



The Thai Journal of Radiological Technology

Journal homepage: <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/tjrt>



Original Article

การประเมินปริมาณรังสีจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนช่องท้อง ในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา

Assessment of radiation dose from abdominal computed tomography at Maharat Nakhon Ratchasima Hospital

บุญญาพัฒน์ โชคชัย

งานรังสีวินิจฉัย กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา เมืองนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

Boonyapat Chokchai

Department of Radiology, Maharat Nakhonratchasima Hospital, Nakhonratchasima 30000 Thailand

*ผู้รับผิดชอบบทความ: บุญญาพัฒน์ โชคชัย | Corresponding author: Boonyapat Chokchai (boonyapat.pat@gmail.com)

Received: 5 September 2023 | Revised: 17 December 2023 | Accepted: 29 December 2023

Thai J Rad Tech 2023;48(1):110-118

บทคัดย่อ

บทนำ: การตรวจช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีความจำเป็นต่อการวินิจฉัยโรคและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามรังสีเอกซ์เป็นอันตรายต่อเซลล์ในร่างกาย จำเป็นต้องเฝ้าระวังค่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจ **วัตถุประสงค์:** เพื่อประเมินปริมาณรังสีจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน ลำ่ง และช่องท้องทั้งหมด ในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา และเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีอ้างอิงของประเทศรวมถึงประเมินปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้อง ตา และไทรอยด์ **วิธีการศึกษา:** ผู้ป่วยที่ตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน ลำ่ง และช่องท้องทั้งหมด ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน ปี พ.ศ. 2566 และผ่านเกณฑ์คัดเข้า 30 ราย ในแต่ละการตรวจ ติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลดีชนิดนาโนดอทเพื่อวัดปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณตา ไทรอยด์ และช่องท้อง จากนั้นเก็บข้อมูลปริมาณรังสีได้แก่ ค่าดัชนีปริมาณรังสีเชิงปริมาตรของซีที (CTDI_{vol}) ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวของการสแกน (DLP) และผลรวม DLP และคำนวณค่าปริมาณรังสียังผล **ผลการศึกษา:** ค่า CTDI_{vol} (13.45 มิลลิเกรย์) ค่า DLP (714.19 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร) ค่าผลรวม DLP (2575.20 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร) และค่าปริมาณรังสียังผล (38.50 มิลลิซีเวิร์ต) มีค่ามากที่สุดจากการตรวจด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนช่องท้องทั้งหมด ค่า CTDI_{vol} และ DLP จากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน และช่องท้องทั้งหมด มีค่าไม่เกินค่าปริมาณรังสีอ้างอิงของประเทศไทย ปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณเลนส์ตา (0.88 ± 0.19 มิลลิเกรย์) ต่อมไทรอยด์ (1.28 ± 0.23 มิลลิเกรย์) และช่องท้อง (36.98 ± 1.54 มิลลิเกรย์) จากการตรวจเอกซเรย์ช่องท้องทั้งหมดมีค่ามากที่สุดเช่นกัน **สรุปผลการศึกษา:** ค่า CTDI_{vol} และ DLP ที่ได้จากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องของผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา มีค่าต่ำกว่าปริมาณรังสีอ้างอิงของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลที่ใช้ในการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนและช่องท้องทั้งหมดของผู้ป่วยเหมาะสม

คำสำคัญ: เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้อง, ค่าดัชนีปริมาณรังสีเชิงปริมาตรของซีที, ค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวของการสแกน, ค่าปริมาณรังสียังผล, ค่าปริมาณรังสีวินิจฉัยอ้างอิง

Abstract

Background: Abdominal computed tomography (CT) plays a crucial role in a diagnosis of disease and continually increases. However, X-ray radiation is harmful and requires a careful monitoring of patient radiation dose obtained from this procedure.

Objectives: This study aimed to determine patient radiation dose from upper abdomen CT, lower abdomen CT and whole abdomen CT at Maharat Nakhon Ratchasima Hospital and compare this data with national diagnostic reference levels (NDRLs). Moreover, the evaluation of entrance surface air kerma (ESAK) of abdomen, eyes, and thyroid were performed.

Methods: Patients who had undergone upper abdomen CT, lower abdomen CT, and whole abdomen CT (30 patients for each examination) between February and April 2023, and met the inclusion criteria, were recruited. The nanoDot optically stimulated luminescence dosimeters (OSLDs) were placed on patient's skin at the eyes, thyroid, and abdomen to measure the ESAK. The radiation dose parameters including volumetric CT dose index ($CTDI_{vol}$), dose length product (DLP), total DLP were recorded. Furthermore, an effective dose was calculated. **Results:** The highest values of $CTDI_{vol}$ (13.45 mGy), DLP (714.19 mGy.cm), total DLP (2575.20 mGy.cm), and effective dose (38.50 mSv) were obtained from the whole abdomen CT examination. However, $CTDI_{vol}$ and DLP values for upper abdomen CT and whole abdomen CT were lower than the NDRLs. The highest ESAK values were consequently observed for the eyes (0.88 ± 0.19 mGy), thyroid (1.28 ± 0.23 mGy), and abdomen (36.98 ± 1.54 mGy) for the whole abdomen CT examination. **Conclusion:** The $CTDI_{vol}$ and DLP values obtained from abdominal CT at Maharat Nakhon Ratchasima Hospital were within the NDRLs, indicating that our abdominal CT protocols for both upper abdomen and whole abdomen can be used to examine patients appropriately.

Keywords: Abdominal CT, Volumetric CT dose index, Dose length product, Effective dose, Diagnostic reference levels

บทนำ

ปัจจุบันการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed tomography; CT) เป็นการตรวจที่เห็นอวัยวะภายในร่างกายของผู้ป่วยได้ชัดเจนช่วยให้แพทย์วินิจฉัยโรคได้ถูกต้องและแม่นยำ และจากข้อมูลของ Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) ได้รายงานถึงแนวโน้มการตรวจด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนต่างๆ ของร่างกายที่เพิ่มมากขึ้น^[1] ซึ่งการตรวจทางรังสีวินิจฉัยด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นั้นผู้ป่วยจะได้รับปริมาณรังสีที่สูง โดยเฉพาะการตรวจเอกซเรย์ส่วนช่องท้องและเชิงกราน พบว่าผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสียังผลมากกว่าส่วนอื่น^[2] จากการประเมินความเสี่ยงเมื่อร่างกายได้รับปริมาณรังสีต่ำ ๆ เป็นเวลานาน จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ผลของรังสีกระเจิงต่อเลนส์ตา และต่อมไทรอยด์แปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ^[3] ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีมากเกินไป จึงควรมีการสำรวจ และเฝ้าระวังการใช้ปริมาณรังสีให้เหมาะสม

ปัจจุบันคณะกรรมการการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี หรือ International Commission on Radiological Protection (ICRP) ได้มีการแนะนำให้ใช้ค่าปริมาณรังสีวินิจฉัยอ้างอิง หรือ Diagnostic reference level (DRL) เพื่อเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานใช้พิจารณาถึง

ความเหมาะสมของปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจวินิจฉัยโรค^[4] มีรายงานการวิจัยหลายเรื่องที่ได้กล่าวถึงการจัดทำค่าปริมาณรังสีอ้างอิงจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องและเชิงกราน^[5-8] และกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้จัดทำรายงานค่าปริมาณรังสีวินิจฉัยอ้างอิงของประเทศไทย (National diagnostic reference levels: NDRLs) ในปี พ.ศ. 2564^[6] ซึ่งเป็นค่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยคนไทยได้รับจากการตรวจทางรังสีเพื่อวินิจฉัยโรค ค่า NDRLs ถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องและเชิงกรานสำหรับโรงพยาบาลต่าง ๆ ในประเทศไทย^[7-9] โดยค่า DRLs ของการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จะรายงานเป็นค่าดัชนีปริมาณรังสีเชิงปริมาตรของซีที (Volumetric CT dose index: $CTDI_{vol}$)^[10] และค่าผลคูณปริมาณรังสีกับความยาวของการสแกน (Dose length product: DLP) นอกจากนี้ยังรายงานด้วยค่าปริมาณรังสียังผล (Effective dose)

ในการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องนั้น ผู้ป่วยไม่เพียงแต่ได้รับปริมาณรังสีโดยตรงที่ช่องท้องเท่านั้น ยังมีปริมาณรังสีกระเจิงสูงไปยังส่วนอื่นๆ เช่น เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์^[2-3] ซึ่งในผู้ป่วยที่มาตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องและเชิงกรานอาจจะมีการตรวจหลายครั้งใน 1 ปี เพื่อติดตามผลการรักษา ทำให้ปริมาณรังสีที่เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์ได้รับจากการตรวจสูง ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดต่อกระจกและมะเร็งได้^[2-3]

โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา มีการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้อง คิดเป็นร้อยละ 67 ของการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทั้งหมด และมีการตรวจติดตามผลการรักษาบ่อยครั้งโดยเฉพาะผู้ป่วยที่นอนรักษาที่โรงพยาบาล แต่เนื่องจากทางโรงพยาบาลยังไม่เคยมีการประเมินปริมาณรังสีด้วยค่า CTDI_{vol} และ DLP มาก่อน จึงไม่สามารถประเมินได้ว่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของโรงพยาบาลมีความเหมาะสมหรือไม่ รวมถึงการประเมินปริมาณรังสีกระเจิงไปยังเลนส์ตาและต่อมไทรอยด์เพื่อเฝ้าระวังผลของรังสีต่ออวัยวะในช่องท้องที่ไวต่อรังสี เช่น ลำไส้ใหญ่ และอวัยวะสืบพันธุ์^[2] ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณรังสีจากการตรวจเอกซเรย์เอกซเรย์ช่องท้องส่วนบน ล่าง และช่องท้องทั้งหมด และเปรียบเทียบกับ NDRLs รวมถึงประเมินปริมาณรังสีที่ผิว (Entrance surface air kerma, ESAK) บริเวณช่องท้อง เลนส์ตา และต่อมไทรอยด์ ในผู้ป่วยที่มาใช้บริการในโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา

วิธีดำเนินการศึกษา

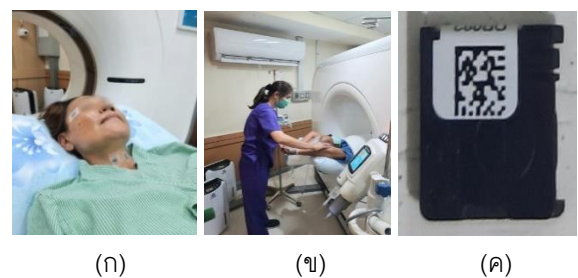
รูปแบบการศึกษาและกลุ่มประชากร

การศึกษานี้เป็นการศึกษาไปข้างหน้า (prospective study) ในผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องที่ห้องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ อาคารเฉลิมพระเกียรติ หน่วยรังสีวินิจฉัย กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน ปี พ.ศ. 2566 กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ป่วยจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน (CT upper abdomen) ช่องท้องส่วนล่าง (CT lower abdomen) และช่องท้องทั้งหมด (CT whole abdomen) กลุ่มละ 30 ราย รวม 90 ราย โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ ผู้ป่วยที่แพทย์สั่งตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องแบบไม่ฉีดสารทึบรังสี (non contrast media: NC) และแบบฉีดสารทึบรังสี (contrast media: CM) ในช่วง arterial phase และ venous phase ผู้ป่วยที่มีอายุระหว่าง 18 – 60 ปี ทั้งเพศชาย และเพศหญิงซึ่งมีน้ำหนัก ตั้งแต่ 55–75 กิโลกรัม ตามเกณฑ์ การเก็บข้อมูล NDRLs ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์^[6] ดัชนีมวลกาย (BMI) ไม่เกิน 30 และมีเกณฑ์การคัดออก ได้แก่ ผู้ป่วยที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี ผู้ป่วยที่ไม่สามารถฉีดสารทึบรังสีได้ เช่นผู้ป่วยที่มีค่าการทำงานของไตสูง โดยการศึกษาผ่านการรับรองจาก

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ใบรับรองเลขที่ 006/2023

เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์และการเก็บข้อมูลปริมาณรังสีอ้างอิงจากการตรวจ

การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ PHILIPS 128-Slices รุ่น Incitive CT (Philips, Amsterdam, Netherlands) โดยได้ผ่านการทดสอบค่าดัชนีปริมาณรังสีในแบบจำลองเชิงปริมาตร จากศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 9 นครราชสีมา เก็บข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง อายุ เพศ ดัชนีมวลกาย (BMI) และข้อมูลพารามิเตอร์การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องในการตรวจที่ใช้ประจำ โดยใช้ระบบควบคุมปริมาณรังสีแบบอัตโนมัติ (Automatic exposure control: AEC) ได้แก่ ค่ากิโลโวลต์สูงสุด (Kilovoltage peak: kVp) ค่ากระแสคูณเวลา (mAs) ค่า Pitch/Interval ค่า Beam collimation (มิลลิเมตร) ค่า CTDI_{vol} (มิลลิเกรย์) ค่า DLP (มิลลิเกรย์.เซนติเมตร) และความยาวในการสแกน (มิลลิเมตร) ของการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบไม่ฉีดสารทึบรังสี (non contrast media: NC) และแบบฉีดสารทึบรังสี (contrast media: CM) ในช่วง venous phase ซึ่งใช้ความยาวในการสแกนเท่ากัน นอกจากนั้นมีการเก็บข้อมูลของ DLP ทั้งหมดจากการตรวจ และนำมาคำนวณค่าปริมาณรังสียังผล (Effective dose) ดังสมการ Effective dose = DLP × Conversion factor ซึ่งค่า conversion factor มีค่าเท่ากับ 0.15 มิลลิซีเวิร์ต/มิลลิเกรย์.เซนติเมตร^[11]



รูปที่ 1 (ก) การติดนาฬิกาเพื่อวัดปริมาณรังสีที่ผิวหนังผู้ป่วยตำแหน่งต่อมไทรอยด์และหางตา 2 ข้าง (ข) การจัดผู้ป่วยเข้ารับการตรวจช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (ค) ตัวอย่างภาพอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลดีชนิดนาฬิกา

การประเมินปริมาณรังสีที่ผิวหนังบริเวณช่องท้อง เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์

การประเมินปริมาณรังสีที่ผิวหนังสำหรับงานวิจัยนี้ ประเมินโดยใช้อุปกรณ์วัดรังสีโอเอสแอล (Optically Stimulating Luminescence Dosimeters: OSLDs) ชนิดนาโนดอท (nanoDot)^[13] (Landauer Inc., Glenwood, Illinois, USA) โดยติดนาโนดอท ที่บริเวณผิวหนัง ได้แก่ บริเวณทางตาซ้าย ขวา ต่อมไทรอยด์ซ้าย ขวา (รูปที่ 1 ก) และผิวหนังบริเวณสะดือซ้าย ขวา รวมใช้นาโนดอททั้งหมด 6 แผ่น จากนั้น ผู้ป่วยเข้ารับการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ PHILIPS 128-Slices รุ่น Incitive CT (รูปที่ 1 ข) โดยตั้งโปรโตคอลตรวจช่องท้องแบบใช้สารทึบรังสี ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจ อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอทถูกส่งไปวิเคราะห์ผล

ด้วยเครื่องอ่านรุ่นไมโครสตาร์ (microStar) และโปรแกรมการประเมินผล Version 3.6.3761.32835 (Landauer Inc., Glenwood, Illinois, USA) โดยแต่ละแผ่นอ่าน 3 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าปริมาณรังสีในแต่ละตำแหน่งของผู้ป่วยทุกคนในกลุ่มการตรวจมาหาค่าเฉลี่ย แสดงค่าปริมาณรังสีในหน่วยมิลลิเกรย์ (mGy)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยสถิติเชิงพรรณนา ด้วยโปรแกรม STATA แสดงค่าข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย (mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ค่ามัธยฐาน (median) และค่าพิสัยควอไทล์ (interquartile range)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของประชากรและพารามิเตอร์ของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

	Upper abdomen	Lower abdomen	Whole abdomen
อายุ (ปี)	52.8 ± 4.5	47.3 ± 6.9	51.5 ± 6.3
เพศชาย (ร้อยละ)	70.0	53.3	63.3
ดัชนีมวลกาย (kg/m ²)	23.5 ± 2.2	21.8 ± 2.6	23.7 ± 2.0
kVp	120.0	120.0	120.0
mAs	149.2 ± 27.6	148.5 ± 26.3	160.3 ± 26.0
Scan length (mm)	269.3 ± 30.0	359.5 ± 22.2	453.2 ± 34.6
Pitch/Interval (mm)	1.00	1.00	1.00
Beam collimation (mm)	64 x 0.625	64 x 0.625	64 x 0.625

kVp = กิโลโวลต์, mm = มิลลิเมตร, kg/m² = กิโลกรัม/ความสูง หน่วยเป็นเมตรยกกำลังสอง, (mean ± SD)

ผลการศึกษา

ข้อมูลทั่วไปของประชากรและพารามิเตอร์การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

ผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจเอกซเรย์ช่องท้องส่วนบน ช่องท้องส่วนล่าง และช่องท้องทั้งหมด กลุ่มละ 30 ราย อายุเฉลี่ย 52.80 ± 4.50, 47.30 ± 6.90 และ 51.50 ± 6.30 ปี ตามลำดับ การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน มีผู้ป่วยเพศชายมากที่สุดร้อยละ 70 ส่วนผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกาย (BMI) ค่าเฉลี่ยกระแสหลอดคุณภาพ (mAs) และค่าเฉลี่ยความยาวในการสแกนทั้งหมด (Scan length) สูงที่สุด (23.70 ± 2.00 กิโลกรัม/ส่วนสูงเมตร², 160.30 ± 26.00 มิลลิแอมแปร์ และ 453.17 ± 34.57 มิลลิเมตร ตามลำดับ) ส่วนค่าความต่างศักย์สูงสุด (kVp), ระยะเวลาการเลื่อนของเตียงต่อการหมุนครบรอบ

ของหลอด (Pitch/interval) และ Beam collimation มีค่าเท่ากัน ในทั้ง 3 การตรวจ ดังแสดงในตารางที่ 1

ปริมาณรังสีอ้างอิงจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องและการเปรียบเทียบกับ NDRLs

ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้อง แสดงในตารางที่ 2 ผลการศึกษาพบว่า ผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด มีค่ามัธยฐานปริมาณรังสีจากการตรวจทั้งไม่ใช้สารทึบรังสีและใช้สารทึบรังสี มีค่า CTDI_{vol} (13.43, 13.45 มิลลิเกรย์), DLP (713.27, 714.19 มิลลิเกรย์. เซนติเมตร) และผลรวมค่า DLP (2575.20 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร) สูงที่สุด ในขณะที่เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่างมีค่ามัธยฐานของค่า CTDI_{vol} ที่ไม่ใช้สารทึบรังสีและใช้สารทึบรังสีน้อยที่สุด (11.06 มิลลิเกรย์) ส่วนเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนมีค่ามัธยฐาน DLP ไม่

ใช้สารทึบรังสีและใช้สารทึบรังสีน้อยที่สุด (378.13, 380.70 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร) นอกจากนี้การศึกษานี้ยังรวบรวมค่า DLP ทั้งหมดจากการตรวจในผู้ป่วยแต่ละราย เมื่อคำนวณค่าปริมาณรังสียังผลพบว่าเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด (38.50 มิลลิซีเวิร์ต) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน (22.67 มิลลิซีเวิร์ต) และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่าง (21.82 มิลลิซีเวิร์ต) มีค่าน้อยที่สุด

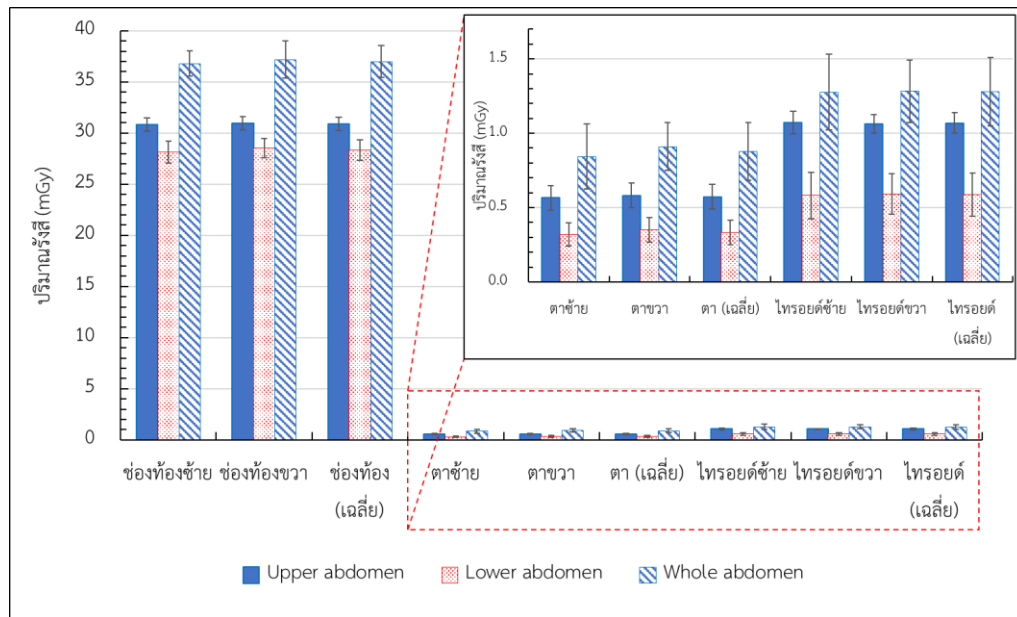
จากข้อแนะนำของ ICRP 135^[4] ในการนำค่า DRLs มาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของปริมาณรังสีกำหนดให้นำค่ามัธยฐานหรือค่า median ของโรงพยาบาล ไปเปรียบเทียบกับ NDRLs ของประเทศ^[4] อย่างไรก็ตามเนื่องจาก NDRLs ของประเทศไทยนั้นแสดงเฉพาะการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด^[6] และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน^[14] การศึกษานี้จึงนำค่าปริมาณรังสีอ้างอิงจากการ

ตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน มาเปรียบเทียบกับค่า NDRLs ของประเทศเท่านั้น โดยจากการทำการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่ามัธยฐาน CTDI_{vol} และ DLP ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยมาในการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด โดยไม่ใช้สารทึบรังสีและใช้สารทึบรังสีมีค่าเท่ากับ 13.43 มิลลิเกรย์ และ 13.45 มิลลิเกรย์ ตามลำดับ และ DLP มีค่าเท่ากับ 713.27 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร และ 714.19 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า NDRLs ของประเทศไทย^[6] และค่ามัธยฐาน CTDI_{vol} และ DLP การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนแบบใช้สารทึบรังสีมีค่าเท่ากับ 11.15 มิลลิเกรย์ และ 380.70 มิลลิเกรย์.เซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า NDRLs ของประเทศไทย^[14] เช่นกัน ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายงานผลค่ามัธยฐานของ CTDI_{vol}, DLP และปริมาณรังสียังผลจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน ส่วนล่าง และช่องท้องทั้งหมด

หน่วยปริมาณรังสี	Upper abdomen		Lower abdomen		Whole abdomen
	This study, Median (25 th , 75 th percentile)	NDRLs, 75 th percentile ^[14]	This study, Median (25 th , 75 th percentile)	This study, Median (25 th , 75 th percentile)	NDRLs, 75 th percentile ^[6]
CTDI_{vol} (mGy)					
NC	11.23 (10.47, 13.77)	--	11.06 (11.06, 12.98)	13.43 (11.72, 14.36)	18.00
CM	11.15 (7.84, 13.79)	16.10	11.06 (9.88, 12.90)	13.45 (8.49, 14.14)	20.00
DLP (mGy.cm)					
NC	378.13 (350.36, 466.83)	--	482.45 (481.80, 607.78)	713.27 (623.70, 777.77)	717.00
CM	380.70 (360.39, 471.29)	515.00	481.60 (431.51, 605.97)	714.19 (620.56, 769.95)	717.00
Total DLP (mGy.cm)	1459.33 (1329.29, 1942.99)	--	1454.81 (1314.25, 1840.25)	2575.20 (2434.49, 2763.82)	--
Effective dose (mSv)	22.67 (21.75, 28.36)	--	21.82 (20.97, 27.60)	38.50 (36.15, 41.46)	--

CTDI_{vol} = Computed tomography dose index (volume), NC = Non contrast, CM = Contrast media, DLP = Dose length product, NDRLs = National dose reference level จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, mSv = มิลลิซีเวิร์ต, mGy = มิลลิเกรย์, mGy.cm = มิลลิเกรย์.เซนติเมตร, Effective dose = ปริมาณรังสียังผล



รูปที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้อง เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์ได้รับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้อง

ปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้อง เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์จากการตรวจเอกซเรย์ช่องท้อง

ปริมาณรังสีที่ผิวจากการวัดด้วยนาโนดอทบริเวณช่องท้อง เลนส์ตาและต่อมไทรอยด์จากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้อง แสดงดังรูปที่ 2 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้องได้รับค่าสูงที่สุดจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด (36.98 ± 1.54 มิลลิเกรย์) รองลงมาคือเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน (30.89 ± 0.63 มิลลิเกรย์) และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่าง (28.33 ± 1.01 มิลลิเกรย์) มีค่าต่ำสุด โดยปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้องด้านขวาจะสูงกว่าด้านซ้ายเล็กน้อย ปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณต่อมไทรอยด์จากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด ทั้งข้างซ้ายและข้างขวามีค่าสูงที่สุด (1.28 ± 0.25 , 1.28 ± 0.21 มิลลิเกรย์) รองลงมาคือเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน (1.07 ± 0.08 , 1.06 ± 0.06 มิลลิเกรย์) และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่าง มีค่าน้อยที่สุด (0.58 ± 0.14 , 0.59 ± 0.15 มิลลิเกรย์) เมื่อพิจารณาปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณเลนส์ตาพบว่าปริมาณรังสีที่ตาขวาจากการตรวจช่องท้องทั้งหมดมีค่าสูงที่สุด (0.91 ± 0.16 มิลลิเกรย์) รองลงมาคือตาข้างขวาจากการตรวจช่องท้องส่วนบน (0.58 ± 0.08 มิลลิเกรย์) และน้อยที่สุดที่ตาข้างซ้ายจากการตรวจช่องท้องส่วนล่าง (0.32 ± 0.08 มิลลิเกรย์) โดยจะพบว่าปริมาณรังสีกระเจิงที่เลนส์ตาข้างขวามีค่าสูงกว่าตาข้างซ้ายเล็กน้อย

อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทั้งเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน ช่องท้องส่วนล่าง และช่องท้องทั้งหมด (CT upper abdomen, CT lower abdomen และ CT whole abdomen) ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชสิมาเป็นครั้งแรก ซึ่งได้ข้อมูลที่สำคัญคือค่ามาตรฐานปริมาณรังสีทั้งชนิด CTDI_{vol}, DLP และปริมาณรังสียังผลจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้อง นอกจากนี้ยังได้ข้อมูลของปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้องผู้ป่วยได้รับ รวมถึงปริมาณรังสีกระเจิงไปยังผิวบริเวณต่อมไทรอยด์และเลนส์ตา จากการศึกษาปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้องผู้ป่วยได้รับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์พบว่าช่องท้องด้านขวา มีค่าปริมาณรังสีสูงกว่าด้านซ้ายเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณรังสีกระเจิงไปที่ตาขวาสูงกว่าตาซ้ายเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้มีทิศทางการกระจายของรังสีกระเจิงคล้ายกับการศึกษาของเขมิกา เกื้อพิทักษ์ และคณะ^[12] ซึ่งรายงานปริมาณรังสีกระเจิงที่ตาข้างขวาจากการทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องนั้นสูงกว่าตาข้างซ้ายเล็กน้อยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้จะมีความเสี่ยงมาจากหลายประเด็น ในส่วนของช่องท้องอาจมีความเสี่ยงจากความหนาแน่นของเนื้อเยื่ออวัยวะภายในช่องท้องด้านขวาที่มีมากกว่าด้านซ้าย โดยเฉพาะตับ^[15] ทำให้เกิดรังสีกระเจิงจากร่างกายด้านขวาที่มากกว่า^[16] นอกจากนี้มีรายงานว่ารังสีกระเจิงจากไตในช่องท้อง ในองศาที่แตกต่างกันส่งผลให้

ปริมาณรังสีที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 10^[17,18] และนาโนโดทนั้นมีค่าความไม่แน่นอนประมาณร้อยละ 1.4-4.0^[19,20] รวมถึงการจัดวางอุปกรณ์ภายในเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์อาจจะมีผลต่อการดูดกลืนรังสีกระเจิง ส่งผลให้ปริมาณรังสีกระเจิงทางด้านซ้ายและด้านขวามีความแตกต่างกันเล็กน้อย ผลการศึกษานี้ยังพบว่าปริมาณรังสีกระเจิงไปยังผิวบริเวณต่อมไทรอยด์มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณเลนส์ตา โดยบริเวณตาอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมากกว่าต่อมไทรอยด์ มีผลให้ปริมาณรังสีลดลง ทั้งนี้ปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้อง เลนส์ตา และต่อมไทรอยด์ได้รับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่าง มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าทั้งเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน และช่องท้องทั้งหมด อาจเป็นผลมาจากค่า CTDI_{vol}, DLP และค่าความยาวสแกนที่น้อยกว่า แม้ว่าปริมาณรังสีที่ผิวบริเวณช่องท้อง ต่อมไทรอยด์ และเลนส์ตาได้รับนั้นไม่เกินค่าขีดจำกัด แต่อย่างไรก็ตามในการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จะมีการตรวจซ้ำเพื่อติดตามผลการรักษา ซึ่งการได้รับปริมาณรังสี ปริมาณต่ำ มีผลก่อให้เกิดมะเร็งต่ออวัยวะในระยะยาว^[2-3] จึงจำเป็นต้องเฝ้าระวังปริมาณรังสีที่อวัยวะสำคัญเหล่านี้ได้รับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ด้วย

ตารางที่ 3 แสดงค่า DRLs ของประเทศต่าง ๆ รวมถึงประเทศไทย เมื่อนำค่ามัธยฐานของปริมาณ CTDI_{vol} และ DLP ของการศึกษานี้เปรียบเทียบกับ DRLs ของที่ต่าง ๆ พบว่ามีค่าน้อยกว่าของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์^[6,14] และน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษากับประเทศสหรัฐอเมริกา^[21] สหภาพ

ยุโรป^[22] ญี่ปุ่น^[23] ยกเว้นค่า DLP ที่ออสเตรเลีย^[24] มีค่าน้อยกว่าซึ่งค่า CTDI_{vol} และค่า DLP ขึ้นอยู่กับความยาวของการสแกน พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจ และขนาดตัวผู้ป่วย (น้ำหนักและส่วนสูง) ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ยอยู่ที่ 23.00 ± 2.21 ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วยน้อยลง^[25]

NDRLs ของประเทศไทย โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์จัดทำเพียงการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด^[6] และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน^[14] ยังไม่มีการจัดทำในการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่าง ดังนั้นค่าปริมาณรังสี CTDI_{vol} และ DLP ครั้งนี้อาจจะสามารถนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับโรงพยาบาลอื่น ๆ ได้

แม้ว่าการตรวจเอกซเรย์ช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในการศึกษานี้ จะมีค่าน้อยกว่าปริมาณรังสีอ้างอิงของประเทศไทย^[6] และประเทศต่างๆ ที่กล่าวมา แต่รังสีเอกซ์ซึ่งเป็นรังสีชนิดก่อไอออน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ และมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง^[2-3] ดังนั้นการประเมินและเฝ้าระวังค่าปริมาณรังสีที่ได้รับการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ การปรับพารามิเตอร์จึงมีความสำคัญ และเป็นเหตุผลให้มีงานวิจัยทั่วโลกเพื่อสำรวจค่าปริมาณรังสีอย่างสม่ำเสมอตามคำแนะนำขององค์กร ICRP^[4] เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุด แต่ยังคงได้ภาพที่มีประสิทธิภาพเพียงพอให้แพทย์วินิจฉัยโรคได้^[26] และนำหลักการป้องกันอันตรายจากรังสี ช่วยลดอันตรายจากรังสีให้กับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3 ค่ามัธยฐานปริมาณรังสีจากการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีอ้างอิงของประเทศไทย จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์^[6] และประเทศอื่นๆ

	งานวิจัยนี้	กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2021) ^[6]	สหรัฐอเมริกา (2017) ^[21]	สหภาพ ยุโรป (2014) ^[22]	ญี่ปุ่น (2020) ^[23]	ออสเตรเลีย (2013) ^[24]
CTDI _{vol} (mGy)						
Non-contrast	13.43	18.00	20.00	--	--	--
Contrast	13.45	20.00	19.00	25.00	18.00	15.00
DLP (mGy.cm)						
Non-contrast	713.27	717.00	1004.00	--	--	--
Contrast	714.19	717.00	995.00	800.00	880.00	700.00

CTDI_{vol} = Computed tomography dose index (volume), DLP = Dose length product, mGy = มิลลิเกรย์

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนโดทที่ต้องขอความอนุเคราะห์จากหน่วยงานภายนอก รวมถึงความซับซ้อนและยุ่งยากในการวัดปริมาณรังสีในผู้ป่วย ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนี้ NDRLs ของประเทศไทย โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์จัดทำการตรวจคอมพิวเตอร์ช่องท้องทั้งหมด^[6] และเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบน^[14] ยังไม่ได้มีการจัดทำการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนล่าง จึงไม่มีค่าเปรียบเทียบความเหมาะสมของค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการตรวจกับงานวิจัยนี้ และในอนาคตอาจจะมีการปรับเปลี่ยนโปรโตคอลในการตรวจเพื่อลดปริมาณรังสีให้กับผู้ป่วยโดยยังคงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการวินิจฉัยโรคได้แม่นยำเหมือนเดิม ตลอดจนการสร้างความร่วมมือกับโรงพยาบาลในเขตพื้นที่ให้บริการสุขภาพ เขตสุขภาพที่ 9 (นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์) ในการจัดทำ local DRLs เพื่อใช้เป็นค่าปริมาณรังสีอ้างอิงเบื้องต้นของเขตสุขภาพ

สรุปผลการศึกษา

ค่า CTDI_{vol} และ DLP ในการตรวจช่องท้องด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ PHILIPS 128-Slices รุ่น Incitive CT ของโรงพยาบาลมหาราช นครราชสีมา มีค่าต่ำกว่าปริมาณรังสีอ้างอิงของประเทศไทยและนานาชาติ ยกเว้นค่า DLP ของประเทศออสเตรเลียซึ่งมีค่าน้อยกว่างานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อลดปริมาณรังสีให้กับผู้ป่วยโดยที่คุณภาพของภาพถ่ายรังสียังคงมีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรคได้แม่นยำถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ขอบคุณ คุณวราภรณ์ สุดใจ นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ชำนาญการพิเศษ ฝ่ายตรวจวัดและประเมินปริมาณรังสี จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีและอ่านค่าปริมาณรังสี ขอบคุณ ผศ.ดร.วรนนท์ ศิริสัตยกุล ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปรับปรุงแก้ไขต้นฉบับนิพนธ์ และขอขอบคุณ ดร.กัญญาลักษณ์ ณ รังษี จากศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบบริการ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] OECD. Computed tomography (CT) exams (indicator). doi:10.1787/3c994537-en. Accessed on 1 August 2023. <https://data.oecd.org/healthcare/computed-tomography-ct-exams.htm>
- [2] Poosiri S, Krisanachinda A, Khamwan K. Evaluation of patient radiation dose and risk of cancer from CT examinations. Radiol Phys Technol. 2023. <https://doi.org/10.1007/s12194-023-00763-w>.
- [3] Berrington de GA, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. Lancet. 2004;363(9406):345-51.
- [4] Vano E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, et al. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. Ann ICRP. 2017;46(1):1-44. doi: 10.1177/0146645317717209.
- [5] Kanal KM, Butler PF, Sengupta D, Bhargavan-Chatfield M, Coombs LP, Morin RL. U.S. Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for 10 Adult CT Examinations. Radiology. 2017;284(1):120-33.
- [6] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. ค่าปริมาณรังสีอ้างอิงในการถ่ายภาพรังสีวินิจฉัยทางการแพทย์ของประเทศไทย 2564. กรุงเทพมหานคร: บริษัทปิยอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด; 2564.
- [7] Pema D, Kritsaneepaiboon S. Radiation Dose from Computed Tomography Scanning in Patients at Songklanagarind Hospital: Diagnostic Reference Levels. J Health Sci Med Res. 2020;38(2):135-43.
- [8] วลัยรัตน์ เภาติงาม. ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของโรงพยาบาลลิขล. วารสารโรงพยาบาลนครพิงค์. 2564;12(2):97-107.
- [9] Donmoon T, Chusin T. Establishment of local diagnostic reference levels for commonly performed computed tomography examinations in Thai cancer hospitals. Thai J Rad Tech. 2021;46(1):35-42.
- [10] Sodkokuad P, Asvaphatiboon S, Thanabodebonsiri J, Tangboonduangit P. Comparison of computed tomography dose index measuring by two detector types of computed tomography simulator. Thai J Rad Tech. 2018;43(1):64-8.
- [11] Virginia TS, John EA, Raju S, Maria AS, Anchali K, Madan R, et al. Dose reduction in CT while maintaining diagnostic confidence: diagnostic reference levels at routine head, chest and abdominal CT-IAEA-coordinated research project. Radiology. 2006;240:828-34.
- [12] เหมิกา เกื้อพิทักษ์, จุฑามาศ ทนนานนท์, ปณัสดา อวิคุณประเสริฐ, สุนิสา แสงสว่าง, จิรภัทร เรืองศรีตระกูล, วิฑิต ผึ้งกัน, และคณะ. การศึกษาปริมาณรังสีและปริมาณรังสีกระเจิงจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในหุ่นจำลอง. J Med Health Sci. 2019;26:19-28.

- [13] Nupetch S, Awikunprasert P, Pungkun V. Radiation dose response of Inlight® optically stimulated luminescence (OSL) dosimeter. Thai J Rad Tech. 2018;43(1):36-43.
- [14] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. ค่าปริมาณรังสีอ้างอิงในการถ่ายภาพรังสีวินิจฉัยทางการแพทย์ของประเทศไทย 2566. กรุงเทพมหานคร: บริษัทปิยอนด์พับลิชิ่ง จำกัด; 2566.
- [15] Pimsorn P. Factor affecting size-specific dose estimates in addition to scanning parameters for chest–abdomen–pelvis computed tomography using automatic tube current modulation at Chiangrai prachanukroh hospital. Thai J Rad Tech. 2022 Dec.31; (1):43-54.
- [16] Allisy-Roberts P, Williams J. Radiation physics. W.B. Saunders; 2008. p. 1–21. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780702028441500053>.
- [17] Antonio PL, Caldas LVE. Angular dependence of TL and OSL responses of Al₂O₃:C commercial detectors in standard beta radiation beams. Radiat. Prot. Dosim. 2014, 113, 359–365.
- [18] Okazaki T, Hayashi H, Takegami K, Okino H, Kimoto N, Maehata I, et al. Fundamental Study of NanoDot OSL Dosimeters for Entrance Skin Dose Measurement in Diagnostic X-Ray Examinations. J. Radiat Prot. Res. 2016, 41, 229–236.
- [19] Jursinic PA. Optically stimulated luminescent dosimeters stable response to dose after repeated bleaching. Med Phys. 2020 Jul;47(7):3191-3203.
- [20] Zhuang AH, Olch AJ. A practical method for the reuse of nanoDot OSLDs and predicting sensitivities up to at least 7000 cGy. Med Phys. 2020 Apr;47(4):1481-1488.
- [21] Kanal KM, Butler PF, Sengupta D, Bhargavan-Chatfield M, Coombs LP, Morin RL. U.S. diagnostic reference levels and achievable doses for 10 adult CT examinations. Radiology. 2017;284(1):120-33.
- [22] Radiation Protection No 180. Diagnostic reference levels in thirty-six European countries [monograph on the Internet]. European Commission (EC). Luxembourg: Publication Office of the European Union; 2014 [cited 2019 Feb 11]. Available from: <http://ec.europa>files>RP180 part2>.
- [23] National Diagnostic Reference Levels in Japan (2020) Japan: Japan Network for Research and Information on Medical Exposure (J-RIME); 2020. Available from: <https://www.jsmp.org/en/info/national-diagnostic-reference-levels-in-japan-2020-has-been-released/>.
- [24] Hayton A, Wallace A, Marks P, Edmonds K, Tingey D, Johnston P. Australian diagnostic reference levels for multi-detector computed tomography. Australas Phys Eng Sci Med. 2013;36:19-26.
- [25] Trinavarat P, Kritsaneepaiboon S, Rongviriyapanich C, Visrutaratna P, Srinakarin J. Radiation dose from CT scanning: can it be reduced? Asian Biomedicine. 2011;5:13-21.
- [26] Nuntue C, Krisanachinda A, Khamwan K. Optimization of a low-dose 320-slice multidetector computed tomography chest protocol using a phantom. Asian Biomedicine. 2016;10:269-276.