อยกว่า และความเข้าถึงได้ง่ายกว่ามากเมื่อเทียบกับการตรวจตัวชี้วัดทางชีวภาพแบบใหม่ แพทย์ทุกคนจึงควรให้ความสำคัญและฝึกฝนการตรวจตะกอนปัสสาวะร่วมกับการใช้ข้อมูลทางคลินิกในการดูแลคนไข้ไตวายเฉียบพลันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Singh HK, Bubendorf L, Mihatsch MJ, Drachenberg CB, Nickenleit V. Urine cytology findings of polyomavirus infections. *Adv Exp Med Biol* 2006;577:201–12. doi: 10.1007/0-387-32957-9_15.
2. Mohr NM, Harland KK, Crabb V, Mutnick R, Baumgartner D, Spinosi S, et al. Urinary Squamous Epithelial Cells Do Not Accurately Predict Urine Culture Contamination, but May Predict Urinalysis Performance in Predicting Bacteriuria. *Acad Emerg Med* 2016;23(3):323–30. doi: 10.1111/acem.12894.
3. Simhadri PK, Rout P, Leslie SW. Urinary Crystals Identification and Analysis. *StatPearls*. Treasure Island (FL) 2026.
4. Fogazzi GB, Ferrari B, Garigali G, Simonini P, Consonni D. Urinary sediment findings in acute interstitial nephritis. *Am J Kidney Dis* 2012;60(2):330–2. doi: 10.1053/j.ajkd.2012.05.002.
5. Muriithi AK, Nasr SH, Leung N. Utility of urine eosinophils in the diagnosis of acute interstitial nephritis. *Clin J Am Soc Nephrol* 2013;8(11):1857–62. doi: 10.2215/CJN.01330213.
6. Varghese V, Rivera MS, Alalwan AA, Alghamdi AM, Gonzalez ME, Velez JCQ. Diagnostic Utility of Serial Microscopic Examination of the Urinary Sediment in Acute Kidney Injury. *Kidney360* 2021;2(2):182–91. doi: 10.34067/KID.0004022020.
7. Javed S. Urate Nephropathy from Tumor Lysis Syndrome in an Undiagnosed Case of Prostate Cancer. *Curr Oncol* 2021;28(1):440–4. doi: 10.3390/curroncol28010046.
8. Omokawa A, Oguma M, Ueki S, Saga T, Hirokawa M. Urine Xanthine Crystals in Tumor Lysis Syndrome. *Urology* 2018;120:e9–e10. doi: 10.1016/j.urol.2018.07.009.

9. Lochy S, Jacobs R, Honore PM, De Waele E, Joannes-Boyau O, De Regt J, et al. Phosphate induced crystal acute kidney injury - an under-recognized cause of acute kidney injury potentially leading to chronic kidney disease: case report and review of the literature. *Int J Nephrol Renovasc Dis* 2013;6:61–4. doi: 10.2147/IJNRD.S41428.
10. Hanouneh M, Chen TK. Calcium Oxalate Crystals in Ethylene Glycol Toxicity. *N Engl J Med* 2017;377(15):1467. doi: 10.1056/NEJMicm1704369.
11. Sedlacek M, Suriawinata AA, Schoolwerth A, Remillard BD. Ciprofloxacin crystal nephropathy--a 'new' cause of acute renal failure. *Nephrol Dial Transplant* 2006;21(8):2339–40. doi: 10.1093/ndt/gfl160.
12. Perazella MA, Coca SG, Kanbay M, Brewster UC, Parikh CR. Diagnostic value of urine microscopy for differential diagnosis of acute kidney injury in hospitalized patients. *Clin J Am Soc Nephrol* 2008;3(6):1615–9. doi: 10.2215/CJN.02860608.
13. Perazella MA, Coca SG, Hall IE, Iyanam U, Korashy M, Parikh CR. Urine microscopy is associated with severity and worsening of acute kidney injury in hospitalized patients. *Clin J Am Soc Nephrol* 2010;5(3):402–8. doi: 10.2215/CJN.06960909.
14. Goldani JC, Poloni JA, Klaus F, Kist R, Pacheco LS, Keitel E. Urine microscopy as a biomarker of Acute Kidney Injury following cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *J Bras Nefrol* 2020;42(1):18–23. doi: 10.1590/2175-8239-JBN-2018-0133.
15. Chawla LS, Dommu A, Berger A, Shih S, Patel SS. Urinary sediment cast scoring index for acute kidney injury: a pilot study. *Nephron Clin Pract* 2008;110(3):c145–50. doi: 10.1159/000166605.
16. Bagshaw SM, Haase M, Haase-Fielitz A, Bennett M, Devarajan P, Bellomo R. A prospective evaluation of urine microscopy in septic and non-septic acute kidney injury. *Nephrol Dial Transplant* 2012;27(2):582–8. doi: 10.1093/ndt/gfr331.
17. Hall IE, Coca SG, Perazella MA, Eko UU, Luciano RL, Peter PR, et al. Risk of poor outcomes with novel and traditional biomarkers at clinical AKI diagnosis. *Clin J Am Soc Nephrol* 2011;6(12):2740–9. doi: 10.2215/CJN.04960511.
18. Schinstock CA, Semret MH, Wagner SJ, Borland TM, Bryant SC, Kashani KB, et al. Urinalysis is more specific and urinary neutrophil gelatinase-associated lipocalin is more sensitive for early detection of acute kidney injury. *Nephrol Dial Transplant* 2013;28(5):1175–85. doi: 10.1093/ndt/gfs127.
19. Altekin E, Kadicesme O, Akan P, Kume T, Vupa O, Ergor G, et al. New generation IQ-200 automated urine microscopy analyzer compared with KOVA cell chamber. *J Clin Lab Anal* 2010;24(2):67–71. doi: 10.1002/jcla.20319.
20. Akin OK, Serdar MA, Cizmeczi Z, Genc O, Aydin S. Comparison of LabUMat-with-UriSed and iQ200 fully automatic urine sediment analysers with manual urine analysis. *Biotechnol Appl Biochem* 2009;53(Pt 2):139–44. doi: 10.1042/BA20080188.
21. Mejuto P, Luengo M, Diaz-Gigante J. Automated Flow Cytometry: An Alternative to Urine Culture in a Routine Clinical Microbiology Laboratory? *Int J Microbiol* 2017; 2017:8532736. doi: 10.1155/2017/8532736.
22. Liu H, Li Q, Zhang Y, Huang D, Yu F. Consistency analysis of the Sysmex UF-5000 and Atellica UAS 800 urine sedimentation analyzers. *J Clin Lab Anal* 2022;36(9):e24659. doi: 10.1002/jcla.24659.
23. Cavanaugh C, Perazella MA. Urine Sediment Examination in the Diagnosis and Management of Kidney Disease: Core Curriculum 2019. *Am J Kidney Dis* 2019;73(2):258–72. doi: 10.1053/j.ajkd.2018.07.012.
24. Sharda N, Bakhtar O, Thajudeen B, Meister E, Szerlip H. Manual urine microscopy versus automated urine analyzer microscopy in patients with acute kidney injury. *Lab Med* 2014;45(4):e152–5. doi: 10.1309/LMVJK6W4KQL1ZHK5.
25. Bakan E, Ozturk N, Baygutalp NK, Polat E, Akpinar K, Dorman E, et al. Comparison of Cobas 6500 and Iris IQ200 fully-automated urine analyzers to manual urine microscopy. *Biochem Med (Zagreb)* 2016;26(3):365–75. doi: 10.11613/BM.2016.040.
26. Wesarackitti B, Khejonnit V, Pratumvinit B, Reesukumal K, Meepanya S, Pattanavin C, et al. Performance Evaluation and Comparison of the Fully Automated Urinalysis Analyzers UX-2000 and Cobas 6500. *Lab Med* 2016;47(2): 124–33. doi: 10.1093/labmed/lmw002.
27. Manoni F, Tinello A, Fornasiero L, Hoffer P, Temporin V, Valverde S, et al. Urine particle evaluation: a comparison

- between the UF-1000i and quantitative microscopy. *Clin Chem Lab Med* 2010;48(8):1107–11. doi: 10.1515/CCLM.2010.233.
28. Perazella MA, Coca SG. Traditional urinary biomarkers in the assessment of hospital-acquired AKI. *Clin J Am Soc Nephrol* 2012;7(1):167–74. doi: 10.2215/CJN.09490911.
 29. Sullivan PS, Chan JB, Levin MR, Rao J. Urine cytology and adjunct markers for detection and surveillance of bladder cancer. *Am J Transl Res* 2010;2(4):412–40.
 30. Xing J, Procop GW, Reynolds JP, Chiesa-Vottero A, Zhang Y. Diagnostic utility of urine cytology in early detection of polyomavirus in transplant patients. *J Am Soc Cytopathol* 2017;6(1):28–32. doi: 10.1016/j.jasc.2016.08.004.
 31. Pantanowitz L, Preffer F, Wilbur DC. Advanced imaging technology applications in cytology. *Diagn Cytopathol* 2019;47(1):5–14. doi: 10.1002/dc.23898.
 32. Pham HV, Pantanowitz L, Liu Y. Quantitative phase imaging to improve the diagnostic accuracy of urine cytology. *Cancer Cytopathol* 2016;124(9):641–50. doi: 10.1002/cncy.21734.
 33. Barkan GA, Wojcik EM, Nayar R, Savic-Prince S, Quek ML, Kurtycz DF, et al. The Paris System for Reporting Urinary Cytology: The Quest to Develop a Standardized Terminology. *Acta Cytol* 2016;60(3):185–97. doi: 10.1159/000446270.
 34. Wojcik EM, Kurtycz DF, Rosenthal DL. The Paris system for reporting urinary cytology. Cham: Springer; 2022 January 1.
 35. Miyai K, Nakayama M, Minabe S, Ogata S, Ito K, Matsukuma S. Implementation of The Paris System for Reporting Urine Cytology improves diagnostic accuracy of selective upper urinary tract cytology. *Cancer Cytopathol* 2024;132(4):242–9. doi: 10.1002/cncy.22792.
 36. Wojcik EM, Kurtycz DF, Rosenthal DL. We'll always have Paris The Paris System for Reporting Urinary Cytology 2022. *J Am Soc Cytopathol* 2022;11(2):62–6. doi: 10.1016/j.jasc.2021.12.003.
 37. De Bruyne S, Speeckaert MM, Van Biesen W, Delanghe JR. Recent evolutions of machine learning applications in clinical laboratory medicine. *Crit Rev Clin Lab Sci* 2021;58(2):131–52. doi: 10.1080/10408363.2020.1828811.
 38. De Bruyne S, De Kesel P, Oyaert M. Applications of Artificial Intelligence in Urinalysis: Is the Future Already Here? *Clin Chem* 2023;69(12):1348–60. doi: 10.1093/clinchem/hvad136.
 39. Nagai T, Onodera O, Okuda S. Deep learning classification of urinary sediment crystals with optimal parameter tuning. *Sci Rep* 2022;12(1):21178. doi: 10.1038/s41598-022-25385-x.
 40. Zhang X, Jiang L, Yang D, Yan J, Lu X. Urine Sediment Recognition Method Based on Multi-View Deep Residual Learning in Microscopic Image. *J Med Syst* 2019;43(11):325. doi: 10.1007/s10916-019-1457-4.
 41. Burns BL, Rhoads DD, Misra A. The Use of Machine Learning for Image Analysis Artificial Intelligence in Clinical Microbiology. *J Clin Microbiol* 2023;61(9):e0233621. doi: 10.1128/jcm.02336-21.
 42. Erten M, Tuncer I, Barua PD, Yildirim K, Dogan S, Tuncer T, et al. Automated Urine Cell Image Classification Model Using Chaotic Mixer Deep Feature Extraction. *J Digit Imaging* 2023;36(4):1675–86. doi: 10.1007/s10278-023-00827-8.
 43. Young PE, Diaz GJ, Kalariya RN, Mann PA, Benbrook MN, Avandsalehi KR, et al. Comparison of the time required for manual (visually read) and semi-automated POCT urinalysis and pregnancy testing with associated electronic medical record (EMR) transcription errors. *Clin Chim Acta* 2020;504:60–3. doi: 10.1016/j.cca.2020.01.021.
 44. Jang EC, Park YM, Han HW, Lee CS, Kang ES, Lee YH, et al. Machine-learning enhancement of urine dipstick tests for chronic kidney disease detection. *J Am Med Inform Assoc* 2023;30(6):1114–24. doi: 10.1093/jamia/ocad051.
 45. Flaucher M, Nissen M, Jaeger KM, Titzmann A, Pontones C, Huebner H, et al. Smartphone-Based Colorimetric Analysis of Urine Test Strips for At-Home Prenatal Care. *IEEE J Transl Eng Health Med* 2022;10:2800109. doi: 10.1109/JTEHM.2022.3179147.
 46. Ghassemi M, Oakden-Rayner L, Beam AL. The false hope of current approaches to explainable artificial intelligence in health care. *Lancet Digit Health* 2021;3(11):e745–e50. doi: 10.1016/S2589-7500(21)00208-9.