

## บทความวิจัย

การประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยวัยผู้ใหญ่ได้รับจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องที่โรงพยาบาลศิริราช

Assessment of Adult Patient Dose Underwent CT-abdomen Examination  
At Siriraj Hospital

จุฬาลักษณ์ บุญมา	วท.บ. รังสีเทคนิค
สุภาวดี ครุวนารินทร์	วท.บ. รังสีเทคนิค
วินัส วิเศษแสง	วท.บ. รังสีเทคนิค

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยวัยผู้ใหญ่ได้รับจากการตรวจซีทีช่องท้อง ณ โรงพยาบาลศิริราชและเปรียบเทียบกับระดับรังสีอ้างอิงตามคำแนะนำของหน่วยงานสากลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี 2008 ถึง 2017 จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ GE จำนวน 3 รุ่น ได้แก่ Lightspeed VCT 64 slices , Discovery 750 HD 64 slices และ Revolution REV 256 slices ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีได้แก่ ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร (CTDI<sub>vol</sub>) , ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน (DLP) และความหนาส่วนช่องท้อง จากผู้ป่วยจำนวน 1000 คน แบ่งเป็น 10 กลุ่มตามโปรโตคอล ได้แก่ ช่องท้องส่วนบน, ช่องท้องส่วนล่าง, ช่องท้องทั้งหมด, ตับ 2 เฟส, ตับ 3 เฟส, ต่อมหมวกไต, ลำไส้, ไต, ถุงน้ำดี และระบบทางเดินปัสสาวะ นอกจากนี้ยังได้ประมาณค่าปริมาณรังสียังผล (D<sub>eff</sub>) และค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด (SSDE) อีกด้วย ค่า CTDI<sub>vol</sub>, DLP, D<sub>eff</sub> และ SSDE ที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 ถูกนำไปประเมินปริมาณรังสี

ผลการทดลอง ค่า CTDI<sub>vol</sub>, DLP และ D<sub>eff</sub> ของโปรโตคอลส่วนใหญ่ต่ำกว่าระดับรังสีอ้างอิงที่แนะนำ ยกเว้น การตรวจลำไส้แบบใช้สารทึบรังสี การตรวจระบบทางเดินปัสสาวะแบบไม่ใช้สารทึบรังสี การตรวจตับ 3 เฟส และการตรวจช่องท้องทั้งหมด การศึกษานี้ยังพบว่าไม่มีข้อมูลเชิงเปรียบเทียบสำหรับค่า SSDE

สรุป ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีกับระดับรังสีอ้างอิงแสดงให้เห็นว่าควรมีการทบทวนในบางโปรโตคอล

คำสำคัญ ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร, ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน, ค่าปริมาณรังสียังผล

## บทนำ

การถ่ายภาพทางรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เป็นวิธีการตรวจวินิจฉัยรอยโรคที่ได้รับ ความนิยมอย่างแพร่หลาย ปัจจุบันพบว่าอัตราการส่งตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ตามโรงพยาบาล ทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัดมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการตรวจที่รวดเร็วกว่าการตรวจด้วยเครื่องสนามแม่เหล็กหรือเอ็มอาร์ไอ และให้ผลการวินิจฉัยที่ถูกต้องแม่นยำในระดับปานกลางไปจนถึงระดับสูง อย่างไรก็ตาม ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์อยู่ในระดับที่สูงกว่าการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป และยังคงเป็นเครื่องถ่ายภาพทางรังสีที่ต้องเฝ้าระวังด้านการกำหนดเทคนิคการให้ปริมาณรังสีแก่ผู้ป่วยที่ไม่ควรเกินระดับรังสีอ้างอิงทางวินิจฉัย (Diagnostic Reference Levels; DRLs) ตามคำแนะนำของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency; IAEA)

โรงพยาบาลศิริราชในฐานะที่เป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ของประเทศมีนโยบายในการเฝ้าระวังการกำหนดเทคนิคการให้ปริมาณรังสีแก่ผู้ป่วยไม่ให้เกินค่า DRLs ที่องค์การสากลและงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องแนะนำมาโดยตลอด แต่ทว่า ยังไม่มีข้อมูลเชิงประจักษ์ด้านการประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนห้องที่องจำแนกตามโปรโตคอล อีกทั้งยังไม่พบงานวิจัยด้านการศึกษาหาค่า DRLs ในภาพรวมของประเทศไทย จึงมุ่งหวังที่จะศึกษาเพื่อให้เป็นหนึ่งในงานวิจัยที่ผู้สนใจสามารถนำไปอ้างอิงได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนห้องที่อง โรงพยาบาลศิริราช
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับกับระดับรังสีอ้างอิงตามคำแนะนำของหน่วยงานสากล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์[1]

ตัวชี้วัดเชิงปริมาณของการประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ได้แก่ 1) ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร 2) ผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน 3) ปริมาณรังสียังผล และ 4) ค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด

## ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร

ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร (Volumetric Computed Tomography Dose Index; CTDI<sub>vol</sub>) คือ ปริมาณรังสีดูดกลืนในเนื้อเยื่อผู้ป่วยต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีหน่วยเป็น มิลลิ-เกรย์ (mGy) เป็นผลรวมของปริมาณรังสีดูดกลืนในแต่ละสไลด์การตรวจที่ทำได้จากการวัดปริมาณรังสีดูดกลืนในหุ่นจำลองตัดขวาง (Cross-sectional phantom) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สำหรับการตรวจศีรษะ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร สำหรับการตรวจส่วนอื่น ๆ ที่มีขนาดใหญ่ เช่น ศีรษะวัยผู้ใหญ่, ทรวงอก, ช่องท้อง เป็นต้นด้วยตัวจับรังสีชนิดเทอร์โมลูมิเนสเซนส์ (Thermoluminescent dosimeter; TLD) จำนวน 5 ชั้น

โดยใส่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางหุ่นจำลอง 1 ชั้น และรอบนอกบริเวณใต้พื้นผิวหุ่นจำลอง 10 เซนติเมตรอีก 4 ชั้น

ปริมาณรังสีดูดกลืนในแต่ละสไลด์ มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ค่าดัชนีรังสีซีที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted CTDI;  $CTDI_w$ ) เกิดจากแนวคิดที่ว่า ปริมาณรังสีดูดกลืนรอบนอกมีค่าไม่เท่ากับปริมาณรังสีดูดกลืนตรงกลางหุ่นจำลอง สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$CTDI_w = \left( \frac{1}{3} CTDI_{central} + \frac{2}{3} CTDI_{peripheral} \right) \dots\dots(1)$$

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ค่า  $CTDI_{vol}$  เกิดจากการรวมกันของค่า  $CTDI_w$  ในแนวแกนตามความยาวลำตัว (Z-direction) ในทางทฤษฎีจะเป็นการหาพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชัน  $CTDI_w$  ตามแนวแกน Z ด้วยเทคนิคอินทิกรัลซึ่งไม่สะดวกในทางปฏิบัติ จึงได้มีการศึกษาหาสัมพัทธ์แบบใหม่ โดยจะแตกต่างกันตามโหมดการสแกน

สำหรับการสแกนด้วยโหมด Axial ค่า  $CTDI_{vol}$  สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$CTDI_{vol} = \frac{N \cdot T}{I} \cdot CTDI_w \dots\dots(2)$$

โดย  $N$  คือ จำนวนสไลด์ต่อการหมุนของหลอดเอกซเรย์ครบรอบ,  $T$  คือ ความหนาสไลด์ในหน่วยเซนติเมตร,  $I$  คือระยะการเลื่อนของเตียงต่อการหมุนครบรอบของหลอดเอกซเรย์

สำหรับการสแกนด้วยโหมด Helical ค่า  $CTDI_{vol}$  สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$CTDI_{vol} = \frac{1}{pitch} \cdot CTDI_w \dots\dots(3)$$

โดยพิชต์ (Pitch) คือ ระยะการเลื่อนของเตียงต่อการหมุนครบรอบของหลอดเอกซเรย์

*ผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน*

ผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน (Dose Length Product; DLP) คือ ปริมาณรังสีดูดกลืนในเนื้อเยื่อผู้ป่วยตลอดช่วงความยาวสแกน สามารถหาได้จากสมการที่ (4)

$$DLP = CTDI_{vol} \cdot L \dots\dots(4)$$

โดย  $L$  คือ ความยาวสแกนทั้งหมด หน่วยเป็นเซนติเมตร ดังนั้นค่า DLP จึงมีหน่วยเป็นมิลลิเกรย์เซนติเมตร (mGy.cm)

*ปริมาณรังสียังผล*

ปริมาณรังสียังผล (Effective dose;  $D_{eff}$ ) คือ ผลรวมปริมาณรังสีที่อวัยวะไวต่อรังสีสามารถดูดกลืนพลังงานรังสีไว้ได้ สามารถหาได้จากสมการที่ (5)

$$D_{eff} = \sum_T W_T H_T \dots\dots(5)$$

โดย  $W_T$  คือปัจจัยเนื้อเยื่อถ่วงน้ำหนัก (Tissue weighting factor) และ  $H_T$  คือรังสีสมมูลเนื้อเยื่อเฉพาะ (Tissue-specific equivalent dose)

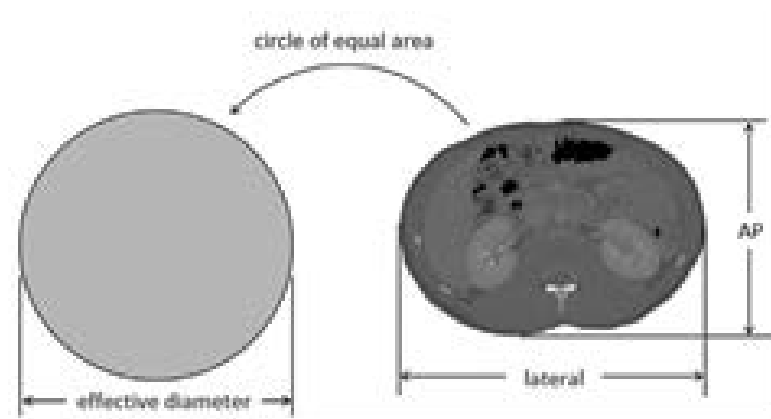
จากสมการที่ (5) จะเห็นว่า การคำนวณค่าปริมาณรังสียังผลค่อนข้างยุ่งยากในทางปฏิบัติ ทางสมาคมนักฟิสิกส์แห่งอเมริกา (American Association of Physicists in Medicine; AAPM) ได้ออกเอกสารฉบับที่ 96 เพื่อแนะนำวิธีคำนวณอย่างง่ายสำหรับค่านี้ โดยให้คำนวณจากผลคูณระหว่างค่าแก้ปัจจัยเค (k-factor) และค่า DLP โดยค่า k-factor มีหน่วยมิลลิซีเวิร์ตต่อมิลลิเกรย์-เซนติเมตร สามารถจำแนกได้ตามช่วงอายุผู้ป่วยและส่วนการตรวจ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 ค่าแก้ปัจจัยเกที่แนะนำโดย AAPM ฉบับที่ 96[2]

ส่วนที่ตรวจ	ค่าแก้ปัจจัยเก (mSv mGy <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )				
	0-1 ปี	1-5 ปี	5-10 ปี	10-15 ปี	>15 ปีขึ้นไป
ศีรษะและคอ	0.013	0.0085	0.0057	0.0042	0.0031
ศีรษะ	0.011	0.0067	0.0040	0.0032	0.0021
คอ	0.017	0.012	0.011	0.0079	0.0059
ทรวงอก	0.039	0.026	0.018	0.013	0.014
ช่องท้อง	0.049	0.030	0.020	0.015	0.015

ตาราง 2 ตารางแสดงระดับปริมาณรังสีอ้างอิงของแต่ละประเทศในการถ่ายเอกซเรย์บริเวณช่องท้องแบบไม่ใช้สารทึบรังสี[5-15]

Without contrast	ACR DIR 2016	ACR- AAPM 2013	NC RP 2012	JP 2015	EU 2014	UK 2014	IE 2012	AU 2011	CA 2016	NL 2012	GR 2014
CTDIvol	16	25	25	20	25	15	12	15	18	15	16
DLP	781			1000	800	745	600	700	874	700	760



รูป 1 การวัดความยาวด้าน AP และด้าน LAT ของภาพตัดขวางเพื่อนำมาคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยังผล

**ค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด**

ค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด (Size Specific Dose Estimate; SSDE) คือปริมาณรังสีดูดกลืนที่ผู้ป่วยแต่ละคนได้รับจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เป็นปริมาณรังสีตัวใหม่ที่ AAPM กลุ่มที่ 204 แนะนำ สามารถหาได้จากผลคูณระหว่างค่าแก้ปัจจัยเอฟ (f-factor) และค่า CTDI<sub>vol</sub> สำหรับค่า f-factor ได้มาจากการเปิดตารางเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยังผล (Effective diameter;  $\phi_{eff}$ ) [3] ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$\phi_{eff} = \sqrt{L_{AP} \times L_{LAT}} \dots\dots\dots(6)$$

โดย  $L_{AP}$  คือ ความยาวที่วัดในภาพตัดขวางด้านหน้า-หลัง (Anterior-Posterior; AP) และ  $L_{LAT}$  คือ ความยาวที่วัดในภาพตัดขวางด้านข้าง (Lateral; LAT) การวัดความยาวในภาพตัดขวางทั้งสองแนวควรเลือกภาพที่บริเวณกึ่งกลางชุดสไลด์ของส่วนที่ตรวจ และควรใช้ Digital calipers ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความยาวในระบบแพคเกจมีความแม่นยำกว่าการวัดจากตัวผู้ป่วยโดยทั่วไป การวัดความยาวในภาพทั้งสองแนวจะวัดในส่วนที่ตรวจอื่นๆ ทั่วร่างกาย ยกเว้นศีรษะ ดังแสดงในรูปที่ 1

**ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ [1]**

1. ค่าความต่างศักย์ของหลอดเอกซเรย์ (Tube voltage) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงพลังงานเอกซเรย์ มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ (kVp) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ

2. ค่ากระแสหลอดของหลอดเอกซเรย์ (Tube current) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงจำนวน

โฟตอนที่ออกมาจากหลอดเอกซเรย์ มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ (mA) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ

3. เวลาในการหมุน (Rotation time) คือ เวลาที่ใช้ในการสแกนครบ 1 รอบ มีหน่วยเป็นวินาที (s)โดยทั่วไป เวลาในการหมุนจะนำไปคูณกับค่ากระแสหลอดทำให้ได้ค่า mAS มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์-วินาทีซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ในทางปฏิบัติ ควรเลือกใช้ค่ากระแสหลอดที่มากและเวลาในการหมุนที่น้อยลง ทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้นเนื่องจากสัญญาณรบกวน (Noise) ลดลง

4. ความยาวสแกนทั้งหมด (Total scan length) คือ ความยาวในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปสร้างภาพทั้งหมดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ

5. ความหนาสไลด์ (Slice thickness) คือความหนาของชั้นภาพ ซึ่งจะถูกจำกัดโดยความหนาของตัวรับรังสี (Detector element) และจะเป็นสัดส่วนแบบผกผันกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ กล่าวคือถ้าลดความหนาสไลด์ลง จะทำให้คุณภาพของภาพไม่ดีเนื่องจากมีอัตราส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio; SNR) ที่ต่ำ หรือสัญญาณรบกวนสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มการตั้งค่าของปัจจัยอื่น ๆ มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับสูงขึ้นตามไปด้วย

6. พิชต์ (Pitch) คือ อัตราส่วนระยะการเลื่อนของเตียงเมื่อหลอดเอกซเรย์หมุนครบต่อความหนาสไลด์ที่เก็บข้อมูลจะใช้เฉพาะการตรวจโหมด Helical เท่านั้น โดยค่าพิชต์จะแปรผกผันกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วย

ได้รับ กล่าวคือ ถ้าตั้งค่าพิชต์มาก ( $>1$ ) จะช่วยลดสิ่งแปลกปลอมเนื่องจากการเคลื่อนไหวของตัวผู้ป่วย (Motion artifact) และลดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับอีกด้วย แต่ถ้าวัดค่าพิชต์น้อย ( $<1$ ) จะช่วยเพิ่มสัญญาณภาพเนื่องจากมีการซ้อนทับกันของข้อมูล แต่จะทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีสูงตามไปด้วย

#### ระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย[4]

ระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย (Diagnostic Reference Levels; DRLs) คือ การบอกระดับปริมาณรังสีด้วยหลักสถิติเพื่อให้คำแนะนำการตั้งค่าทางเทคนิคการให้ปริมาณรังสีสำหรับการตรวจทางรังสีวินิจฉัยให้กับผู้ป่วยอย่างเหมาะสมและยืดหยุ่นได้ ทั้งนี้ยังคงคำนึงถึงคุณภาพของภาพที่เพียงพอต่อการวินิจฉัยด้วย สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมระดับ DRL ที่งานวิจัยต่าง ๆ แนะนำ ดังนี้

#### วัตถุประสงค์

1. ข้อมูลปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจส่วนช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ GE จำนวน 3 รุ่น ได้แก่ รุ่น Lightspeed VCT 64 Slices จำนวน 1 เครื่อง, Discovery 750 HD จำนวน 2 เครื่อง, GE รุ่น Revolution REV 256 slices จำนวน 1 เครื่องของโรงพยาบาลศิริราช
2. โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล

#### วิธีการทดลอง

1. เก็บข้อมูลผู้ป่วยวัยผู้ใหญ่ (อายุ 15 ปีขึ้นไป) ที่ได้รับการตรวจส่วนช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์

คอมพิวเตอร์จำนวน 1,000 ราย บนหน้ารายงานปริมาณรังสี (dose report) ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2008 ถึงเดือนพฤศจิกายน ปี 2017 โดยเก็บตามโปรโตคอลที่สนใจจำนวน 10 โปรโตคอลได้แก่ ช่องท้องส่วนบน, ช่องท้องส่วนล่าง, ช่องท้องทั้งหมด, ตับ 2 เฟส, ตับ 3 เฟส, ต่อมหมวกไต, ไต, ลำไส้, ทางเดินปัสสาวะ, และถุงน้ำดี ทำการเก็บข้อมูลในแต่ละโปรโตคอลเท่ากับ 100 ราย ซึ่งมีขั้นตอนในการเข้าถึงหน้ารายงานปริมาณรังสีดังนี้

- เข้าสู่ระบบ PACS ของโรงพยาบาลโดยการกดเลือกที่โปรแกรม Synaps
  - กดเลือก All Studies
  - เลือกชนิดเครื่องมือทางรังสีวิทยาในช่อง Modality ในที่นี้เลือกเป็น “CT”
  - เลือกโปรโตคอลที่ต้องการในช่อง Proc description
  - เปิดหน้ารายงานปริมาณรังสี โดยเลือก Series Thumbnails
  - กดเลือกหน้า Dose report จะปรากฏข้อมูลดังตัวอย่างในรูปที่ 2
2. บันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ที่ปรากฏบนหน้ารายงานปริมาณรังสีลงในโปรแกรม Microsoft Excel ได้แก่ ความต่างศักย์หลอดสูงสุด (kVp), ผลคูณกระแสหลอดกับเวลา (mAS), ระยะเวลา (Scan range) ในหน่วยมิลลิเมตร, ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร (Volumetric Computed Tomography Dose Index;  $CTDI_{vol}$ ) ในหน่วยมิลลิเกรย์, ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับระยะเวลา (Dose Length Product; DLP) ในหน่วยมิลลิเกรย์-เซนติเมตร

ตาราง 3 ตารางแสดงระดับปริมาณรังสีอ้างอิงของแต่ละประเทศในการถ่ายเอกซเรย์บริเวณช่องท้องแบบใช้สารทึบรังสี [5-15]

With contrast	ACR DIR 2016	ACR- AAPM 2013	NC RP 2012	JP 2015	EU 2014	UK 2014	IE 2012	AU 2011	CA 2016	NL 2012	GR 2014
CTDIvol	16	25	25	20	25	15	12	15	18	15	16
DLP	781			1000	800	745	600	700	874	700	760

ตาราง 4 ตารางแสดงระดับปริมาณรังสียังผลในระดับสากลสำหรับการถ่ายเอกซเรย์บริเวณช่องท้อง [16-18]

	Effective Dose (mSv)
Rebecca Smith-Bindman (2008)	31
Five University of California Medical Centers (2015)	32
American College of Radiology (2017)	20

Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
<b>Scout</b>					
1	Scout	560-1350	0.06	2.33	Body 32
1	Scout	560-1350	0.06	2.33	Body 32
<b>Pre Contrast</b>					
2	Helical	528.116-1255.633	11.56	399.43	Body 32
<b>Pancreatic Phase</b>					
3	Helical	528.116-1255.633	11.56	399.42	Body 32

รูป 2 ตัวอย่างหน้ารายงานปริมาณรังสี



รูป 3 การวัดขนาดช่องท้องในแนวหน้า-หลัง และแนวข้างลำตัว

3. นำค่า DLP มาคำนวณปริมาณรังสียังผล (Effective Dose;  $D_{eff}$ ) โดยใช้ค่าแก้ปัจจัยเท่ากับ 0.0015 มาคูณกับค่า DLP

4. ทำการวัดขนาดช่องท้องทั้งในแนวหน้า-หลัง (AP) และแนวข้างลำตัว (LAT) ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่าประมาณรังสีเฉพาะขนาด (Size-Specific Dose Estimate; SSDE) โดยมีขั้นตอนในการหาค่า SSDE ดังนี้

- เลือกภาพกึ่งกลางของชุดการตรวจ ทำการวัดขนาดช่องท้องทั้งสองแนวเป็นจำนวน 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 3
- นำขนาดช่องท้องทั้งสองแนว (แนว AP และ LAT) มาคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยังผล (Effective Diameter;  $\phi_{eff}$ ) ดังสมการที่ 7

$$\phi_{eff} = \sqrt{AP \times LAT} \dots\dots\dots(7)$$

- นำค่า  $\phi_{eff}$  ไปเปิดภาพที่ 2.1 และ 2.2 เพื่อได้ค่าแก้ปัจจัย
- นำค่าแก้ปัจจัยคูณกับค่า  $CTDI_{vol}$  ที่เก็บได้จากข้อ 2 จะได้ค่า SSD

5. นำค่า  $CTDI_{vol}$  และ DLP จากข้อ 2, ค่า  $D_{eff}$  จากข้อ 3. และ SSDE จากข้อ 4. ไปหาค่าตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย (Diagnostic Reference Levels; DRLs) ของหน่วยงานสากลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**ผลการศึกษา**

การศึกษานี้เป็นการประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ตามโปรโตคอลการตรวจทั้งหมด 10

โปรโตคอล ได้แก่ ช่องท้องส่วนบน (Upper), ช่องท้องส่วนล่าง (Lower), ช่องท้องทั้งหมด (Whole), ดับ 2 เฟส (Dual), ดับ 3 เฟส (3 Phase), ต่อมหมวกไต (Adrenal), ไต (Kidney), ลำไส้ใหญ่ (Colono), ทางเดินปัสสาวะ (Uro) และถุงน้ำดี (Stone) โดยมีเทคนิคการสแกนที่แตกต่างกันในแต่ละโปรโตคอล ดังตารางที่ 5

การเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ

1. ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร (CTDIvol)

เมื่อทำการหาค่า CTDIvol ตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 พบว่า เมื่อไม่ใช้สารทึบรังสีจะอยู่ในช่วง 9.1-11.6 mGy และเมื่อใช้สารทึบรังสีจะอยู่ในช่วง 11.6-15.4 mGy ดังตารางที่ 6

ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตรถูกนำมาเปรียบเทียบกับระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย (DRL) ที่แนะนำโดยหน่วยงานสากลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 11 แหล่งอ้างอิงสำหรับการตรวจช่องท้องแบบไม่ฉีดสารทึบรังสี พบว่า ไม่มีโปรโตคอลใดที่มีค่า เกินค่าระดับรังสีอ้างอิง (DRLs) ดังแสดงในรูปที่ 5 แต่สำหรับการตรวจช่องท้องแบบฉีดสารทึบรังสี พบว่า มีเพียงโปรโตคอลการตรวจลำไส้ใหญ่เท่านั้นที่มีค่าเกินระดับรังสีอ้างอิงของ ACR DIR, UK, Ireland, Australia และ The Netherland ดังแสดงในรูปที่ 6

ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน (DLP)

เมื่อทำการหาค่า DLP ตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 พบว่า เมื่อไม่ใช้สารทึบรังสีจะอยู่ในช่วง 376.17-618.55 mGy-cm และเมื่อใช้สารทึบรังสีจะอยู่ในช่วง 376.21- 707.22 mGy-cm ดังตารางที่ 7

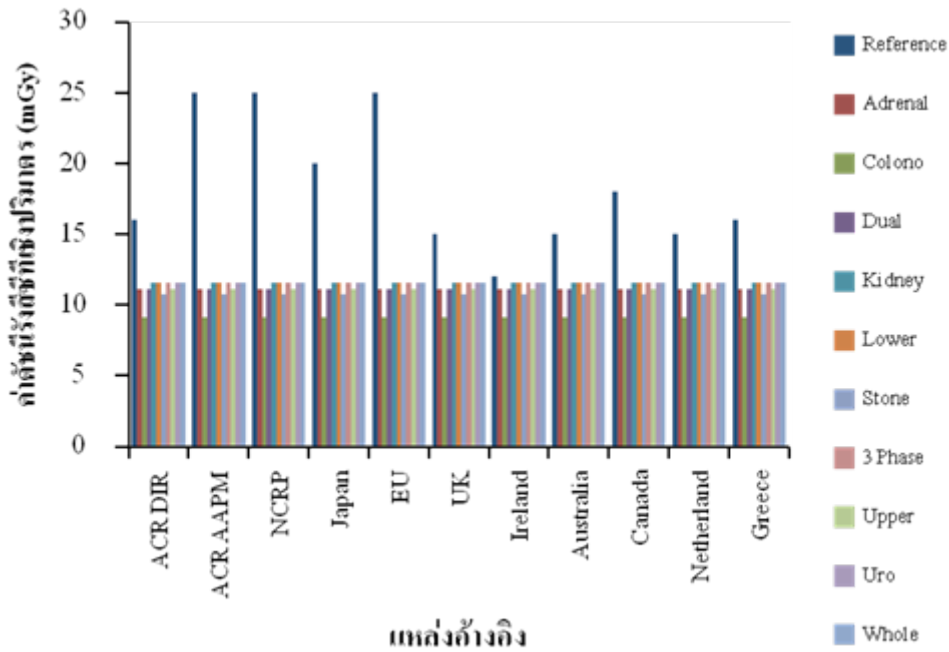


ตาราง 5 รายละเอียดในแต่ละโปรโตคอลการตรวจ

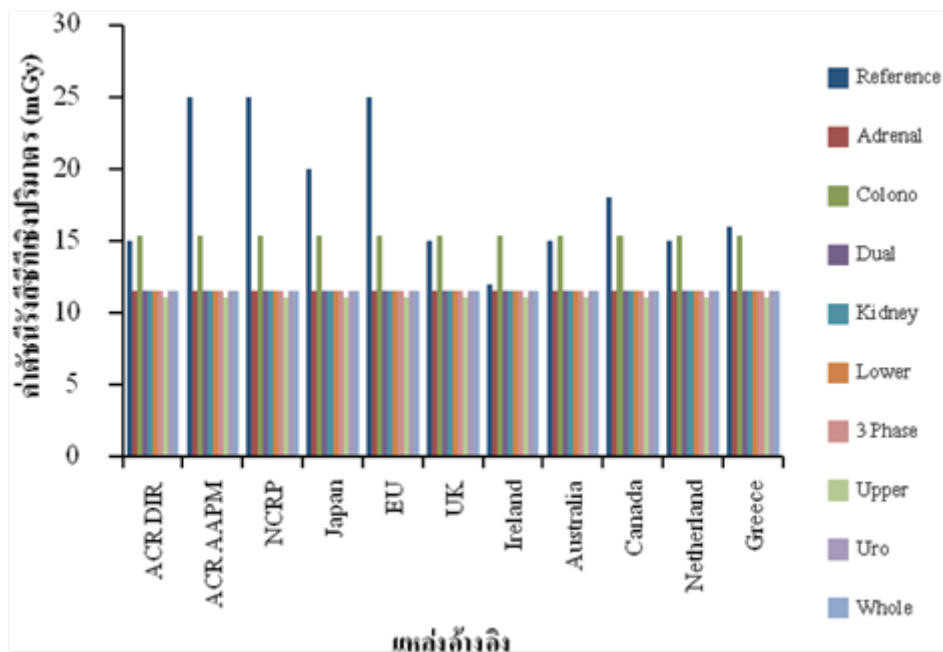
จำนวนชุด	ความหนาสไลด์ (มิลลิเมตร)	พิชต์	เวลาในการหมุน 1 รอบ (วินาที)	kVp	mAs
โปรโตคอล: ช่องท้องส่วนบน, ช่องท้องส่วนล่าง, ช่องท้องทั้งหมด, ดับ 2 เฟส, ต่อมหมวกไต, ไต, ลำไส้ใหญ่ และทางเดินปัสสาวะ					
3	1.25	1.375:1	0.5	120	400
โปรโตคอล: ดับ 3 เฟส					
4	1.25	1.375:1	0.5	120	400
โปรโตคอล: ถุงน้ำดี					
1	5	1.375:1	0.7	80-140	400

ตาราง 6 ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาณของโปรโตคอลต่าง ๆ เมื่อใช้และไม่ใช้สารทึบรังสี

โปรโตคอล	ค่าดัชนีรังสีเชิงปริมาณ (mGy)	
	ไม่ใช้สารทึบรังสี	ใช้สารทึบรังสี
ช่องท้องส่วนบน	11.1	11.1
ช่องท้องส่วนล่าง	11.6	11.6
ช่องท้องทั้งหมด	11.6	11.6
ดับ 2 เฟส	11.1	11.6
ดับ 3 เฟส	11.6	11.6
ต่อมหมวกไต	11.6	11.6
ไต	11.6	11.6
ลำไส้ใหญ่	9.1	15.4
ทางเดินปัสสาวะ	11.6	11.6
ถุงน้ำดี	10.8	-



รูป 5 การเปรียบเทียบค่าดัชนีรังสีที่เชิงปริมาณกับงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งหมด 11 แหล่งอ้างอิงตามโปรโตคอลแบบไม่ฉีดสารทึบรังสี



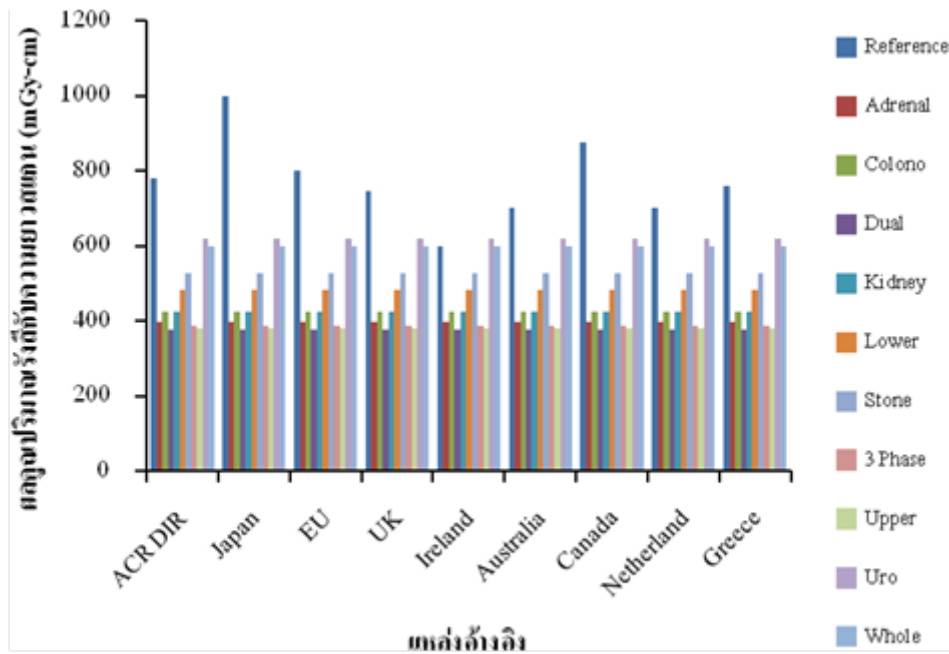
รูป 6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีรังสีที่เชิงปริมาณกับงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งหมด 11 แหล่งอ้างอิงตามโปรโตคอลแบบฉีดสารทึบรังสี

ตาราง 7 ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกนของโปรโตคอลต่าง ๆ เมื่อใช้และไม่ใช้สารทึบรังสี

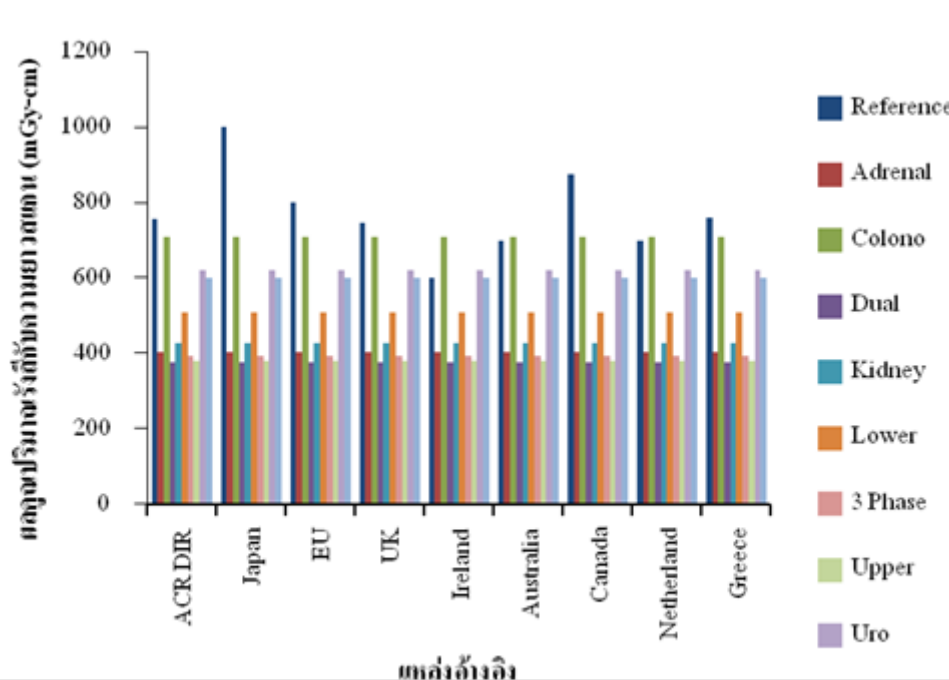
โปรโตคอล	ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน (mGy-cm)	
	ไม่ใช้สารทึบรังสี	ใช้สารทึบรังสี
ช่องท้องส่วนบน	378.08	380.45
ช่องท้องส่วนล่าง	482.50	506.85
ช่องท้องทั้งหมด	597.16	601.21
ดับ 2 เฟส	376.17	376.21
ดับ 3 เฟส	386.73	393.99
ต่อมหมวกไต	397.83	402.53
ไต	423.70	426.88
ลำไส้ใหญ่	423.80	707.22
ทางเดินปัสสาวะ	618.55	620.38
ถุงน้ำดี	526.48	-

ตาราง 8 ค่าปริมาณรังสียังผลของโปรโตคอลต่าง ๆ เมื่อใช้และไม่ใช้สารทึบรังสี

โปรโตคอล	ปริมาณรังสียังผล (mSv)
ช่องท้องส่วนบน	17.18
ช่องท้องส่วนล่าง	18.91
ช่องท้องทั้งหมด	21.21
ดับ 2 เฟส	16.94
ดับ 3 เฟส	23.26
ต่อมหมวกไต	18.08
ไต	19.33
ลำไส้ใหญ่	15.59
ทางเดินปัสสาวะ	27.95
ถุงน้ำดี	7.90



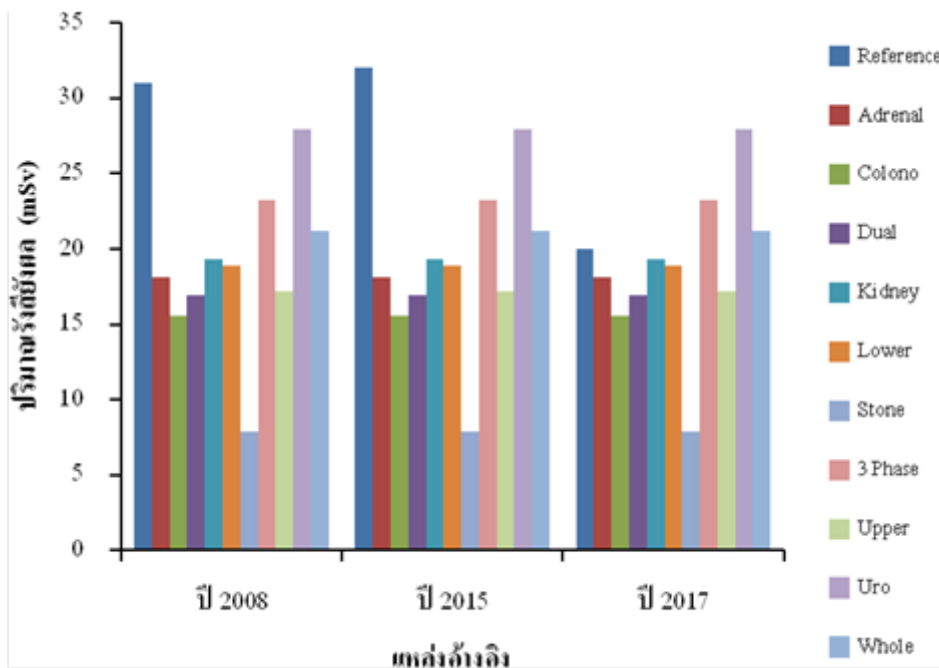
รูป 7 การเปรียบเทียบค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกนกับงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งหมด 11 แหล่งอ้างอิงตามโปรโตคอลแบบไม่ฉีดสารทึบรังสี



รูป 8 การเปรียบเทียบค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกนกับงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งหมด 11 แหล่งอ้างอิงตามโปรโตคอลแบบฉีดสารทึบรังสี

ตาราง 9 ค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาดของโปรโตคอลต่าง ๆ เมื่อใช้และไม่ใช้สารทึบรังสี

โปรโตคอล	ค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด (SSDE)	
	แบบไม่ใช้สารทึบรังสี	แบบใช้สารทึบรังสี
ช่องท้องส่วนบน	18.1	18.1
ช่องท้องส่วนล่าง	17.1	17.7
ช่องท้องทั้งหมด	17.1	17.1
ดับ 2 เฟส	16.9	17.0
ดับ 3 เฟส	16.5	17.1
ต่อมหมวกไต	13.0	16.8
ไต	18.1	18.2
ลำไส้ใหญ่	13.0	22.3
ทางเดินปัสสาวะ	16.6	16.7
ถุงน้ำดี	16.46	-



รูป 9 การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีซึ่งผลกับงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งหมด 11 แหล่งอ้างอิงตามโปรโตคอลแบบฉีดสารทึบรังสี

ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกนถูกนำมาเปรียบเทียบกับระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย (DRLs) ที่แนะนำโดยหน่วยงานสากลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 11 แห่งอ้างอิงสำหรับการตรวจช่องท้องแบบไม่ฉีดสารทึบรังสี พบว่า มีเพียงโปรโตคอลทางเดินปัสสาวะเท่านั้นที่มีค่าเกินค่าระดับรังสีอ้างอิงของ Ireland ดังแสดงในรูปที่ 7 แต่สำหรับการตรวจช่องท้องแบบฉีดสารทึบรังสี พบว่า มี 3 โปรโตคอลที่มีค่าเกินระดับรังสีอ้างอิง ได้แก่ 1) โปรโตคอลช่องท้องทั้งหมด 2) โปรโตคอลทางเดินปัสสาวะ มีค่าเกินค่าระดับรังสีอ้างอิงของ Ireland และ 3) โปรโตคอลลำไส้ใหญ่ที่มีค่าเกินค่าระดับรังสีอ้างอิงของ Ireland, Australia และ The Netherland ดังแสดงในรูปที่ 8

#### ค่าปริมาณรังสียังผล ( $D_{eff}$ )

เมื่อทำการหาค่า  $D_{eff}$  ตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 อยู่ในช่วง 7.90-23.26 mSv ดังแสดงในตารางที่ 8

ค่าปริมาณรังสียังผลถูกนำมาเปรียบเทียบกับระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย (DRLs) ที่แนะนำโดยหน่วยงานสากลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 แห่งอ้างอิง พบว่ามี 3 โปรโตคอลที่มีค่าเกินกว่าระดับ DRL ได้แก่ ตับ 3 เฟส, ช่องท้องทั้งหมด และทางเดินปัสสาวะ มีค่าเกินค่าระดับรังสีอ้างอิงของ ACR ปี 2017 ดังแสดงในรูปที่ 9

#### ค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด (SSDE)

เมื่อทำการหาค่า SSDE ตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 พบว่า เมื่อไม่ใช้สารทึบรังสีจะอยู่ในช่วง 13.0-18.1 mGy และเมื่อใช้สารทึบรังสีจะอยู่ในช่วง 16.7-22.3

mGy ดังตารางที่ 9 สำหรับค่า SSDE ไม่ได้นำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยใด

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการศึกษารั้งนี้เพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยวัยผู้ใหญ่ได้รับจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนช่องท้องตามโปรโตคอลของโรงพยาบาลศิริราช โดยปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับต่างๆ ได้แก่ ค่าดัชนีรังสีซีทีเชิงปริมาตร ( $CTDI_{vol}$ ), ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวสแกน (DLP), ค่าปริมาณรังสียังผล ( $D_{eff}$ ) และค่าประมาณรังสีจำเพาะขนาด (SSDE) ทั้งฉีดและไม่ฉีดสารทึบรังสีจะถูกประเมินตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และถูกเปรียบเทียบกับระดับรังสีอ้างอิงทางรังสีวินิจฉัย (DRLs) ที่แนะนำจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

#### การประเมินค่า $CTDI_{vol}$

จากการศึกษาไม่พบโปรโตคอลการตรวจใดในโหมคนิคมืดสารทึบรังสีให้ค่า  $CTDI_{vol}$  ที่สูงกว่าระดับ DRLs แนะนำ แต่ในโหมคนิคมืดสารทึบรังสีพบว่า โปรโตคอลการตรวจลำไส้ใหญ่เท่านั้นที่ให้ค่า  $CTDI_{vol}$  สูงกว่าระดับรังสีอ้างอิงของ ACR DIR, UK, Ireland, Australia และ Netherland ทั้งนี้เกิดจากการตั้งค่ากระแสหลอดที่สูง (500 mA) เพื่อให้เห็นรายละเอียดรอยโรคภายในลำไส้ใหญ่ นอกเหนือจากการเห็นลมในลำไส้

#### การประเมินค่า DLP

จากการศึกษาพบว่า โปรโตคอลการตรวจทางเดินปัสสาวะในโหมคนิคมืดสารทึบรังสี ให้ค่า DLP ที่สูงกว่าระดับรังสีอ้างอิงของ Ireland ในทำนองเดียวกันในโหมคนิคมืดสารทึบรังสีพบ 3 โปรโตคอลที่ให้ปริมาณรังสีสูงกว่าระดับ DRLs ได้แก่ 1) การตรวจช่องท้อง

ทั้งหมดให้ปริมาณรังสีสูงกว่า Ireland, 2) การตรวจทางเดินปัสสาวะให้ปริมาณรังสีสูงกว่า Ireland, และ 3) การตรวจลำไส้ใหญ่ให้ปริมาณรังสีสูงกว่า Ireland, Australia และ Netherland ทั้งนี้เกิดจากการเพิ่มระยะสแกนที่มากขึ้นเป็น 602.35, 620.48 และ 707.22 มิลลิเมตร ตามลำดับ ครอบคลุมระดับต่ำลงมาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่คือการเปลี่ยนมาใช้กระแสหลอดแบบอัตโนมัติ (Automatic mA) แทนการใช้กระแสหลอดแบบคงที่ (Fixed mA)

#### การประเมินค่า $D_{eff}$

จากการศึกษาพบ 3 โปรโตคอลได้แก่ ตับ 3 เฟส, ช่องท้องทั้งหมด, และทางเดินปัสสาวะ ที่ให้ปริมาณรังสียังผลที่สูงกว่าระดับ DRL ของ ACR ปี 2017 [18] แนะนำ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี 2008 ในขณะนั้น ทางโรงพยาบาลศิริราชได้ตั้งค่ากระแสหลอดเท่ากับ 500 mA จนกระทั่งในปี 2012 ได้มีการปรับลดการตั้งค่ากระแสหลอดเป็น 400 mA และใช้มาจนถึงปัจจุบันทำให้ค่า  $D_{eff}$  ตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 มีค่าต่ำกว่าระดับ DRLs ที่ที่วิจัยของ Smith-Bindman แนะนำ ในปี 2009[16] และปี 2015[17] ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาดังกล่าว ทำให้โรงพยาบาลศิริราชมีแนวทางที่จะปรับลดการตั้งค่ากระแสหลอดลงอีก 30 เปอร์เซ็นต์ จึงเชื่อว่าค่า  $D_{eff}$  ตรงตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 น่าจะมีค่าต่ำกว่าระดับ DRL ของ ACR ปี 2017 ทั้งนี้ยังคงต้องศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของภาพประกอบกันต่อไป

สาเหตุที่ทำให้โปรโตคอลการตรวจตับ 3 เฟสมีค่าสูงกว่าระดับ DRL เนื่องจากมีการตัดภาพในหลาย ๆ เฟส เพราะรังสีแพทย์ต้องการวินิจฉัยและจำแนกก้อน

เนื้องอกของแต่ละชนิดที่มีความเด่นชัดในเฟสที่แตกต่างกัน จึงทำให้ Total DLP มีค่าสูง ส่งผลให้ค่า  $D_{eff}$  สูงตามไปด้วย

#### การประเมินค่า SSDE

จากการศึกษาพบว่า ค่า SSDE ยังไม่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย จึงยังไม่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

#### สรุปผลการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบปริมาณรังสีกับระดับรังสีอ้างอิงแสดงให้เห็นว่าควรมีการทบทวนในบางโปรโตคอล เพื่อจะทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีที่ลดลงแต่ยังคงคุณภาพของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพื่อการวินิจฉัยโรคได้

#### บรรณานุกรม

1. Mikkellø. Patient Doses for CT Examinations in Denmark [thesis]. Kongens Lyngby: Technical University of Denmark.; 2011.
2. Medicine AAoPi. The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. 2008.
3. American association of physicists in Medicine. Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examination. Report of AAPM task group 204 of the Diagnostic imaging Council CT Committee. 2011.
4. Cynthia M. Diagnostic Reference Levels. 2010 [cited 2017 Nov 17]. from [https:// imagingwise.org/~media/ImageWisely-Files/Medical-Physicist-](https://imagingwise.org/~media/ImageWisely-Files/Medical-Physicist-)

Articles/IW-McCullough-Diagnostic-Reference-Levels.pdf.

5. Kalpana K, Priscilla B, Debapriya S, Mythreyi B, Laura C, Richard M. U.S. Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for 10 Adult CT Examinations [serial on the Internet]. 2017 [cited 2017 Oct 26]. from <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiol.2017161911>

6. American College of Radiology (ACR). ACR-AAPM practice parameter for diagnostic reference levels and achievable doses in medical x-ray imaging. [document on the Internet]. 2013 [cited 2017 Nov 17]. from [http://acr.org/~ /media/ACR/Documents/P GTS/guidelines/Reference\\_Levels\\_Diagnostic\\_Xray.pdf](http://acr.org/~ /media/ACR/Documents/P GTS/guidelines/Reference_Levels_Diagnostic_Xray.pdf).

7. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Reference levels and achievable doses in medical and dental imaging: recommendations for the United States, Report No. 172; 2012.

8. Yonekura Y. Diagnostic reference levels based on latest surveys in Japan – Japan DRLs 2015. [document on the Internet]. 2015 [cited 2017 Nov 17]. Available from <http://radher.jp/J-RIME/report/DRLhoukokusyoEng.pdf>. Published 2015.

9. European Commission (EC). Radiation Protection No. 180 – Diagnostic reference levels in thirty-six European countries (Part 2/2) [document on the Internet]. 2014 [cited 2017 Nov 17]. from

<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/RP180%20part2.pdf>.

10. Conference of Radiation Control Program Directors (CRCPD). Nationwide Evaluation of X-Ray Trends (NEXT): tabulation and graphical summary of 2000 survey of computed tomograph. [document on the Internet]. 2017 [cited 2017 Nov 17]. from <http://cymcdn.com/sites/www.crcpd.org/resource/collection/81C6DB13-25B1-4118-8600-9615624818AA/NEXT2000-CT.pdf>.

11. Foley SJ, McEntee MF, Rainford LA. Establishment of CT diagnostic reference levels in Ireland. Br J Radiol 2012;85(1018):1390–7.

12. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPNSA). Australian National Adult Diagnostic Reference Levels for MDCT [document on the Internet]. 2011 [cited 2017 Nov 17]. Available from <http://arpana.gov.au/services/ndrl/adult.cfm>.

13. Health Canada. Canadian computed tomography survey – national diagnostic reference levels. [document on the Internet]. 2016 [cited 2017 Nov 17]. from <http://healthycanadians.gc.ca/publications/security-securite/canadian-computedtomography-survey-2016-sondagecanadientomodensitometrie/alt/cct-survey-sondage-ct-eng.pdf>.

14. Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS). Diagnostische referentieniveaus in Nederland, [document on the Internet]. 2012 [cited 2017 Nov 17]. from <http://referentieniveau.nl/2012/07/bekijk-hier-het-ncs-r-apport.html>.



15. Simantirakis G, Hourdakakis CJ, Economides S. Diagnostic reference levels and patient doses in computed tomography examinations in Greece. *Radiat Prot Dosimetry* 2015;163(3):319–24.

16. Rebecca S, Jafi L, Ralph M. Radiation Dose Associated With Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer [serial on the Internet]. 2009 [cited 2017 Dec 3]. from <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/fullarticle/415384>.

17. Rebecca S, Michelle M, Nicole W, Thomas N, John B, Christopher C, et al. Radiation Doses in Consecutive CT Examinations from Five University of California Medical Centers [serial on the Internet]. 2015 [cited 2017 Dec 3];277(1):134-42. from <https://pubs.rsna.org/doi/citedby/10.1148/radiol.2015142728>.

18. Radiologyinfo.org. Radiation Dose in X-Ray and CT Exams [document on the Internet].2017 [updated 2017 Feb 8;cited 2017 Nov 17]. from <https://radiologyinfo.org/en/pdf/safety-xray.pdf>