

บทความปริทรรศน์

การวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในไตโดยใช้ Dual Energy Computed Tomography Differentiate Kidney Stone by Dual Energy Computed Tomography

สำเร็จ มาประชุม วท.บ. รังสีเทคนิค

วิมลรัตน์ หล่อนิมิตดี วท.บ. รังสีเทคนิค

ศาสตราจารย์ ดร.ธรรมกิตติพันธ์ วท.บ.รังสีเทคนิค, วท.ม.อุปกรณ์การแพทย์

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีการนำวิวัฒนาการใหม่มาใช้ในการตรวจเพื่อวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในไต โดยการใช้เทคโนโลยี Dual Energy Computed Tomography แบบ Fast KV Switching ร่วมกับการใช้ Detector ชนิด Gemstone ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ดี และคายพลังงานแสงได้อย่างรวดเร็ว จากหลักการของเอกซเรย์ที่ Photon ทำอันตรกิริยากับวัตถุที่มีค่า Atomic number ต่างกัน จะเกิดปรากฏการณ์ที่แตกต่างกันและวัตถุแต่ละชนิดยังมี Attenuation Coefficient ต่างกัน เมื่อมี Zeff ต่างกัน จากคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อให้พลังงานที่แตกต่างกัน 2 ค่า ทำให้ได้ข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในการตรวจ Uninary track Stones และการวิเคราะห์ภายหลังการตรวจจึงสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์หาชนิดของนิ่วได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ GSI เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ นิ่วในไต

บทนำ

โรคนิ่วในไตมีแนวโน้มของอุบัติการณ์สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีโอกาสเกิดขึ้นได้ประมาณร้อยละ 10-16 [1] ซึ่งการมีนิ่วในไตอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนที่เป็นอันตรายได้ เช่น การติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ การทำงานของไตเสื่อม ซึ่งอาจนำไปสู่ภาวะไตวายเรื้อรัง และโรคไตระยะสุดท้าย ซึ่งทำให้ถึงแก่ความตายได้

โรคนิ่วในไต (Kidney stone disease) นิ่วในไตมีหลายชนิด จำแนกตามส่วนประกอบทางเคมีหรือแร่ธาตุที่ประกอบเป็นผลึกในก้อนนิ่ว สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ [2,3] คือ

1. นิ่วที่ทึบรังสี โดยนิ่วในกลุ่มนี้โดยส่วนใหญ่จะมีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบ (Calcium stones) ซึ่งเป็นนิ่วที่พบมากที่สุด ประมาณร้อยละ 80 อาจเป็นนิ่วแคลเซียมออกซาเลต (Calcium oxalate, CaOx) หรือนิ่วแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate, CaP) หรือนิ่วเนื้อผสมของแคลเซียมออกซาเลตกับฟอสเฟต หรือแคลเซียมออกซาเลตกับกรดยูริก การตรวจเอกซเรย์ทั่วไปก็สามารถเห็นนิ่วประเภทนี้ได้

2. นิ่วที่ไม่ทึบรังสี โดยนิ่วประเภทนี้ไม่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบ (Non-calcium stones) พบได้ประมาณร้อยละ 15-20 ได้แก่ นิ่วกรดยูริก (Uric acid stone) ซึ่งนิ่วประเภทนี้เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย หรือนิ่วสตรูไวท์ (Infection stone หรือ Struvite) และนิ่วซีสทีน (Cystine stone) เป็นต้น โดยนิ่วกรดยูริกและแคลเซียมฟอสเฟตมีโอกาสกลับเป็นซ้ำได้สูงกว่านิ่วชนิดอื่นๆ การตรวจโดยการเอกซเรย์ทั่วไปจะไม่สามารถมองเห็นนิ่วประเภทนี้ได้ ซึ่งอาจต้องมีการตรวจ

ทางรังสีเพิ่มเติม เช่น การตรวจอัลตราซาวด์ แต่มีข้อเสียคือมีความไวในการตรวจต่ำและถ้าเป็นนิ่วที่ท่อไต อัลตราซาวด์มักจะตรวจไม่พบ หรือการเอกซเรย์ร่วมกับการฉีดสารทึบรังสีเข้าทางหลอดเลือดดำ ซึ่งต้องมีข้อพึงระวังคือการแพ้ต่อสารทึบรังสีและอาจมีผลต่อไตของผู้ป่วย

ปัจจัยเสี่ยงโรคนิ่วในไต

ปัจจัยเสี่ยงภายใน ได้แก่ ลักษณะทางกายวิภาคของไต, พันธุกรรม, เชื้อชาติ, อายุ และเพศ

ปัจจัยเสี่ยงภายนอก ได้แก่ ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น อากาศและฤดูกาล, พฤติกรรมการกิน, อาชีพ, ความเครียด, ยา, ปริมาณน้ำที่ดื่ม

สาเหตุ

สาเหตุการเกิดนิ่วในไตยังไม่ทราบแน่ชัด แต่ปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดนิ่วในไตได้แก่

1. มีการติดเชื้อ
2. การมีปัสสาวะขัง
3. ภาวะการพร่องวิตามินเอ
4. มีการเปลี่ยนแปลงภาวะกรด ด่าง ของปัสสาวะ
5. ปัสสาวะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดจากการดื่มน้ำน้อย หรือมีการเสียน้ำ
6. การทำงานของต่อม Parathyroid ที่มากเกินไป
7. โรค Gout
8. ขาดสาร Orthophosphates

อาการและอาการแสดง

1. ปวดที่บริเวณไต
2. เป็นไข้

3. ปัสสาวะบ่อย ปวดแสบขณะถ่าย
ปัสสาวะ เนื่องจากกระเพาะปัสสาวะอักเสบเรื้อรัง

4. ไตวาย

ภาวะแทรกซ้อน

1. ภาวะไตบวมน้ำ เนื่องจากนิ่วอุดกั้น
ทางเดินน้ำปัสสาวะ ทำให้ไตโต

2. ความดันโลหิตสูง

3. ไตวายจากการอักเสบและติดเชื้อ
เนื่องจากของเสียที่ขับถ่ายออกทางไต จะคั่งอยู่ใน
กระแสเลือดมากกว่าปกติ

การรักษา

1. ถ้าก้อนนิ่วมีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร มัก
หลุดออกมาเองได้จากการดื่มน้ำมาก ๆ และอาจร่วมกับ
ยาช่วยละลายนิ่ว

2. การผ่าตัด

2.1 การผ่าตัดเพื่อเอานิ้วออกทางกรวยไต

2.2 การผ่าตัดเข้าไปที่ไตเพื่อคิบนิ้วออก

2.3 การผ่าตัดไตออกทั้งหมด

2.4 การผ่าตัดไตออกบางส่วน

3. การรักษาด้วยคลื่นกระแทก ESWL
(Extracorporeal shockwave lithotripsy) จะเป็นการใช้
คลื่นเสียงความถี่สูงส่งพลังผ่านผิวหนังไปสู่ก้อนนิ่ว
โดยไม่ทำอันตรายเมื่อคลื่นถูกก้อนนิ่วแพทย์จะมองเห็น
รอยร้าวหรือแตกบนก้อนนิ่ว ก้อนนิ่วจะสลายตัว
หลังจากใช้เครื่องสลายนิ่วประมาณ 1 ชั่วโมง และจะถูก
ขับออกมาพร้อมกับปัสสาวะภายหลังการรักษาแล้ว
หลายวันถึง 1 สัปดาห์ แต่ก้อนนิ่วจะต้องมีขนาดไม่เกิน
2.5 เซนติเมตร และอยู่เหนือท้องน้อย มักใช้กับนิ่วชนิด
ที่เกิดจากการติดเชื้อในไต (Struvite stones) ใช้ไม่ได้ผล
กับนิ่วชนิดซิสทีน (Cystine stones)

4. การส่องกล้องระบบทางเดินปัสสาวะ
(Endourology)

4.1 การส่องกล้องโดยการเจาะรูผ่านผิวหนัง
PCNL (Percutaneous nephrolithotomy)

4.2 การส่องกล้องโดยผ่านท่อปัสสาวะ
URS (Ureterorenoscopy)

5. การทำให้นิ้วแตกหรือคิบนิ้วออก

5.1 Ultrasonic lithotripsy มักใช้ในกรณีที่ใช้
เครื่องสลายนิ่ว (ESWL) แล้วไม่ได้ผล หรือเป็นนิ่ว
ชนิดซิสทีน (Cystine stones) หรือเป็นนิ่วที่มีขนาดใหญ่

5.2 Ballistic lithotripsy

5.3 Electrohydraulic lithotripsy

5.4 LASER lithotripsy

5.5 การคิบนิ้วออกด้วยคีมหนีบ หรือคล้อง
นิ้วด้วยตะกร้อชนิดต่าง ๆ

6. การรักษาโดยการให้ยาขับประ 탄หรือยาฉีด

เมื่อมีการตรวจพบนิ่วในไต ปัจจัยที่มีผลต่อการ
ตัดสินใจในการเลือกวิธีการรักษา คือ ขนาด จำนวน
องค์ประกอบของนิ่ว หรือชนิดของนิ่ว กายวิภาคของไต
รวมทั้งสภาพของผู้ป่วยซึ่งในอดีตได้มีนำเครื่องเอกซเรย์
คอมพิวเตอร์แบบ single energy มาใช้ในการตรวจหา
ตำแหน่ง ขนาด และวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในระบบ
ทางเดินปัสสาวะ แต่ยังไม่สามารถวิเคราะห์ ชนิดของนิ่ว
ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากการตรวจ เอกซเรย์
คอมพิวเตอร์แบบ single energy นิ่วที่มีส่วนประกอบ
เป็น uric stone จะมีค่า average absolute attenuation
value เป็น 444 ± 118 HU ส่วนนิ่วที่เป็น brushite จะมี
ค่า average absolute attenuation value เป็น 1703 ± 161
HU แต่เนื่องจากสารประกอบในนิ่วจะถูกคลื่นพลังงาน

ไม่เท่ากันการให้ single energy จะเกิด partial volume effect [4] ซึ่งเป็นปัญหาในการแยกประเภทของเนื้อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีการนำวิวัฒนาการใหม่มาใช้ในการตรวจเพื่อวิเคราะห์ชนิดของเนื้อในไต โดยการใช้เทคโนโลยี Dual Energy Computed Tomography แบบ Fast KV Switching ร่วมกับการใช้ Detector ชนิด Gemstone ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ดี และคายพลังงานแสงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถเรียกรวม หลักการ Fast KV Switching ร่วมกับ Detector ชนิด Gemstone ได้ว่า Gemstone Spectral Imaging

เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของบริษัท GE รุ่น GE Discovery 750 HD [5] และ GE Revolution CT [6] ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี Gemstone Spectral Imaging (GSI) โดยใช้หลักการ Dual Energy Computed Tomography ที่ใช้เทคนิค Fast kV Switching คือมีการให้พลังงานเอกซเรย์ 2 ค่าพลังงาน ระหว่าง Low Energy ที่ 80 kVp และ High Energy ที่ 140 kVp สลับไปมาอย่างรวดเร็วในอัตรา 0.25 msec

หลักการของ Dual Energy Computed Tomography คือ ค่าการดูดกลืนพลังงานเอกซเรย์ (Attenuation Coefficient) ของวัตถุใดๆ จะขึ้นอยู่กับค่า Effective atomic number (Z_{eff}) ของวัตถุนั้นๆ และการเกิดอันตรกิริยาต่างๆของ X-RAY Photon กับวัตถุนั้นๆ โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ได้แก่ปรากฏการณ์ photoelectric effect และ Compton scatter

ซึ่งปรากฏการณ์ Photoelectric effect หมายถึง การที่ Photon เข้าชนอะตอมแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรซึ่งส่วนมากเกิดในชั้น K shell การที่จะเกิดปรากฏการณ์นี้ได้ Photon ที่เข้าชนจะต้องมีพลังงาน

มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้น k shell นั้น สารที่มี Atomic number สูงขึ้นก็จะมี พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้น K shell เพิ่มขึ้น(4) การดูดกลืนพลังงานของ photon ของสารต่างๆ ในการเกิด Photoelectric effect มักเกิดกับวัตถุที่มี Atomic number สูงๆ ส่วนปรากฏการณ์ Compton scatter [7] เกิดจาก Photon ชนโดยตรงกับ อะตอมของตัวกลาง แล้วถ่ายถอดพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนในวงโคจร อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์ เท่ากับผลต่างของ Photon ที่เข้ามาชน และพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ทำให้ Photon เสียพลังงานบางส่วน ทำให้พลังงานลดลง และมีทิศทางเปลี่ยนไป ซึ่งปรากฏการณ์ Compton scatter มักเกิดกับวัตถุที่มีค่า Atomic number ต่ำ

สูตรทางเคมีของเนื้อแต่ละชนิดจะมีสูตร และ ส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 [8] เนื้อที่เป็นชนิด Uric acid จะเป็นเนื้อที่ประกอบด้วยธาตุเบา คือ H, C, N, O ซึ่งมีค่า Z_{eff} ต่ำ ดังนั้นค่า Attenuation Coefficient จะต่างจากเนื้อกลุ่มที่เป็นพวก Non uric acid ที่จะประกอบไปด้วยธาตุน้ำหนัก คือ P, Ca, S

จากหลักการที่ Photon ทำอันตรกิริยากับวัตถุที่มีค่า Atomic number ต่างกัน จะเกิดปรากฏการณ์ที่แตกต่างกันและวัตถุแต่ละชนิดยังมี Attenuation Coefficient ต่างกัน เมื่อมี Z_{eff} ต่างกัน จากคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อให้พลังงานที่แตกต่างกัน 2 ค่า ทำให้ได้ข้อมูลที่แตกต่างกัน จึงสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์หาชนิดของเนื้อได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ตาราง 1 ชนิดของนิ่ว และสูตรทางเคมีของนิ่วแต่ละชนิด

ชนิดของนิ่ว	สูตรทางเคมี
Uric acid Stones	
Uric acid	$C_5H_4N_4O_3$
Uric acid dihydrate	$C_5H_4N_4O_3 \cdot 2H_2O$
Ammonium urate	$C_5H_4N_4O_3NH_4$
Non Uric acid stones	
Calcium oxalate monohydrate	$CaC_2O_4 \cdot H_2O$
Calcium oxalate dehydrate	$CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$
Calcium hydroxyapatite	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
Carbonate apatite	$Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6(OH, CO_3)_2$
Calcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
Brushit	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$
Struvite	$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$
Cystine	$C_6H_{12}N_2O_4S_2$
2,8-dihydroxyadenine ^a	$C_5H_5N_5O_2$

ขั้นตอนการวิเคราะห์ Analysis GSI Protocol for Urinary Tract Stones

1. เข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์หาชนิดของก้อนนิ่วในไต GSI Viewer (Renal stone)[9] (รูป 1)
2. วาง ROI ตรงก้อนนิ่ว สามารถวาง ROI ได้ทั้งจากภาพ Axial, Coronal และ Sagittal view (รูป 2)
3. เลือก Known Materials ที่เป็นส่วนประกอบของนิ่วในไต เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับนิ่วที่ทำการวัดนั้น มีค่า Effective -Z ใกล้เคียงกับ Known Materials ชนิดใด (รูป 3)

โปรแกรมวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในไต ประกอบด้วย 4 View Port ได้แก่

1. ซ้ายบน แสดง Histogram Eff-Z เป็นการแสดงค่า Atomic Number ของนิ่วและ Known Materials ซึ่งจะใช้ Histogram นี้เป็นตัวบอกชนิดของนิ่วในไต โดยจะเทียบกับ Known Materials (รูป 4)
2. ซ้ายล่าง แสดง Spectral HU Curve คือการแสดงผลค่า Hounsfield Unit ที่ keV ต่างๆ ตั้งแต่ 40 ถึง 140 keV (รูป 5)

ตาราง 2 Protocol GSI for Uninary track Stones สำหรับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ GE

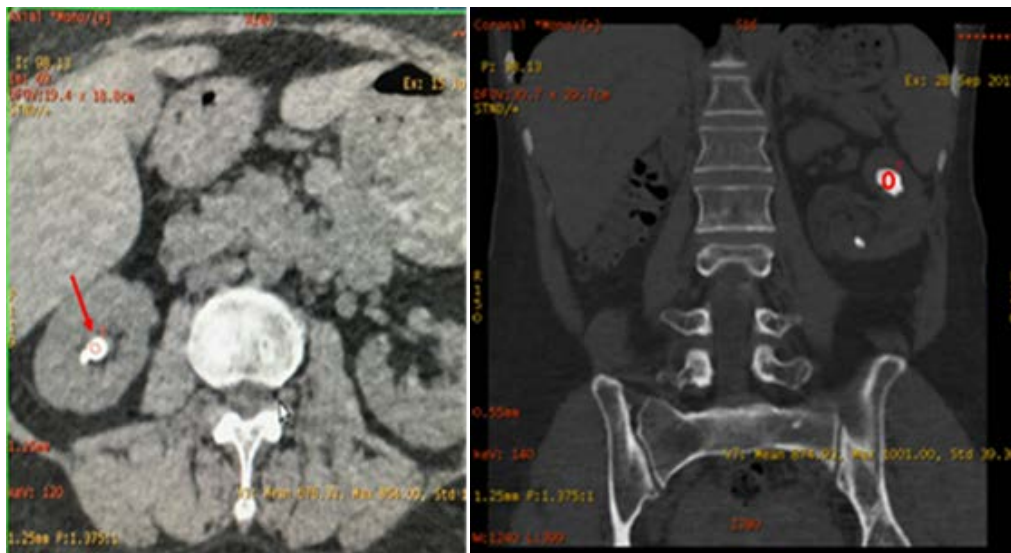
Type	Discovery CT750HD	Revolution CT
Oral/Rectal/IV Contrast		None
Position		Supine
Scan Type		Helical
GSI Preset	GSI22	GE abdomen NC
Scan Sequence		Scout AP & Lateral Non Contrast
Coverage		2 cm above kidney to pubic symphysis
Scan Direction		Superior to Inferior
Respiration		Breath in & Hold breath
Thickness & Reconstruction		Recon 1: QC check 5.0 mm Recon 2: Abdo 1.25 mm Monochromatic image 70 keV & On Data File
Rotation Time	0.7 s	0.8 s
kVp(Fast kVp switching)	80 & 140	
mA	Preset GSI 22	GSI manual 275 mA
Detector Coverage	40 mm	80 mm
Pitch	1.375:1	0.992:1
DFOV		Cover abdomen
Algorithm		Standard
Post processing		Software: GSI Viewer (Renal Stone)

3. ขวามบน แสดงภาพ Axial ของผู้ป่วยที่จะนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งของนิ่วที่จะวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในไต

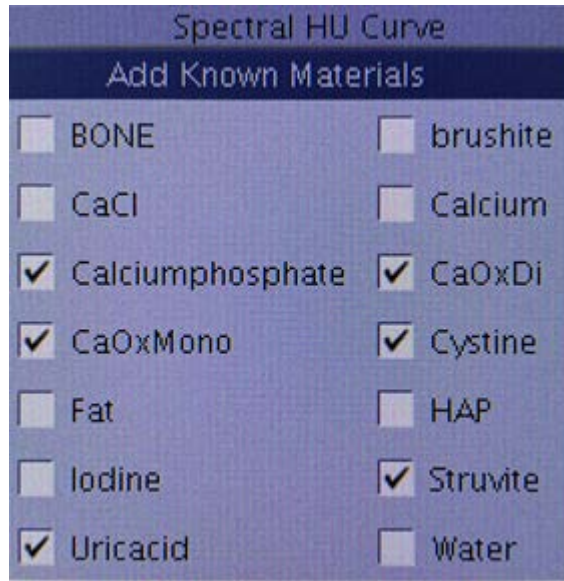
4. ขวาล่าง แสดงภาพ Coronal ของผู้ป่วยที่จะนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งของนิ่วที่จะวิเคราะห์ชนิดของนิ่วในไต ซึ่งสามารถวาง ROI (Region of Interest) ได้ทั้งจากภาพ Axial หรือ Coronal



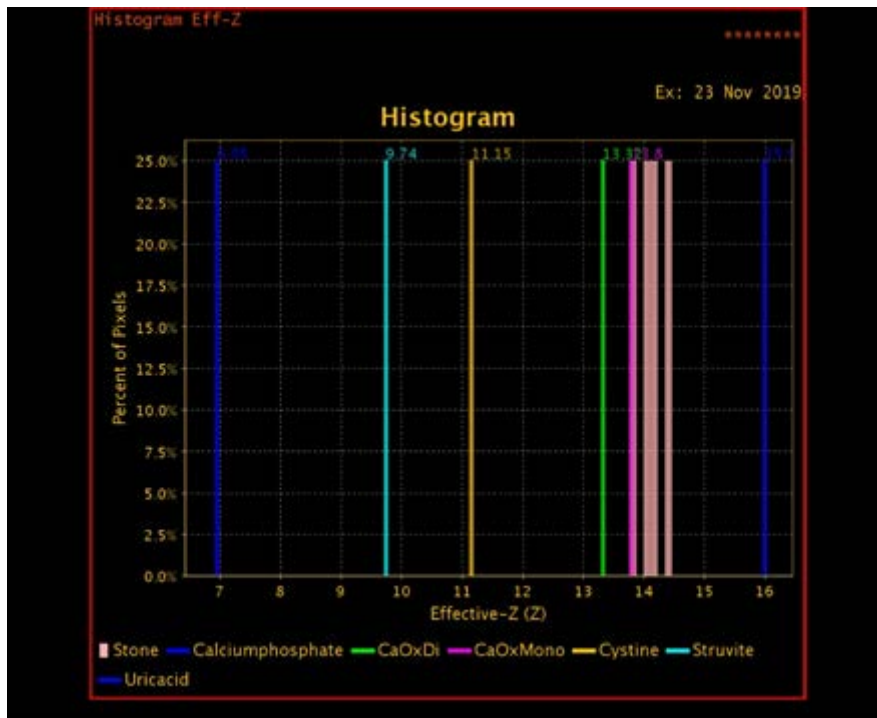
รูป 1 หน้าจอโปรแกรม GSI for remal stone



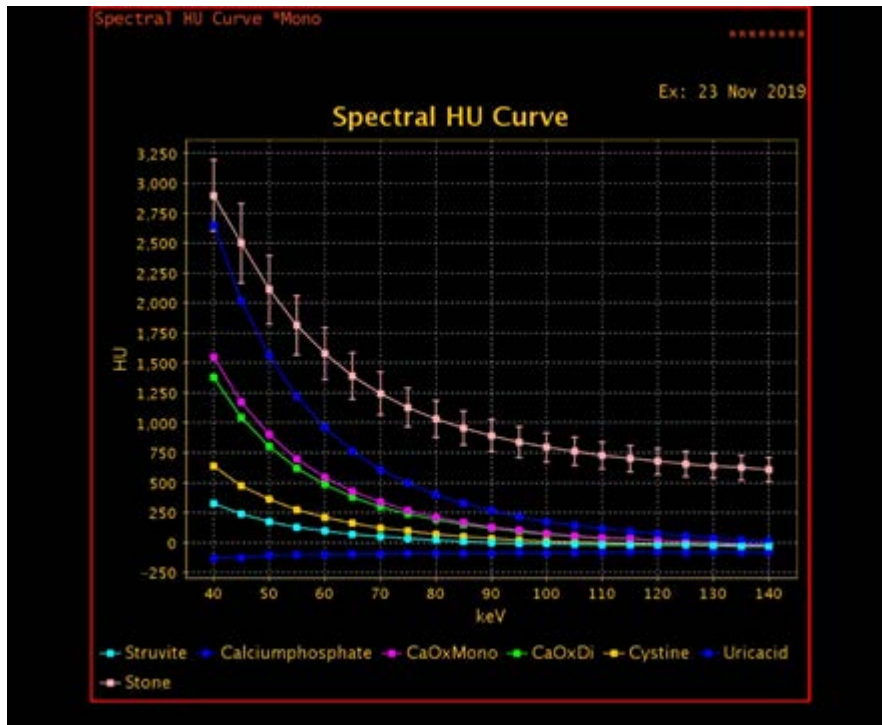
รูป 2 การวาง ROI ตรงก้อนนิ่วจากภาพ Axial, Coronal และ Sagittal



รูป 3 หน้าจอสำหรับเลือก known materials



รูป 4 Histogram จากโปรแกรมวิเคราะห์ แสดงค่า Effective atomic number (Zeff) ของ Known material และนี้ว ในรูปแบบของกราฟแท่งสีต่างๆ



รูป 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HU (Hounsfield Unit) และค่าพลังงานเป็น keV

สรุป

Gemstone Spectral Imaging (GSI) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของนิ่วในไต ซึ่งใช้เวลาในการตรวจน้อย มีความแม่นยำสูง ขั้นตอนการตรวจไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีความปลอดภัย สามารถช่วยให้แพทย์แปลผลชนิดของนิ่วในไตได้อย่างถูกต้อง นำไปสู่การวางแผนการรักษาที่ถูกต้องที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย

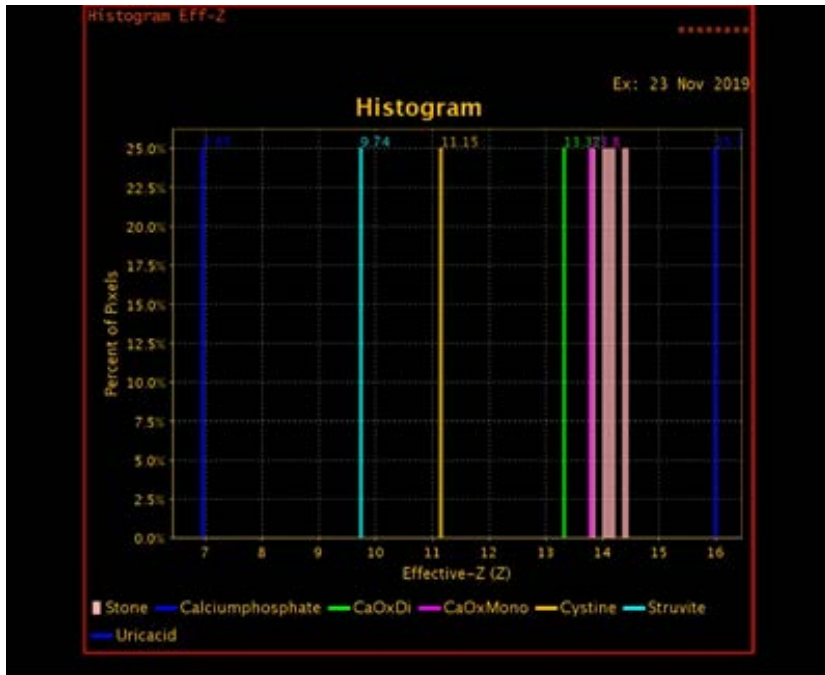
บรรณานุกรม

1. www.bmbmd.research.chula.ac.th/knrenal.htm
2. ชาญชัย บุญหล้า. ปิยะรัตน์ โตสุขโขวงศ์. เกรียงตั้งสง่า. Kidney Stone Disease : From Molecular Lithogenesis to stone Prevention, ภาควิชาชีวเคมี และ

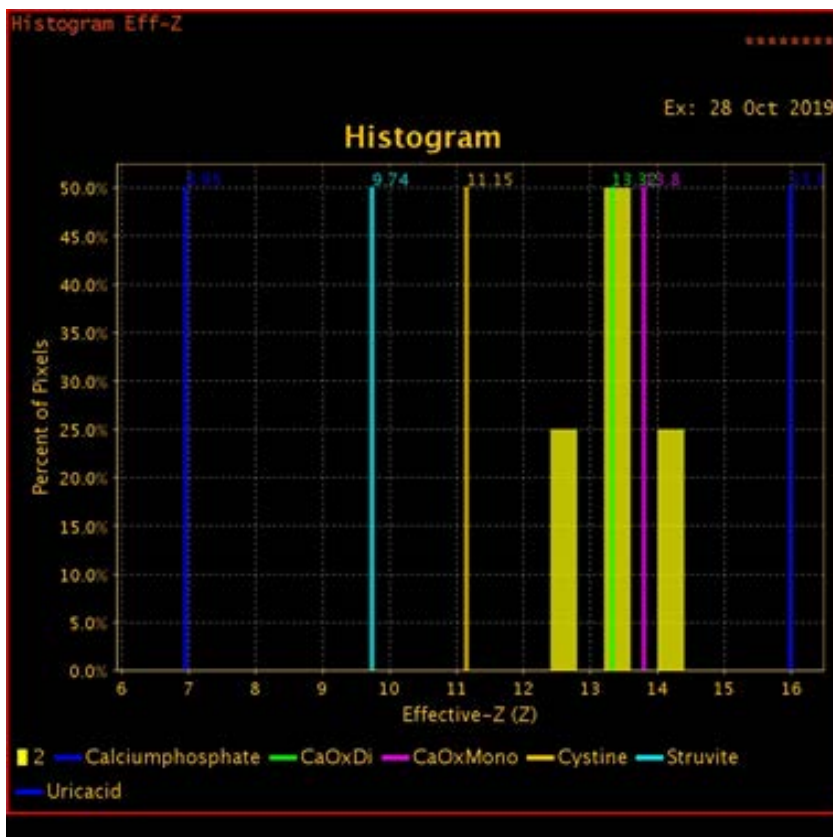
ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 1-37

3. บรรณกิจ โลจนาภิวัฒน์. นิ่วในระบบทางเดินปัสสาวะ. กรุงเทพฯ: ปิยอนด์ เอ็นเทอร์ไพรซ์, 2548
4. Courtney A. Coursey , Rendon C. Nelson, Daniel T. Boll, Erik K. Paulson, Lisa M. Ho, Amy M. Neville, Daniele Marin, Rajan T. Gupta, Sebastian T. Schindera . Dual-Energy Multidetector CT: How Does It Work, What Can It Tell Us, and When Can We Use It in Abdominopelvic Imaging?. <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rg.304095175>
5. DiscoveryTM CT750 HD. User Manual GE Medical Systems.

ตัวอย่างการวิเคราะห์



กราฟแท่งสีชมพูอ่อนคือ ก้อนนิ่ว มีค่า Effective atomic number (effective-Z) ใกล้เคียงกับกราฟแท่งสีชมพูเข้ม ซึ่งเป็นค่า Effective atomic number ของ CaOxMono ดังนั้น ก้อนนิ่วที่วิเคราะห์มีส่วนประกอบเป็นนิ่วเป็น CaOxMono มากที่สุด



กราฟแท่งสีเหลืองคือ ก้อนนิ่ว มีกราฟ 3 แท่ง แสดงให้เห็นว่าในก้อนนิ่วนั้นมีส่วนประกอบของนิ่วหลายชนิด จากการวัด ROI มีค่า Effective atomic number (effective-Z) ใกล้เคียงกับกราฟแท่งสีชมพูเข้ม และกราฟแท่งสีเขียว แสดงให้เห็นว่านิ่วที่ทำการวิเคราะห์มีส่วนประกอบของนิ่ว CaOxMono และ CaOxDi

6. Revolution™ CT. User Manual Operation documentation revision 3.
7. cuir.car.chula.ac.th/dspace/bitstream/123456789/10308/5/Chirasak_Ch_ch2.pdf
8. T.R.C Johnson et al, Dual Energy CT in Clinical Practice, Medical Radiology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011
9. GE Healthcare. AW VolumeShare™ 5 User Guide, 2011