

ความแม่นยำในการจำแนกชนิดของนิ่วในไตโดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy

สวรินทร์ จันทร์ลี, วท.บ. รังสีเทคนิค*

Received: 30 ต.ค.68

Revised: 15 ธ.ค.68

Accepted: 12 ม.ค.69

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแม่นยำของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) ในการจำแนกชนิดของนิ่วในไตโดยเปรียบเทียบกับการวินิจฉัยของรังสีแพทย์ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง และเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความแม่นยำของการจำแนกชนิดนิ่ว เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวางย้อนหลัง เก็บรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจ CT KUB แบบไม่ฉีดสารทึบรังสี ด้วยโปรโตคอล Low-dose DECT Kidney Stones ณ โรงพยาบาลราชวิถี ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2564 ถึง 30 กันยายน 2567 จำนวน 75 ราย รวม 171 ก้อนนิ่ว วิเคราะห์ค่า Density (HU) Volume Diameter และค่า Dual Energy Index (DEI) ผลการจำแนกชนิดของนิ่วจาก DECT เปรียบเทียบกับการแปลผลของรังสีแพทย์ โดยใช้ Chi-square test และ Fisher's exact test เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ที่ใช้ผ่านการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐาน โดยตรวจสอบด้วย CT quality control phantom เพื่อยืนยันความถูกต้องของค่า CT number ความสม่ำเสมอของภาพ contrast resolution และความถูกต้องของ slice thickness ทั้งนี้ ใช้โปรโตคอลการถ่ายภาพ และการประมวลผลภาพมาตรฐานเดียวกันตลอดการศึกษาเพื่อลดความแปรปรวนของการวัด

ผลการศึกษา DECT แสดงความแม่นยำสูงในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต โดยเฉพาะการแยกนิ่วกรดยูริกออกจากนิ่วที่มีแคลเซียม เป็นองค์ประกอบหลัก มีค่า Accuracy 97.13%, Sensitivity 98.43%, Specificity 93.18%, PPV 97.66% และ NPV 95.35% ซึ่งสอดคล้องกับผลการวินิจฉัยของรังสีแพทย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

สรุป DECT เป็นเครื่องมือทางรังสีวินิจฉัย ที่มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูงในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต และสามารถสนับสนุนการวางแผนการรักษาในทางคลินิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: นิ่วในไต, เอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบดualเอเนอร์จี Dual Energy CT (DECT), องค์ประกอบของนิ่ว, ความแม่นยำในการวินิจฉัย, โรคนี้ในระบบทางเดินปัสสาวะ

* นักรังสีการแพทย์ชำนาญการพิเศษ, กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลราชวิถี กรุงเทพมหานคร Email: wirin3111@hotmail.com

Accuracy of Renal Stone Classification by Dual-Energy Computed Tomography

Sawarin Chanlee, B.Sc.*

Abstract

This study aimed to evaluate the diagnostic accuracy of dual-energy computed tomography (DECT) in classifying renal stone composition compared with radiologist interpretation as the reference standard, and to identify factors associated with diagnostic accuracy. Methods: This retrospective cross-sectional study included patients who underwent non-contrast CT of the kidneys, ureters, and bladder (CT KUB) using a low-dose DECT kidney stone protocol at Rajavithi Hospital between October 1, 2021, and September 30, 2024. A total of 75 patients with 171 renal stones were analyzed. Stone characteristics, including attenuation values (Hounsfield units), volume, maximum diameter, and dual-energy index (DEI), were measured. Stone classification obtained from DECT was compared with radiologist interpretation using the Chi-square test and Fisher's exact test. The CT system underwent routine quality control according to manufacturer and radiology standards, including assessment with a CT quality control phantom to verify CT number accuracy, image uniformity, contrast resolution, and slice thickness. Standardized acquisition and post-processing protocols were applied throughout the study to minimize measurement variability.

The results revealed that DECT demonstrated high diagnostic accuracy for renal stone classification, particularly in differentiating uric acid stones from calcium-containing stones. The diagnostic performance showed an accuracy of 97.13%, sensitivity of 98.43%, specificity of 93.18%, positive predictive value of 97.66%, and negative predictive value of 95.35%. DECT-based classification was in significant agreement with radiologist interpretation ($p < 0.001$).

DECT is a reliable and effective imaging modality for renal stone characterization and can support clinical decision-making and treatment planning in patients with nephrolithiasis.

Keywords: Kidney stone, Dual-energy computed tomography, Stone composition, Diagnostic accuracy, Urolithiasis

* Senior Professional Radiologic Technologist. Department of Radiology, Rajavithi Hospital, Bangkok. Email: wirin3111@hotmail.com

บทนำ

โรคนิ่วในไต (Kidney stone disease) เป็นปัญหาสาธารณสุขที่พบบ่อย โดยมีรายงานความชุกอยู่ในช่วงประมาณ 5–15% ของประชากร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดอาการปวดอย่างรุนแรง ลดคุณภาพชีวิต¹⁻⁴ และก่อให้เกิดภาระต่อระบบบริการสาธารณสุข เนื่องจากโรคนิ่วมีอัตราการกลับเป็นซ้ำค่อนข้างสูง การวินิจฉัย และการจำแนกชนิดของนิ่วอย่างถูกต้องจึงมีความสำคัญต่อการเลือกแนวทางการรักษาและการป้องกันการเกิดซ้ำที่เหมาะสม ในทางคลินิกการตรวจเอกซเรย์ธรรมดาแบบทางเดินปัสสาวะ (Plain X-ray KUB) ยังคงถูกใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินนิ่วในไต อย่างไรก็ตามเทคนิคดังกล่าวมีข้อจำกัดในการตรวจพบนิ่วที่ไม่ทึบรังสี และไม่สามารถประเมินองค์ประกอบของนิ่ว หรือพยาธิสภาพร่วมได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้การวางแผนการรักษา อาจไม่เหมาะสมในผู้ป่วยบางราย⁵⁻⁹ ปัจจุบันเทคโนโลยีเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) ได้รับการพัฒนาและนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของนิ่วในไตตั้งแต่ก่อนการรักษา โดยอาศัยความแตกต่างของการดูดกลืนพลังงานรังสีเอกซ์ ของวัสดุในระดับพลังงานที่ต่างกัน ทำให้สามารถแยกนิ่วที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมออกจากนิ่ว ที่ไม่ใช่แคลเซียม เช่น นิ่วกรดยูริก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการเลือกแนวทางการรักษาที่เหมาะสมในทางคลินิก แม้ว่า DECT จะได้รับการยอมรับในระดับสากลว่ามีศักยภาพในการจำแนกชนิดของนิ่วในไตได้อย่างแม่นยำ แต่หลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับความแม่นยำ และความสอดคล้องของการใช้ DECT ในบริบทของประเทศไทยยังมีจำกัด โดยเฉพาะการศึกษา ที่เปรียบเทียบผลการจำแนกชนิดนิ่วจาก DECT กับผลการวินิจฉัยของรังสีแพทย์ ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในเวชปฏิบัติจริง ทำให้ยังคงมีช่องว่างขององค์ความรู้ในการยืนยันความน่าเชื่อถือ และความเหมาะสม

ของการนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้ในระบบบริการสุขภาพของประเทศ¹⁰⁻¹²

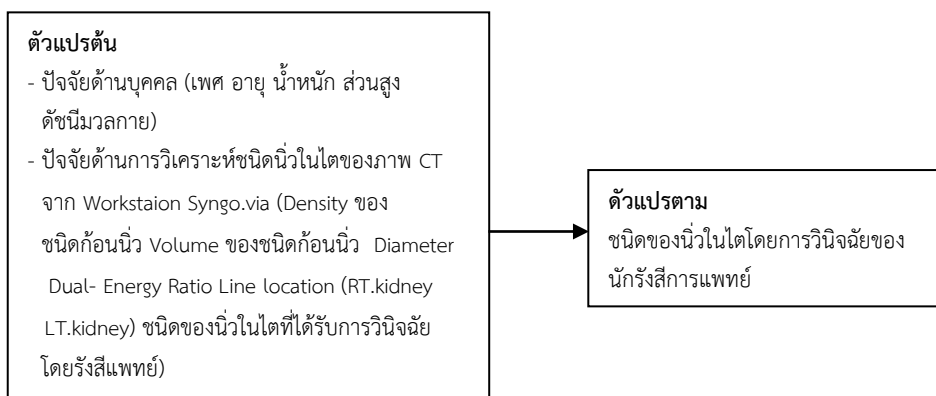
ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความแม่นยำของการจำแนกชนิดของนิ่วในไตด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy ในผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระบบทางเดินปัสสาวะ (CT KUB) โดยเปรียบเทียบกับผลการแปลผลของรังสีแพทย์ ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการประยุกต์ใช้ DECT ในการวินิจฉัย และการวางแผนการรักษาผู้ป่วยโรคนิ่วในไตในทางคลินิกอย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความแม่นยำในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต โดยใช้เครื่อง DECT เปรียบเทียบกับการวินิจฉัยของรังสีแพทย์ ในโรงพยาบาลราชวิถี และศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความแม่นยำในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับนำ DECT มาประยุกต์ใช้ในการวินิจฉัย และวางแผนการรักษาในทางเวชปฏิบัติได้อย่างเหมาะสมต่อไป

กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความแม่นยำของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) ในการจำแนกชนิดของนิ่วในไตในผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจ CT KUB โดยเปรียบเทียบกับผลการแปลผลของรังสีแพทย์ ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความแม่นยำดังกล่าว ตัวแปรต้น ประกอบด้วยลักษณะประชากรของผู้ป่วยบุคคล (เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย) และคุณลักษณะของนิ่วจากการวิเคราะห์ภาพด้วย DECT ด้วยซอฟต์แวร์ Syngo.via ได้แก่ ค่า Density Volume Diameter ค่า Dual- Energy Index (DEI) และตำแหน่งของนิ่ว ตัวแปรตามคือชนิดของนิ่วในไต โดยการวินิจฉัยของรังสีการแพทย์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้มีรูปแบบการวิจัยเป็นการศึกษาเชิงพรรณนาภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลัง (Retrospective) ผู้ป่วยที่มารับบริการตรวจ CT KUB ไม่ฉีดสารทึบรังสี โดยใช้ Protocol Low Dose Dual Energy Kidney Stones ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy ยี่ห้อ Siemens รุ่น SOMATOM Definition AS ที่งานรังสีวินิจฉัย โรงพยาบาลราชวิถี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2564 - 30 กันยายน 2567 จำนวน 75 ราย (ผู้ชาย 39 ราย และผู้หญิง 36 ราย)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่มารับบริการตรวจระบบทางเดินปัสสาวะ (Urinary System: KUB) ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Siemens รุ่น SOMATOM Definition AS ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2564 - 30 กันยายน พ.ศ. 2567 โดยเก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลัง (Retrospective) ทุกรายที่เข้าเกณฑ์ตามเกณฑ์คัดเข้า จากเวชระเบียน และระบบสารสนเทศทางรังสีวิทยา หรือระบบ PACS (Picture Archiving and Communication System) ที่งานรังสีวินิจฉัย โรงพยาบาลราชวิถี กลุ่มตัวอย่างคำนวณจากสูตร Wayne WD, 1995.¹⁵ จึงแทนค่า n = จำนวนขนาดตัวอย่าง, $Z_{\alpha/2}$ = ค่าสถิติภายใต้โค้งมาตรฐาน เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ คือ 1.96, p = ความแม่นยำของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy ในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต เป็นร้อยละ 94 อ้างอิงจากการศึกษาของ Rojanavijitkul P และคณะ¹⁶ เมื่อปี 2022, $p = 0.94$, d = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ผู้วิจัยกำหนดค่า $d = 0.06$ ดังนั้น ในการศึกษานี้ผู้วิจัยจะเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างผู้ป่วยทั้งสิ้นจำนวน 75 ราย

เกณฑ์คัดเข้า

- ผู้ป่วยเพศชาย และเพศหญิงที่มีอายุ 18 ขึ้นไป
- เข้ารับการตรวจระบบทางเดินปัสสาวะ (Urinary System: KUB) ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Siemens รุ่น SOMATOM Definition AS โดยใช้ protocol Low Dose Dual Energy Kidney Stone
- ขนาดของนิ่วมีขนาด ≥ 3 มิลลิเมตร
- ไม่ฉีดสารทึบรังสี
- ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ

เกณฑ์คัดออก

- ข้อมูลจากกลุ่มงานรังสีวิทยา และจากระบบ PACS ไม่ครบถ้วน
- ผู้ป่วยที่มีประวัติการผ่าตัดหรือใส่วัสดุโลหะในระบบทางเดินปัสสาวะ เช่น การใส่ ureteral Stentnephrostomy tube metallic clip หรืออุปกรณ์ใด ๆ ที่ส่งผลให้เกิด artifact รุนแรงในภาพ CT จนไม่สามารถประเมินลักษณะของนิ่วได้อย่างชัดเจน
- ภาพ CT ที่ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้ หรือผู้ป่วยที่มีโรคอื่นที่รบกวนภาพวินิจฉัยผู้ที่มีโรค หรือภาวะทางกายภาพ

ที่รบกวนคุณภาพของภาพ เช่น โรคกระดูกพรุนขั้นรุนแรง (severe osteoporosis) ที่อาจทำให้ โครงสร้างภาพทางกายวิภาคเบลอหรือผิดรูป หรือภาวะนิ่วแคลเซียมที่มีการหุ้มด้วยแร่ธาตุอื่น (encrusted stones) ที่ทำให้การวิเคราะห์ Dual- Energy จำแนกไม่ได้แน่ชัด

- ภาพ CT มี artifact รุนแรง (Severe artifact) ที่รบกวนการประเมินนิ่ว เช่น motion Artifact beam hardening หรือ metal streak artifact ที่บดบังหรือรบกวนภาพของนิ่วในไต

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

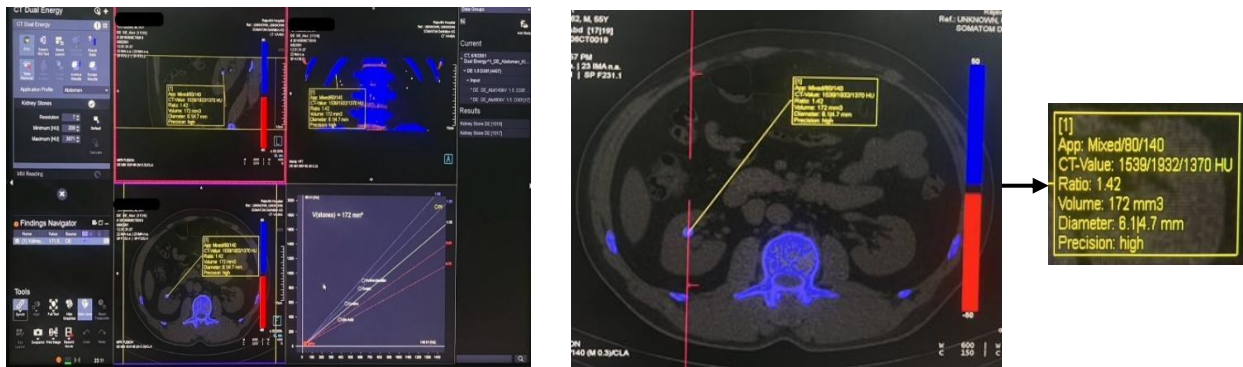
ในการเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบบันทึกผลการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) ยี่ห้อ Siemens รุ่น SOMATOM Definition AS ซึ่งใช้เทคนิค Sequential Dual-Energy Scan โดยทำการสแกนสองรอบที่พลังงานแตกต่างกันคือ 80 และ 140 kVp ภายใต้การควบคุมของรังสีแพทย์ และนักรังสีการแพทย์ เทคนิคนี้มีจุดเด่นคือสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของนิ่วได้อย่างละเอียดและแม่นยำ โดยไม่ต้องใช้การสลับพลังงานในรอบเดียวแบบ Fast kV Switching ซึ่งผู้ป่วยได้รับการตรวจ CT KUB (Kidney-Ureter-Bladder) แบบ Low Dose Dual Energy Kidney Stones ด้วยเทคนิค Non-contrast scan โดยมีขั้นตอน ประกอบด้วย Topogram, Non-contrast KUB และ Non-contrast Dual Energy (80/140 kVp) ครอบคลุมบริเวณทั้งสองไต ผู้ป่วยอยู่ในท่านอนหงาย แขนยกเหนือศีรษะ กลั้นหายใจระหว่างการสแกน เริ่มสแกนตั้งแต่ระดับกระดูกทรวงอกที่ 11 (T11) ถึงกระดูกเชิงกราน โดยใช้ Rotation time 0.5 วินาที, Slice thickness 3 มม. สำหรับภาพ KUB และ 1.5 มม. สำหรับภาพ DECT พร้อมเปิดใช้ระบบ Care Dose 4D (Automatic Tube Current Modulation) เพื่อลดปริมาณรังสี

การศึกษานี้ใช้เอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy ซึ่งผ่านการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานของผู้ผลิต และแนวทางการควบคุมคุณภาพทางรังสีวินิจฉัยอย่างสม่ำเสมอ เพื่อยืนยันความเหมาะสมของเครื่องมือ สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณก่อนการเก็บข้อมูล ได้มีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องด้วย CT quality control phantom ครอบคลุม การประเมินความถูกต้องของค่า CT number ความสม่ำเสมอของภาพ contrast resolution และ slice thickness การตรวจแบบ Dual Energy ใช้โปรโตคอลการถ่ายภาพ และขั้นตอนการประมวลผลภาพ ด้วยซอฟต์แวร์ Syngo.via Workstation ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดการศึกษา เพื่อลดความแปรปรวนจากปัจจัยทางเทคนิค การวัดค่า Density Volume Diameter และค่า Dual- Energy Index (DEI) ของชนิดนิ่ว ดำเนินการด้วยซอฟต์แวร์ที่ได้รับการรับรองจากผู้ผลิต แม้ว่า จะไม่ได้มีการประเมินความสอดคล้องระหว่างผู้สังเกตหลายรายอย่างเป็นทางการ เนื่องจากลักษณะการศึกษาเชิงย้อนหลัง แต่การใช้โปรโตคอลมาตรฐาน ร่วมกับการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือ

อย่างสม่ำเสมอ ช่วยสนับสนุนความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องของผลการวัดจาก DECT ในบริบทของการใช้งานจริงทางคลินิก

สำหรับการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพ ภาพที่ได้จากการตรวจ DECT ถูกนำไปประมวลผลจากเครื่อง Workstation ด้วยซอฟต์แวร์ Syngo.via (Siemens Healthineers) โดยใช้แอปพลิเคชัน Kidney Stones ซึ่งออกแบบเฉพาะ เพื่อวิเคราะห์นิ่วในไต ขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วย (1) การเลือกโหมด CT Dual Energy ดังภาพที่ 2-A (2) การระบุตำแหน่งนิ่วด้วยเครื่องมือ Kidney Stone Marker บนภาพในระนาบ Axial Sagittal และ 3D Reconstruction ดังภาพที่ 2-B (3) การคำนวณค่าพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของนิ่ว (Density) แสดงเป็นหน่วย Hounsfield Unit (HU) ปริมาตรของนิ่ว (Volume) ในหน่วย ลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm³)

เส้นผ่านศูนย์กลางของนิ่ว (Diameter) ในหน่วย มิลลิเมตร (mm) ตำแหน่งของนิ่ว (Location) ได้แก่ ไตซ้าย (LT. Kidney) หรือไตขวา (RT. Kidney) ค่า Dual-Energy Ratio (DER หรือ DEI) คำนวณจากอัตราส่วนค่า HU ที่พลังงาน 80 kVp ต่อ 140 kVp ระบบจะแสดงผลการวิเคราะห์ทั้งเชิงตัวเลข และกราฟ โดยกราฟ Dual-Energy Ratio Line ใช้จำแนกชนิดของนิ่วตามค่าการดูดกลืนรังสี เช่น ค่า DER ≤ 1.1 คือ นิ่วกรดยูริก (Uric Acid Stone) ค่า DER 1.1–1.24 คือ นิ่ว Cystine ค่า DER 1.25–1.6 คือ นิ่ว Calcium Oxalate หรือ Hydroxylapatite นอกจากนี้ ยังมีการใช้ระบบ Color Coding เพื่อช่วยระบุชนิดนิ่วในภาพ เช่น สีแดงแทน Uric Acid และสีน้ำเงินแทน Calcium-based stones



A

B

ภาพที่ 2 แสดงภาพผลการวิเคราะห์ก้อนนิ่วในไตจาก Workstation Syngo.via ของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (A)

แสดงภาพผลที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกชนิดของนิ่วในไตใช้โปรแกรม Kidney Stone Marker แสดงภาพในแนวตัดขวาง (Axial View) (B)

แหล่งที่มา: ภาพจาก Workstation Syngo.via โรงพยาบาลราชวิถี ปี2567

การพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการพิจารณา และอนุมัติจาก คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาลราชวิถี (Rajavithi Hospital Research Ethics Committee) รหัสโครงการ การวิจัยที่ 149/2568 การวิจัยดำเนินการโดยใช้ข้อมูลย้อนหลังจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทางระบบทางเดินปัสสาวะ โดยไม่เปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ป่วย และปฏิบัติตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ตามที่คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์แห่งชาติ (National Research Ethics Committee: NREC) กำหนดอย่างเคร่งครัด

การวิเคราะห์ข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2016 รายงานสถิติเชิงพรรณนาในรูปของจำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด พิสัยระหว่างควอไทล์ (IQR) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ตามลักษณะของข้อมูลประสิทธิภาพของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT)

ในการจำแนกชนิดของนิ่วในไตประเมินโดยรายงานค่า accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV) และ negative predictive value (NPV) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการแปลผลของรังสีแพทย์ ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง สมมุติฐานเชิงสถิติของการศึกษากำหนดให้ DECT มีความแม่นยำในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต $\geq 90\%$ เมื่อเทียบกับการแปลผลของรังสีแพทย์ การเปรียบเทียบข้อมูลเชิงกลุ่มใช้ Chi-square test, Fisher's exact test หรือ McNemar test และข้อมูลแบบจับคู่ใช้ Paired t-test หรือ Wilcoxon signed-rank test ตามการแจกแจงของข้อมูล การเปรียบเทียบข้อมูลเชิงปริมาณ ระหว่างสองกลุ่มที่ไม่สัมพันธ์กันใช้ Student's t-test หรือ Mann-Whitney U-test การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ใช้ Pearson correlation, linear regression หรือ binary logistic regression และรายงานค่า odds ratio (OR) พร้อมช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% CI) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

1. กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย 39 ราย (52%) และเพศหญิง 36 ราย (48%) มีอายุเฉลี่ย 56.3 ± 14.4 ปี (ช่วงอายุ 30–88 ปี) น้ำหนักเฉลี่ย 65.0 ± 13.4 กิโลกรัม (ช่วง 40.0–96.6 กิโลกรัม) ส่วนสูงเฉลี่ย 161.3 ± 8.9 เซนติเมตร (ช่วง 143.0–180.0 เซนติเมตร) และค่าดัชนีมวลกาย (BMI) เฉลี่ย 24.8 ± 4.3 กิโลกรัม/เมตร² (ช่วง 16.9–37.0 กิโลกรัม/เมตร²) ดังตารางที่ 1

2. กลุ่มผู้ป่วยเพศชายมีจำนวนก้อนนิ่วมากกว่าเพศหญิงเล็กน้อย (ชาย 91 ก้อน หญิง 80 ก้อน) โดยทั้งสองเพศมีแนวโน้มพบก้อนนิ่วในไตขวามากกว่าไตซ้าย (ชาย: RT = 55 ก้อน, LT = 36 ก้อน; หญิง: RT = 49 ก้อน, LT = 31 ก้อน) ดังตารางที่ 2

3. จากการวิเคราะห์นิ่วในไตจำนวน 171 ก้อน นิ่ว Uric acid stone (n = 42) พบค่า Density ต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 377.5 ± 164.9 HU และค่ามัธยฐาน 330.0 HU (ช่วง 236.0–924.0, P25–P75 = 277.2–379.0) รวมกับค่า Dual Energy Index (DEI) ต่ำ (ค่าเฉลี่ย 1.04 ± 0.25 ค่ามัธยฐาน 1.04 (ช่วง 0.19–1.56, P25–P75 = 0.87–1.19) นอกจากนี้ในกลุ่มนี้ ยังมี Volume และ Diameter ขนาดเล็ก โดยมีค่ามัธยฐานของ Volume 25.1 mm³ (4.3–1530.0, P25–P75 = 13.2–58.7) และ Diameter 3.72 mm (3.00–14.26, P25–P75 = 3.00–5.46) สะท้อนลักษณะของนิ่วไม่ที่บ่งชี้ได้อย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้าม นิ่ว Calcium oxalate (n = 69) แสดงค่า Density สูงขึ้นอย่างเด่นชัด โดยมีค่าเฉลี่ย 830.3 ± 407.2 HU และค่ามัธยฐาน 806.0 HU (284.0–1689.0; P25–P75 = 408.0–1201.0) รวมกับค่า DEI สูง (ค่าเฉลี่ย 1.32 ± 0.12 , ค่ามัธยฐาน 1.35, 0.92–1.49, P25–P75 = 1.22–1.41) และมีขนาดใหญ่กว่า โดยมีค่ามัธยฐานของ Volume 160.0 mm³ (8.7–6710.0) และ Diameter 6.80 mm (3.00–23.60, P25–P75 = 3.74–11.08) นิ่ว Cystine (n = 17) มีค่า Density และค่า DEI อยู่ในช่วงกึ่งกลางระหว่างนิ่วกรดยูริก และนิ่วแคลเซียม โดยมีค่าเฉลี่ย 659.2 ± 306.3 HU และค่ามัธยฐาน 498.0 HU (312.0–1309.0, P25–P75 = 436.0–869.0) ค่า DEI เฉลี่ย 1.26 ± 0.18 และค่ามัธยฐาน

1.30 (0.80–1.49, P25–P75 = 1.23–1.39) พร้อมทั้งมีการกระจายของ Volume และ Diameter ค่อนข้างกว้าง (ค่ามัธยฐาน Volume 55.1 mm³, Diameter 4.76 mm) สำหรับนิ่ว Hydroxyapatite (n = 43) พบค่า Density และค่า DEI สูงที่สุดในบรรดานิ่วทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ย 931.8 ± 388.2 HU และค่ามัธยฐาน 901.0 HU (297.0–1710.0, P25–P75 = 698.5–1174.0) ค่า DEI เฉลี่ย 1.33 ± 0.22 และค่ามัธยฐาน 1.37 (0.08–1.49, P25–P75 = 1.28–1.46) รวมกับ Volume และ Diameter ขนาดใหญ่ที่สุด (ค่ามัธยฐาน Volume 210.0 mm³, Diameter 7.56 mm) สะท้อนถึงความที่บ่งชี้และความแข็งของนิ่วชนิดนี้ ดังตารางที่ 3

4. ผลการจำแนกชนิดของนิ่วในไต ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy CT) จำแนกตามเพศพบว่าสามารถระบุชนิดของนิ่วได้ 4 ชนิด ได้แก่ Uric Acid Calcium Oxalate Cystine และ Hydroxylapatite โดยมีผู้ป่วยรวม 75 ราย (เพศชาย 39 ราย เพศหญิง 36 ราย ก้อนนิ่วจำนวน 171 ก้อน) พบว่า Calcium oxalate เป็นนิ่วที่พบมากที่สุดในทั้งสองเพศ (เพศชาย 40 ก้อน เพศหญิง 29 ก้อน รวม 69 ก้อน) รองลงมาคือ Hydroxylapatite (43 ก้อน) และ Uric Acid (42 ก้อน) ส่วน Cystine พบในสัดส่วนน้อยที่สุด (17 ก้อน) ทั้งนี้ นิ่วชนิด Hydroxylapatite พบในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย ซึ่งอาจสะท้อนถึงความแตกต่างทางชีววิทยาหรือสรีรวิทยาที่มีผลต่อการเกิดนิ่วในไต ดังตารางที่ 4

5. ผลการจำแนกนิ่วในไตจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy CT) พบว่า นิ่วกลุ่ม Opaque stone ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียม เช่น Calcium oxalate (69 ก้อน) และ Hydroxylapatite (43 ก้อน) มีจำนวนรวมมากที่สุด (112 ก้อน) เมื่อเทียบกับกลุ่ม Non-opaque stone ได้แก่ Uric Acid (42 ก้อน) และ Cystine (17 ก้อน) รวม 59 ก้อน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (N = 75)

คุณลักษณะ	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
- ชาย	39	52%
- หญิง	36	48%
อายุ (ปี)		
- ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	56.3 ± 14.4 (30.0-88.0)	
น้ำหนัก (กิโลกรัม)		
- ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	65.0 ± 13.4 (40.0-96.6)	
ส่วนสูง (เซนติเมตร)		
- ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	161.3 ± 8.9 (143.0-180.0)	
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร ²)		
- ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	24.8 ± 4.3 (16.9-37.0)	

ตารางที่ 2 ตารางค่าสถิติเชิงพรรณนาแสดงจำนวนก้อนนิ่วในไต (N=75 ราย ก้อนนิ่ว=171 ก้อน) แยกตามเพศ และข้างของไตที่มีนิ่ว

เพศ	นิ่วในไตข้างขวา (RT. Kidney)	นิ่วในไตข้างซ้าย (LT. Kidney)	จำนวนก้อนนิ่วทั้งหมด (N)
หญิง (F)	49	31	80
ชาย (M)	55	36	91

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของตัวแปร Density (HU) Dual -Energy Index (Line Red Ratio) Volume (ลูกบาศก์มิลลิเมตร) และ Diameter (มิลลิเมตร) แยกตามชนิดของนิ่วในไต N = 75 ราย จำนวนก้อนนิ่ว = 171 ก้อน

ตัวแปร	Mean $\pm$ SD	Median (Min–Max)	P25	P75
Uric acid stone (n = 42)				
- Density (HU)	377.5 $\pm$ 164.9	330.0 (236.0–924.0)	277.2	379.0
- Dual- Energy Index (DEI)	1.04 $\pm$ 0.25	1.04 (0.19–1.56)	0.87	1.19
- Volume (mm ³)	112.6 $\pm$ 295.8	25.1 (4.3–1530.0)	13.2	58.7
- Diameter (mm)	4.69 $\pm$ 2.61	3.72 (3.00–14.26)	3.00	5.46
Calcium oxalate stone (n = 69)				
- Density (HU)	830.3 $\pm$ 407.2	806.0 (284.0–1689.0)	408.0	1201.0
- Dual- Energy Index (DEI)	1.32 $\pm$ 0.12	1.35 (0.92–1.49)	1.22	1.41
- Volume (mm ³)	731.3 $\pm$ 1338.7	160.0 (8.7–6710.0)	27.4	667.0
- Diameter (mm)	8.37 $\pm$ 5.42	6.80 (3.00–23.60)	3.74	11.08
Cystine stone (n = 17)				
- Density (HU)	659.2 $\pm$ 306.3	498.0 (312.0–1309.0)	436.0	869.0
- Dual- Energy Index (DEI)	1.26 $\pm$ 0.18	1.30 (0.80–1.49)	1.23	1.39
- Volume (mm ³)	112.3 $\pm$ 143.7	55.1 (7.5–539.0)	34.1	111.0
- Diameter (mm)	5.29 $\pm$ 1.98	4.76 (3.00–10.14)	3.74	5.96
Hydroxyapatite stone (n = 43)				
- Density (HU)	931.8 $\pm$ 388.2	901.0 (297.0–1710.0)	698.5	1174.0
- Dual- Energy Index (DEI)	1.33 $\pm$ 0.22	1.37 (0.08–1.49)	1.28	1.46
- Volume (mm ³)	1025.2 $\pm$ 2069.5	210.0 (9.6–9760.0)	77.0	686.5
- Diameter (mm)	9.81 $\pm$ 6.33	7.56 (3.00–26.94)	5.82	10.96

ตารางที่ 4 ตารางแสดงการจำแนกชนิดของนิ่วในไตจำแนกตามเพศ N=75 ราย จำนวนก้อนนิ่ว=171 ก้อน

เพศ	Uric Acid	Calcium oxalate	Cystine stone	Hydroxylapatite	จำนวนก้อนนิ่ว (N)
หญิง (F)	21	29	5	24	79
ชาย (M)	21	40	12	19	92

ตารางที่ 5 ตารางแสดงการจำแนกชนิดของนิ่วในไตออกเป็น Non-opaque stone และ Opaque stone จากการตรวจด้วย Dual-Energy CT N=75 ราย จำนวนก้อนนิ่ว=171 ก้อน

ชนิดของนิ่ว	Non-opaque stone	Opaque stone	จำนวนก้อนนิ่ว (N)
Uric Acid stone	42	0	42
Calcium oxalate	0	69	69
Cystine stone	17	0	17
Hydroxylapatite	0	43	43

6. การแปลผลภาพจากรังสีแพทย์ในระบบ PACS พบว่า การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy CT) สามารถจำแนกนิ่วในไตออกเป็นกลุ่ม Opaque stone และ Non-opaque stone ได้อย่างชัดเจน เมื่อจำแนกตามเพศ พบว่าในเพศหญิง (N = 79) มีนิ่วชนิด Opaque stone จำนวน 59 ก้อน และ Non-opaque stone 20 ก้อน ส่วนเพศชาย (N = 92) พบ Opaque stone 68 ก้อน และ Non-opaque stone 24 ก้อน โดยรวมทั้งสองเพศ Opaque stone มีจำนวนรวม 127 ก้อน (ร้อยละ 74.3) ขณะที่ Non-opaque stone มี 44 ก้อน (ร้อยละ 25.7) ดังตารางที่ 6

7. ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกชนิดของนิ่วจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy CT: DECT) กับการแปลผลภาพของรังสีแพทย์ (Diagnostic Radiologist: DR) พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลการจำแนกที่สอดคล้องกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Chi-square test: $p < 0.001$, Fisher's exact test: $p < 0.001$) โดยผู้ป่วยส่วนใหญ่ในกลุ่มนิ่วชนิดที่บรัสสี (Opaque stone) และชนิดไม่ที่บรัสสี (Non-opaque stone) มีผลการจำแนกจาก DECT สอดคล้องกับผลจากรังสีแพทย์

(125 และ 41 ก้อนตามลำดับ) ขณะที่พบความไม่สอดคล้องเพียง 5 ก้อนจากทั้งหมด 171 ก้อน ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า DECT มีความสัมพันธ์เชิงบวก และมีความแม่นยำสูงในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต เมื่อเทียบกับการวินิจฉัยโดยรังสีแพทย์ ดังตารางที่ 7

8. ประสิทธิภาพของการจำแนกชนิดนิ่วจาก Dual Energy CT (DECT) เทียบกับการวินิจฉัยของรังสีแพทย์ (Diagnostic Radiologist: DR) โดยใช้ตาราง Confusion Matrix พบว่า DECT สามารถจำแนกนิ่วชนิดที่บรัสสี (Opaque stone) และ ไม่ที่บรัสสี (Non-opaque stone) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า True Positive (TP) 125 ก้อน และ True Negative (TN) 41 ก้อน ดังตารางที่ 8 และการจำแนกชนิดนิ่วด้วยเทคนิค Dual-Energy CT (DECT) พบว่า มีประสิทธิภาพสูง โดยมีค่า Accuracy 97.13% Sensitivity 98.43% และ Specificity 93.18% สะท้อนถึงความแม่นยำของ DECT ในการจำแนกชนิดนิ่วที่บรัสสี (Opaque stone) และ ไม่ที่บรัสสี (Non-opaque stone) ได้อย่างถูกต้อง มีค่าความเชื่อถือเชิงทำนาย ได้แก่ PPV 97.66% และ NPV 95.35% ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 6 การจำแนกชนิดของนิ่วในไต (Non-opaque stone และ Opaque stone) จากการแปลผลของรังสีแพทย์ จำแนกตามเพศ (หญิง/ชาย)

เพศ	Non-opaque stone	Opaque stone	จำนวนก้อนนิ่ว (N)
F (หญิง)	20	59	79
M (ชาย)	24	68	92

ตารางที่ 7 ผลการจำแนกชนิดนิ่วระหว่าง DECT และการแปลผลของรังสีแพทย์ (DR)

การจำแนกโดยรังสีแพทย์ (DR)	DECT: Non-Opaque stone	DECT: Opaque stone
Non-Opaque stone	41	3
Opaque stone	2	125

Chi-square test: $p < 0.001$, Fisher's exact test: $p < 0.001$

ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบ Confusion Matrix แสดงผลการจำแนกชนิดของนิ่วในไตโดยรังสีแพทย์ (DR) เทียบกับ Dual-Energy CT (DECT)

	Predicted: DECT Non-Opaque stone	Predicted: DECT Opaque stone	N
Actual: DR Non-Opaque stone	41 (TN)	3 (FP)	44
Actual: DR Opaque stone	2 (FN)	125 (TP)	127

ตารางที่ 9 ตัวชี้วัดความแม่นยำของการจำแนกนิ่วด้วย Dual-Energy CT (DECT) เปรียบเทียบกับการแปลผลของรังสีแพทย์

ตัวชี้วัด (Metrics)	สัดส่วน (x/n)	ค่า (ร้อยละ %)	95% CI
Accuracy (ความถูกต้อง)	166/171	97.13%	93.3%–99.0%
Sensitivity (ความไว)	125/127	98.43%	94.4%–99.8%
Specificity (ความจำเพาะ)	41/44	93.18%	81.3%–98.6%
PPV (ค่าทำนายบวก)	125/128	97.66%	93.3%–99.5%
NPV (ค่าทำนายลบ)	41/43	95.35%	84.2%–99.4%

สรุป

ผลการศึกษานี้ ยืนยันว่าเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) เป็นเครื่องมือทางรังสีวินิจฉัยที่มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือสูงในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต โดยให้ผลการวินิจฉัยที่สอดคล้องกับการแปลผลของรังสีแพทย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยเฉพาะความสามารถในการแยกนิ่วกรดยูริกออกจากนิ่วที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสะท้อนจากค่าประสิทธิภาพการวินิจฉัยที่อยู่ในระดับสูง (Accuracy 97.13%, Sensitivity 98.43%, Specificity 93.18%) ในเชิงคลินิก ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า DECT มีบทบาทสำคัญต่อการสนับสนุนการวางแผนการรักษาเฉพาะบุคคล และการป้องกันการกลับเป็นซ้ำของโรคนิ่วในไต โดยพบว่านิ่วชนิดที่บรัสสิ โดยเฉพาะแคลเซียมออกซาเลต เป็นชนิดที่พบบ่อยที่สุด ขณะที่ชนิดของนิ่วยังมีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านเพศ อายุ น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย ซึ่งบ่งชี้ถึงบทบาทของปัจจัยทางกายภาพ และเมตาบอลิซึมต่อการก่อตัวของนิ่ว และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินความเสี่ยงในระดับประชากรได้

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า DECT สามารถจำแนกชนิดของนิ่วในไตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้ค่า Accuracy เท่ากับ 97.13% Sensitivity 98.43% Specificity 93.18% PPV 97.66% และ NPV 95.35% ซึ่งบ่งชี้ถึงความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการแปลผลของรังสีแพทย์ (Diagnostic Radiologist: DR) โดยผลการจำแนกของ DECT และ DR มีความสอดคล้องกันในระดับสูง (Opaque stone: 125/127 ก้อน, Non-opaque stone: 41/44 ก้อน) แสดงถึงความสามารถของเทคโนโลยีนี้ในการจำแนกชนิดนิ่วได้อย่างถูกต้องทั้งในกลุ่มนิ่วที่ทึบรังสี และไม่ทึบรังสี

ผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับรายงานของ Stolzmann และคณะ¹⁷ Thomas และคณะ¹⁸ รวมถึง Primak และคณะ¹⁹ ซึ่งรายงานไว้ว่า DECT สามารถจำแนกองค์ประกอบทางเคมีของนิ่วได้อย่างแม่นยำ โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม ทั้งนี้ งานวิจัยปัจจุบันได้ขยายองค์ความรู้เพิ่มเติมในบริบทของประเทศไทย โดยรวมปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ และกายภาพ เช่น เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย ซึ่งช่วยเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลต่อความแม่นยำของการจำแนกชนิดนิ่วด้วย DECT ในเชิงระบาดวิทยา การกระจายของชนิดนิ่วที่พบ โดยเฉพาะการพบนิ่วแคลเซียมออกซาเลตในสัดส่วนที่สูงที่สุด รองลงมาคือไฮดรอกซีอะพาไทต์ และกรดยูริก สอดคล้องกับข้อมูลทางคลินิกก่อนหน้า และสะท้อนถึงบทบาทของปัจจัยทางกายภาพ และเมตาบอลิซึมต่อการเกิดนิ่วในไต

การพบไฮดรอกซีอะพาไทต์ในเพศหญิงมากกว่า อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางสรีรวิทยา และฮอร์โมนเพศ ขณะที่การพบกรดยูริกในกลุ่มที่มีน้ำหนักมาก และมีค่า BMI สูง อาจสัมพันธ์กับภาวะเมตาบอลิซึมผิดปกติ เช่น ภาวะดื้อต่ออินซูลิน หรือการเพิ่มของกรดยูริกในปัสสาวะ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ มีประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยง และการดูแลผู้ป่วยแบบองค์รวม อย่างไรก็ตาม แม้ว่า DECT จะมีความแม่นยำโดยรวมอยู่ในระดับสูง การเกิดผลการจำแนกคลาดเคลื่อน (false positive และ false negative) ยังคงพบได้ในบางกรณี โดยเฉพาะในนิ่วที่มีขนาดเล็กมาก (< 3 มิลลิเมตร) ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจาก partial volume effect ทำให้ค่าการดูดกลืนรังสีและค่า Dual-Energy Index (DEI) ไม่สะท้อนองค์ประกอบที่แท้จริงของนิ่ว นอกจากนี้ image noise และ beam-hardening artifact จากโครงสร้างกระดูกเชิงกราน หรืออวัยวะข้างเคียง อาจรบกวนการประมวลผลข้อมูลเชิงสเปกตรัม โดยเฉพาะในนิ่วที่มีองค์ประกอบผสม หรือมีขนาดเล็กมาก ส่งผลให้การจำแนกชนิดนิ่วคลาดเคลื่อนได้ในบางสถานการณ์ ในด้านปัจจัยทางเทคนิค การตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรโตคอลการสแกน เช่น ระดับพลังงาน (kVp) ปริมาณรังสี (mAs) การปรับสมดุลระหว่างพลังงานต่ำและพลังงานสูง รวมถึงขั้นตอนการประมวลผลภาพ (post-processing) มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของข้อมูล Dual Energy และความแม่นยำในการคำนวณค่า Dual-Energy Index (DEI) การขาดมาตรฐานของโปรโตคอล อาจลดความสามารถในการทำซ้ำของผลการตรวจ และเพิ่มโอกาสของการเกิด false results ระหว่างโรงพยาบาล โดยสรุป ผลการศึกษานี้ตอกย้ำบทบาทของ DECT ในฐานะเทคโนโลยีทางรังสีวินิจฉัยที่สามารถจำแนกองค์ประกอบของนิ่วในไตได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ และสนับสนุนการเลือกแนวทางการรักษาที่เหมาะสม เช่น ESWL, URS หรือ PCNL อย่างไรก็ตาม การตีความผลควรคำนึงถึงข้อจำกัดด้านขนาดนิ่ว และปัจจัยทางเทคนิค เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดสินใจทางคลินิกที่คลาดเคลื่อน

จากผลการศึกษา พบว่าแม้เอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy จะมีศักยภาพสูงในการจำแนกชนิดของนิ่วในไต แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในเวชปฏิบัติจริงควรพิจารณาการพัฒนา และกำหนดแนวทางมาตรฐานของการใช้งานอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการสแกน การควบคุม image noise และขั้นตอนการประมวลผลภาพ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการทำซ้ำของผลการตรวจระหว่างสถานพยาบาล นอกจากนี้ การตีความผลจาก DECT ควรดำเนินการควบคู่กับข้อมูลทางคลินิก และปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ เช่น เพศ อายุ และดัชนีมวลกาย เพื่อสนับสนุนการวางแผนการรักษาแบบเฉพาะบุคคล และการประเมินความเสี่ยงของผู้ป่วยอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ควรระมัดระวังเป็นพิเศษในการแปลผล DECT ในนิ่วที่มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลการ

จำแนกคลาดเคลื่อนจาก partial volume effect และ artifact โดยอาจพิจารณาการติดตาม หรือการตรวจเสริมในกรณีที่ไม่ชัดเจน สุดท้าย ควรมีการศึกษาต่อยอดในอนาคตที่เปรียบเทียบผลการจำแนกชนิดนี้ด้วย DECT กับมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันความแม่นยำ และพัฒนาแนวทางการใช้งานที่เหมาะสมกับบริบทของระบบบริการสุขภาพในประเทศไทยอย่างยั่งยืน

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และความสามารถในการอ้างอิงเชิงประชากร การศึกษานี้มีขนาดกลุ่มตัวอย่างค่อนข้างจำกัด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสรุปผลไปใช้กับประชากรในวงกว้าง (generalizability) โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของลักษณะทางคลินิก และปัจจัยร่วมของผู้ป่วยโรคนี้ในไต่ในบริบทที่แตกต่างกัน

2. การกระจายของชนิดนี้ไม่ครอบคลุมทุกประเภท แม้ว่าการศึกษาจะครอบคลุมชนิดที่พบบ่อย เช่น Calcium oxalate, Hydroxylapatite และ Uric acid แต่จำนวนของนิ่วบางชนิดที่พบได้น้อย เช่น Struvite และ Cystine มีสัดส่วนค่อนข้างต่ำ ทำให้ข้อสรุปเชิงสถิติสำหรับนิ่วกลุ่มดังกล่าวมีข้อจำกัด และอาจไม่สะท้อนประสิทธิภาพของ DECT ต่อชนิดนี้เหล่านั้นได้อย่างสมบูรณ์

3. การใช้ผลการวินิจฉัยของรังสีแพทย์เป็นมาตรฐานอ้างอิง การศึกษาใช้การแปลผลของรังสีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเป็นมาตรฐานอ้างอิง แทนการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของนิ่วด้วยวิธีมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ เช่น Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากร และจริยธรรมทางคลินิก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการยืนยันองค์ประกอบทางเคมีของนิ่วจริงในบางกรณี

4. อิทธิพลของปัจจัยทางเทคนิค และคุณภาพของภาพ ความแม่นยำของการจำแนกชนิดนี้ด้วย DECT อาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางเทคนิคหลายประการ เช่น การเคลื่อนไหวของผู้ป่วยระหว่างการสแกน คุณภาพของภาพ การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่อง และความแตกต่างของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แต่ละรุ่น รวมถึงทักษะ และประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์และการแปลผลภาพได้

5. ข้อจำกัดด้านบริบทของการนำไปใช้ทางคลินิก เทคโนโลยี DECT ยังมีการใช้งานจำกัดในโรงพยาบาลบางระดับ โดยเฉพาะในโรงพยาบาลระดับปฐมภูมิ หรือพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณและบุคลากรเฉพาะทาง ทำให้การนำผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทของระบบบริการสุขภาพที่หลากหลาย ยังต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง

6. รูปแบบการศึกษาเชิงย้อนหลัง (Retrospective design) ลักษณะการศึกษาแบบย้อนหลัง อาจมีข้อจำกัดด้านการควบคุมตัวแปรรบกวน และความครบถ้วนของข้อมูลบางส่วน

ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ และไม่สามารถสะท้อนความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งาน DECT ในสถานการณ์ทางคลินิกจริงได้อย่างเต็มที่

7. การศึกษานี้ไม่ได้ประเมินความเชื่อมั่นของการจำแนกชนิดนี้ด้วย DECT ระหว่างผู้ประเมินหรือการอ่านซ้ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสรุปผลในบริบท ที่มีผู้ประเมินหลายคน อย่างไรก็ตาม ได้ใช้โปรโตคอลการตรวจ และการวิเคราะห์ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดการศึกษา และผลการจำแนกถูกเปรียบเทียบกับผลการวินิจฉัยของรังสีแพทย์ซึ่งเป็นมาตรฐานอ้างอิง

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ควรนำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) มาใช้เป็นเครื่องมือเสริมในการวินิจฉัย และวางแผนการรักษาผู้ป่วยโรคนี้ในไต่ โดยเฉพาะในโรงพยาบาลที่มีความพร้อมด้านเครื่องมือ และบุคลากร

2. ควรบูรณาการผลการตรวจ DECT เข้ากับข้อมูลทางคลินิก และปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ เพื่อสนับสนุนการวางแผน การรักษาแบบเฉพาะบุคคล และการป้องกันการเกิดนิ่วซ้ำ

3. ควรใช้ผลการจำแนกชนิดนี้จาก DECT เป็นส่วนหนึ่งของ clinical pathway เพื่อช่วยเลือกวิธีการรักษาที่เหมาะสม เช่น ESWL, URS หรือ PCNL ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

4. การใช้ DECT อย่างเหมาะสมสามารถช่วยลดความจำเป็นในการส่งตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบนิ่วทางห้องปฏิบัติการในบางกรณี ซึ่งอาจช่วยลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลาการวินิจฉัย

5. ควรพัฒนาแนวทางมาตรฐานของการใช้งาน DECT และตีความผลด้วยความระมัดระวังในนิ่วขนาดเล็ก โดยเฉพาะน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการวินิจฉัย

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาต่อยอดในกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะการศึกษาแบบหลายศูนย์ (Multicenter study) เพื่อเพิ่มความสามารถในการอ้างอิงผลการวิจัยไปใช้ในระดับประชากรและในบริบทของระบบบริการสุขภาพที่แตกต่างกัน

2. ควรมีการเปรียบเทียบผลการจำแนกชนิดของนิ่วด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ Dual Energy (Dual-Energy Computed Tomography: DECT) กับการวิเคราะห์องค์ประกอบนิ่วด้วยวิธีมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ เช่น Stone analysis หรือ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เพื่อยืนยันความแม่นยำ ความถูกต้อง และความเสถียรของเทคโนโลยี DECT อย่างเป็นระบบ

3. ควรศึกษาความสอดคล้องระหว่างผลการวินิจฉัยของรังสีแพทย์กับผลการวินิจฉัยสุดท้าย (final diagnosis) ซึ่งอาจได้จากผลการรักษา การติดตามทางคลินิก หรือการวิเคราะห์องค์ประกอบนิ่วจริง เพื่อประเมินบทบาท และความแม่นยำของรังสีแพทย์

ในฐานะมาตรฐานอ้างอิง และลดความเอนเอียงจากการใช้ reference standard เพียงแหล่งเดียว

4. ควรมีการพัฒนา และประเมินแนวทางมาตรฐานของ โปรโตคอลการตรวจ DECT สำหรับการจำแนกชนิดของนิ่วในไต ในบริบทของประเทศไทย เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของการวินิจฉัย ลดความแปรปรวนระหว่างสถานพยาบาล และสนับสนุนการนำ เทคโนโลยีไปใช้ในทางคลินิกอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

1. Rule AD, Krambeck AE, Lieske JC. Kidney stones: a global health problem. *Lancet*. 2018;392(10166):2345-56.
2. Scales CD Jr, Smith AC, Hanley JM, Saigal CS; Urologic Diseases in America Project. Prevalence of kidney stones in the United States. *Eur Urol*. 2012;62(1):160-5. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2012.03.052>
3. ขาญชัย บุญหล้า, ปิยะรัตน์ โตสุขวงศ์, และเกรียง ตั้งสง่า. (2550). โรคนี้ว่าไต: จากกลไกการเกิดนิ่วระดับโมเลกุลสู่การป้องกัน. ใน สมชาย เอี่ยมอ่อง, เกรียง ตั้งสง่า, และเกื้อเกียรติ ประดิษฐ์พรศิลป์ (บ.ก.), โรคไต กลไก พยาธิสรีรวิทยา การรักษา. กรุงเทพฯ: เทกซ์แอนด์เจอร์นอล.
4. สำเริง มาประชุม, วิมลรัตน์ หล่อนิมิตติ, ศาสตราวุธ ธรรมกิตติพันธ์. การวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในไตโดยใช้ Dual-energy computed tomography. *วารสารรังสีวิทยาศิริราช*. 2018;5(1):62-72.
5. Pearle MS, Goldfarb DS, Assimos DG, et al. Medical management of kidney stones: AUA guideline. *J Urol*. 2014;192(2):316-24. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2014.05.006>
6. Sorokin I, Mamoulakis C, Miyazawa K, Rodgers A, Talati J, Lotan Y. Epidemiology of stone disease across the world. *World J Urol*. 2017;35(9):1301-20. <https://doi.org/10.1007/s00345-017-2008-6>
7. World Health Organization. Global report on urinary tract stones: epidemiology and prevention [Internet]. Geneva: WHO; 2022 [cited 2025 May 30]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/urinary-tract-stones-global-report>
8. Smith RC, Krinsky GA, Khazan R, et al. Dual-energy CT differentiation of calcium oxalate and uric acid renal stones: pilot study. *Radiology*. 2006;241(3):715-20.
9. Thai Ministry of Public Health. Health technology assessment report on dual-energy CT for kidney stone diagnosis. Bangkok: Ministry of Public Health; 2023.
10. Takeuchi M, Ichikawa I, Matsumoto T, et al. Urolithiasis: how accurate are plain radiographs? *J Urol*. 2008;179(4):1293-7.
11. Lee C, Meldrum P, Thanh L, et al. Comparison of diagnostic accuracy of ultra-low-dose CT and X-ray of the kidneys, ureters and bladder for urolithiasis in the follow-up setting. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2023;67(3):345-52.
12. McArthur C, Kennish SJ. Plain abdominal radiograph: radiolucent, semi-opaque and opaque urinary calculi. *Abdom Radiol (NY)*. 2017;42(5):1459-68.
13. Brisbane W, Bailey MR, Sorensen MD. An overview of kidney stone imaging techniques. *Nat Rev Urol*. 2016;13(11):654-62. <https://doi.org/10.1038/nrurol.2016.154>
14. Geavlete B, Multescu R, Georgescu D, et al. Current diagnostic and therapeutic options for urinary tract stones. *J Clin Med*. 2021;10(2):220.
15. Wayne WD. Biostatistics: a foundation of analysis in the health sciences. 6th ed. New York: John Wiley & Sons; 1995.
16. Rojanavijitkul P, Tantigate P, Ratchanon S, Usawachintachit M, Pongpirul K, Chaopathomkul B. Diagnostic accuracy of dual-energy CT to determine urinary tract stone composition: differentiating between uric acid and non-uric acid urinary tract stones. *Chula Med J*. 2022;66(1):75-81. <https://doi.org/10.58837/CHULA.CMJ.66.1.10>
17. Stolzmann P, Scheffel H, Rentsch K, et al. Dual-energy computed tomography for the differentiation of uric acid stones: ex vivo performance evaluation. *Acad Radiol*. 2010;17(4):458-64.
18. Thomas C, Heuschmid M, Schilling D, et al. Dual-energy CT for the characterization of urinary calculi: initial in vitro and clinical experience. *Eur Radiol*. 2013;23(5):1363-70.
19. Primak AN, Fletcher JG, Vrtiska TJ, et al. Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT. *Acad Radiol*. 2010;17(12):1471-7.