นิพนธ์ต้นฉบับ . Original Article

การประเมินปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับในการถ่ายภาพทางรังสีดิจิทัลในโรงพยาบาลศรีนครินทร์

ต้องจิต มหาจันทวงศ์[1], ธวัชชัย ปราบศัตรู[1,2*], วรนันท์ คีรีสัตยกุล[1,2], สมศักดิ์ วงษาศานนท์[1], วราภรณ์ สุดใจ[3]

[1]*ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

[2]*กลุ่มวิจัยรังสีวิทยาหลอดเลือดและรังสีร่วมรักษาระบบประสาท*

[3]*สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ*

Assessment of the Entrance Skin Radiation Dose from the Digital Radiography in Srinagarind Hospital

Thongjit Mahajanthavong[1], Thawatchai Prabsattroo[1,2*], Woranan Kirisattayakul[1,2], Somsak Wongsanon[1], Waraporn Sudchai[3]

[1]*Department of Radiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University*

[2]*Vascular Radiology and Neurointerventional Radiology Research Group*

[3]*Thailand Institute of Nuclear Technology*

Received: 8 July 2020

Accepted: 9 September 2020

หลักการและวัตถุประสงค์: การถ่ายรังสีดิจิทัลถือเป็นการวินิจฉัยโรคโดยทั่วไป ที่เพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในการตรวจด้วยรังสีเอกซ์ ทำให้ผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจทางรังสีมีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีเพิ่มมากขึ้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วยได้รับ (entrance skin dose,ESD) ในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลในท่าทั่วไปของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีที่ผิวได้รับกับค่าระดับปริมาณรังสีอ้างอิง (diagnostic reference level,DRL) ของหน่วยงานระดับและระดับนานาชาติ รวมทั้งมีการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วย

วิธีการศึกษา: เป็นการศึกษาย้อนหลัง ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2562 จากระบบการจัดเก็บรูปภาพทางการแพทย์ โดยเก็บข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลจากผู้ป่วยจำนวน 1,010 ราย ที่หน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จากการถ่ายภาพรังสีทรวงอก กระดูกสันหลังส่วนคอ ส่วนอกและส่วนเอว กะโหลกศีรษะ ในด้านตรง (anteroposterior; AP) และด้านข้าง (Lateral view; LAT) การถ่ายภาพรังสีช่องท้องและกระดูกเชิงกรานด้าน AP คำนวณหาปริมาณรังสี ESD โดยใช้สูตรคำนวณเฉพาะ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี ESD และค่าพารามิเตอร์สำหรับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล

Background and objectives: Digital radiography is a common diagnostic practice and it has been a significant increase in the number of x-ray examinations. Patients were frequently exposed to radiation may consider increasing the risk of exposure to radiation. The purpose of this study was set up to evaluate the entrance skin dose (ESD) in common digital radiography in Srinagarind hospital, faculty of medicine, Khon Kaen university and compared to ESD with national and international diagnostic reference level (DRL) including study of parameters which effect the ESD.

Material and method: The retrospective study was conducted from January to May 2019 by using picture achieving communication systems (PACS). The digital radiographic parameters from total 1,010 patients from 12 examinations including chest, cervical spine, thoracic spine and lumbar spine, skull in anteroposterior/posteroanterior (AP/PA) view and lateral view, abdomen and pelvis in AP view were recorded. The ESD was calculated using the specific formula. All data were analyzed using descriptive analysis and the correlation of digital radiographic parameters and ESD was also analyzed.

*Corresponding author : Thawatchai Prabsattroo ,Department of Radiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University. Email: thawatp@kku.ac.th

ผลการศึกษา: ผลการศึกษาพบว่า Chest LAT ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (kVp) สำหรับการถ่ายภาพสูงที่สุด ส่วน Lumbar spine LAT ใช้ค่ากระแสหลอดคูณกับเวลา (mAs) สูงที่สุด ค่ามัธยฐานปริมาณรังสี ESD ของการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลทุกส่วนมีค่าต่ำกว่าค่าระดับปริมาณรังสีอ้างอิงมาตรฐานนานาชาติ (IAEA) ในขณะที่ ESD ของการถ่าย chest PA, abdomen AP, pelvis AP, lumbar spine LAT และ skull AP/PA มีค่าต่ำกว่า DRL ในระดับชาติ ยกเว้น Lumbar spine AP และ skull LAT ที่มีค่า ESD สูงกว่า มากไปกว่านั้นยังมีการเปรียบเทียบ ESD ของการศึกษานี้กับค่า DRL ประเทศญี่ปุ่นและสหราชอาณาจักร โดยการเปรียบเทียบค่า ESD กับ DRL ของประเทศญี่ปุ่นได้ผลการเปรียบเทียบเหมือนกับค่า DRLในระดับชาติ ในขณะที่เปรียบเทียบกับค่า DRL ของสหราชอาณาจักรพบว่าค่า ESD ของการถ่ายภาพรังสีส่วน abdomen AP, pelvis AP and lumbar spine LAT น้อยกว่าค่า DRL ของสหราชอาณาจักร ส่วนการถ่ายภาพรังสีส่วน chest PA, lumbar spine AP, skull AP/PA และ skull LAT มีค่า ESD มากกว่า นอกจากนี้พบว่าค่า mAs มีความสัมพันธ์ในระดับสูงในทิศทางเดียวกันกับค่า ESD ในขณะที่น้ำหนัก อายุและ kVp มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับค่า ESD

สรุป: การศึกษาครั้งนี้ทำให้หน่วยงานได้ทราบค่า ESD อ้างอิงในผู้ป่วยที่รับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลและได้เปรียบเทียบค่า ESD กับค่า DRL ของหน่วยงานระดับชาติ นานาชาติ ประเทศญี่ปุ่นและสหราชอาณาจักร โดยเมื่อค่า ESD สูงกว่าค่า DRL ของหน่วยงานระดับชาติและนานาชาติ นักรังสีการแพทย์และทีมงานควรสืบค้นและหาสาเหตุของปัญหาว่าเกิดจากอะไร ควรตรวจสอบโปรแกรมการประกันคุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องเพื่อให้แน่ใจถึงประสิทธิภาพของเครื่องเอกซเรย์และปริมาณรังสีที่ออกมา หลังจากนั้นควรมีการทบทวนโปรโตคอลและเทคนิคการให้ปริมาณรังสีแก่ผู้ป่วย ในขั้นตอนต่อไปคือการ optimization เพื่อปรับลดปริมาณรังสีในผู้ป่วยลงและจำกัดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับผู้ป่วย

คำสำคัญ: การถ่ายภาพรังสีดิจิทัล; ปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ; ปริมาณรังสีอ้างอิง

Result: The result showed that the highest kVp for DR was observed in chest LAT while the highest mAs was observed in lumbar spine LAT. The median ESD of all digital radiography examination was lower than the international IAEA DRL value while the median of ESD of chest PA, abdomen AP, pelvis AP, lumbar spine LAT and skull AP/PA was lower than Thai national DRL except for the median ESD of lumbar spine AP and skull LAT were higher than national DRL. Moreover, the median ESD was compared with the Japanese and United Kingdom (UK) DRL. The comparison between ESD and Japanese DRL was showed the result like the Thai national DRL. While the comparison between ESD and UK DRL, the median ESD of abdomen AP, pelvis AP and lumbar spine LAT were lower than UK DRL except for the median ESD of chest PA, lumbar spine AP, skull AP/PA and skull LAT were higher than UK DRL. In addition, mAs showed a high positive correlation with ESD while weight, age and kVp were showed a low correlation with ESD.

Conclusion: This study provided the median ESD in Srinagarind hospital and already compared with national DRL, international IAEA DRL, Japanese DRL and UK DRL. When the median ESD was higher than national and international DRL, technologist and team member could investigate and determine the cause of problem. The quality assurance program and efficiency of X-ray machine firstly check to ensure the good performance of the machine and radiation output and then the protocol and exposure technique were also revised. Further step, dose optimization is required to reduce the patient dose and limit the stochastic effect risk.

Keyword: Digital Radiography; Entrance Skin Dose; Diagnostic reference level

ศรีนครินทร์เวชสาร 2563; 36(1): 31-38. ● Srinagarind Med J 2020; 36(1): 31-38.

บทนำ

ปัจจุบันรังสีวินิจฉัยด้วยการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลเป็นหนึ่งในการตรวจที่ได้รับความนิยมมากและพบว่ามีแนวโน้มการใช้รังสีทางการแพทย์สูงมากขึ้น[1] ในทางรังสีวินิจฉัยพบว่าการได้รับรังสีในการตรวจวินิจฉัยในปริมาณมากเกินไปก็อาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วยและผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายอาจไปทำลายเนื้อเยื่อภายในร่างกาย ทำให้เนื้อเยื่อผิดปกตินำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของเซลล์และอาจก่อให้เกิดเป็นมะเร็งได้[2] เนื่องจากการใช้รังสีทางการแพทย์ไม่มีขีดจำกัด (Dose limit) ปัจจุบันได้มีการกำหนดระดับค่าปริมาณรังสีอ้างอิงหรือ Diagnostic reference level (DRL) เพื่อเป็นค่าอ้างอิงสำหรับการสร้างภาพทางรังสีให้มีการให้รังสีอย่างเหมาะในผู้ป่วย[3,4] ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีเท่าที่จำเป็นดังหลักการใช้รังสีน้อยที่สุดอย่างมีเหตุผลเท่าที่จำเป็นและเพียงพอสำหรับการวินิจฉัยโรค (ALARA: as low as reasonably achievable)

การถ่ายภาพเอกซเรย์ทั่วไปเป็นการสร้างภาพรังสีโดยการใช้รังสีเอ็กซ์ในการถ่ายภาพ ซึ่งพบว่าปริมาณรังสีสูงสุดจากการถ่ายภาพรังสีจะอยู่ที่บริเวณผิวหนังของผู้ป่วยเนื่องจากเป็นการใช้รังสีพลังงานต่ำ การวัดค่าปริมาณรังสีในผู้ป่วยที่ได้รับจะใช้ค่า entrance skin does (ESD) เพื่อประเมินรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ[5] หน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการถ่ายภาพรังสีสำหรับการ

วินิจฉัยโรคของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยเคยมีการศึกษาของ วิชัย วิชชาธรตระกูล และคณะ[6] โดยศึกษา ESD ในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลทรวงอก แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาค่า DRL นั้นจะต้องเปลี่ยนทุก 5 ปี[3] เพื่อจะได้นำค่า DRL ไปปรับใช้เพื่อปรับลดปริมาณรังสีในการตรวจให้ผู้ป่วย นอกจากนี้ยังไม่เคยมีการประเมินค่าปริมาณรังสี ESD จากการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลอวัยวะส่วนอื่น ๆ มาก่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาระดับปริมาณรังสี ESD จำแนกตามการถ่ายภาพทางรังสีบริเวณทรวงอก ช่องท้อง กระดูกเชิงกราน กระดูกสันหลัง กะโหลกศีรษะ เพื่อใช้เป็นค่าปริมาณรังสีอ้างอิงของแต่ละการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลของหน่วยรังสีวินิจฉัย

วิธีการศึกษา

รูปแบบและวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้รับการพิจารณารับรองโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (HE 631100) เป็นรูปแบบการศึกษาย้อนหลัง (Retrospective study) ตั้งแต่มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 กลุ่มประชากรที่ได้รับการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป น้ำหนักอยู่ในช่วง 45-75 กิโลกรัม อายุระหว่าง 18-80 ปี ที่มารับบริการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลส่วนทรวงอกในท่าด้านตรง (Chest Posteroanterior; PA) และด้านข้าง (Chest Lateral view; Chest Lat) ช่องท้องท่าด้านตรง (Abdomen AP) กระดูกเชิงกราน (Pelvis AP) กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical spine) กระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic spine) กระดูกสันหลังส่วนเอว (Lumbar spine) ในท่าด้านตรง (anteroposterior; AP) และด้านข้าง (Lateral view; Lat) กะโหลกศีรษะท่าด้านตรง (Skull anteroposterior; Skull AP) และด้านข้าง (Skull Lateral view; Skull Lat)

การบันทึกข้อมูลและการคำนวนปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ

ข้อมูลของผู้ป่วยประกอบด้วยข้อมูล อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าพารามิเตอร์และเทคนิคในการถ่ายภาพรังสี ได้แก่ ค่าความต่างศักย์ของหลอดเอกซเรย์ (kVp), ค่ากระแสหลอด (mA), ค่ากระแสหลอดคูณกับเวลา (mAs), Time, Exposure index, Field size, Focus to detector distance (FDD) , Source to surface distance (SSD) จากระบบ Picture achieving communication system (PACS) และ Health object (HO) ถูกบันทึกลงในโปรแกรม Microsoft excel 2010 การคำนวณปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับจากข้อมูลข้างต้นมาคำนวนค่า ESD อ้างอิงจากรายงานการวิจัยของ Yacoob และ Mohammed[7] ด้วยสมการ

ESD = BSF x Tube output (mGy/mAs) x (100/FSD) 2x mAs

BSF คือ ค่า Back scatter factor โดยค่า BSF สำหรับศีรษะและคอ = 1.25; BSF สำหรับส่วนช่องอก = 1.3; BSF สำหรับส่วนช่องท้องและช่องเชิงกราน = 1.4

FSD คือค่า Focus-to-skin distance หรือระยะทางจากหลอดเอกซเรย์ถึงผิวผู้ป่วย คำนวณมาจากค่า FDD ลบด้วยความหนาของผู้ป่วย

ค่า Tube output ของสำหรับการถ่ายภาพรังสี Chest PA Chest LAT และ Pelvis AP นำค่า kVp ที่เก็บได้จากผู้ป่วยแต่ละรายมาคำนวณจากสมการ Y=0.0009x-0.0329; x= kVp, Y=ค่า Tube output (mGy/mAs) ค่า Tube output ของการถ่ายภาพรังสีส่วนที่เหลือ โดยนำค่า kVp ที่เก็บได้จากผู้ป่วยแต่ละรายมาคำนวณจากสมการ Y=0.0013x-0.0442; x= kVp, Y=ค่า Tube output (mGy/mAs)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ข้อมูลของงานวิจัยแสดงค่าเป็น ค่ามัธยฐาน±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Median±SD) ค่าควอร์ไทล์ที่ 1 และ 3 (1st and 3rd quartile) และช่วงข้อมูล วิเคราะห์การถดถอยและการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Linear regression) เพื่อหาความความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์เทคนิคต่าง ๆ และค่าปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม IBM SPSS® version 19

ผลการศึกษา

ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยที่เข้าร่วมงานวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยที่นำมาศึกษาปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับจากการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล พบว่าจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 1,010 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 593 ราย (ร้อยละ 58.71) เพศชาย 417 (ร้อยละ 41.28) โดยอายุเฉลี่ยของผู้ป่วยที่มารับบริการถ่ายภาพเอกซเรย์ Thoracic spine มีค่าสูงสุด (57.14±16.04) และ Skull AP/PA มีค่าต่ำสุด (43.86±18.81) ส่วนค่าเฉลี่ยน้ำหนักของผู้ป่วยที่มารับบริการถ่ายภาพรังสี คือ Lumbar spine (65.29±7.03) และ Thoracic spine มีค่าต่ำสุด (55.39±7.31) กิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล

ในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล นักรังสีการแพทย์จะกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการถ่ายภาพรังสี ได้แก่ ค่าความต่างศักย์ (kVp) ค่ากระแสหลอด (mA) และค่ากระแสหลอดคูณกับเวลา (mAs) โดยการถ่ายภาพอวัยวะแต่ละส่วนจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน อวัยวะที่มีความหนามากจะใช้พารามิเตอร์ที่สูงกว่าเพื่อให้รังสีสามารถทะลุผ่านตัวผู้ป่วยได้ ผลการศึกษาข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการถ่ายภาพรังสีสีดิจิทัลส่วนต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ค่าความต่างศักย์ของการถ่ายภาพรังสี Chest LAT เป็นการถ่ายภาพรังสีที่ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสำหรับการถ่ายภาพสูงที่สุด (99.3±0.30) รองลงมาเป็น Chest PA (94.8±2.13), Thoracic spine LAT (86.1±1.91) , Lumbar spine LAT (85.5±3.37), Lumbar spine AP (82.3±5.96), Abdomen AP (82.3±3.82), Pelvis AP (79.3±5.40), Thoracic spine AP (79.0±1.85), Skull LAT (78.5±3.95), Cervical spine LAT (77.2±2.71), Skull AP/PA (76.5±4.04) และ Cervical spine AP (75.5±1.81) ตามลำดับ

ค่ากระแสหลอดของการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลส่วนต่าง ๆ อยู่

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยที่เก็บข้อมูลจากการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล หน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การถ่ายภาพรังสี	จำนวนผู้ป่วย (ราย)			อายุเฉลี่ย (ปี)	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)
	ราย	เพศชาย	เพศหญิง		
Chest PA	200	82	118	55.72±14.56	60.55±10.04
Chest LAT	200	97	103	55.24±16.77	59.18±9.69
Abdomen AP	82	46	36	54.10±14.76	61.06±6.71
Pelvis AP	78	38	40	49.54±17.95	59.38±9.58
Cervical spine AP	86	36	50	54.14±12.29	61.87±7.22
Cervical spine LAT	86	35	51	54.53±12.47	61.87±7.22
Lumbar spine AP	75	29	46	56.45±13.42	64.89±6.92
Lumbar spine LAT	76	29	47	56.42±13.41	65.29±7.03
Thoracic spine AP	57	12	45	57.14±16.04	55.39±7.31
Thoracic spine LAT	57	12	45	56.84±15.82	55.60±7.46
Skull AP/PA	37	15	22	43.86±18.81	56.95±7.33
Skull LAT	37	14	23	45.03±18.62	57.24±7.87
Total	**1,010**	**417**	**593**	-	-

ที่ 320 mA ยกเว้นการถ่ายภาพรังสี Lumbar spine AP ที่มีค่าเฉลี่ยค่ากระแสหลอด 312.0±48.6 mA จากข้อมูลค่ากระแสหลอดคูณกับเวลา (mAs) ของการถ่ายภาพรังสีส่วนต่าง ๆ พบว่า Lumbar spine LAT มีค่า mAs สูงที่สุด (53.2±12.9) และการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล Chest PA ใช้ค่า mAs น้อยที่สุด (9.5±3.5) (ตารางที่ 2)

ปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับจากการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล

ผลการศึกษาปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ (ESD) แสดงในตารางที่ 3 แสดงในค่ามัธยฐาน ช่วงข้อมูล ค่าควอร์ไทล์ที่ 1 และค่าควอร์ไทล์ที่ 3 โดยค่ามัธยฐานปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วย (ESD) พบว่าอวัยวะที่มีค่า ESD สูงที่สุด คือ Lumbar spine LAT โดยมีค่า ESD เท่ากับ 9.26±2.26 mGy รองลงมาเป็นการถ่ายภาพ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์สำหรับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลสำหรับการถ่ายภาพรังสีส่วนต่าง ๆ ในหน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การถ่ายภาพรังสีดิจิทัล	ค่าความต่างศักย์ kVp	ค่ากระแสหลอด (mA)	ค่ากระแสหลอดคูณกับเวลา (mAs)
Chest PA	94.79±2.13	320.00±0.00	9.51±3.51
Chest LAT	99.32±0.28	320.00±0.00	19.30±12.32
Abdomen AP	82.29±3.82	320.00±0.00	13.19±5.62
Pelvis AP	79.26±5.40	320.00±0.00	25.01±19.68
Cervical spine AP	75.51±1.81	320.00±0.00	12.88±1.17
Cervical spine LAT	77.21±2.71	320.00±0.00	13.13±1.71
Lumbar spine AP	82.29±5.96	312.00±48.66	34.29±11.73
Lumbar spine LAT	85.47±3.37	320.00±0.00	53.16±12.92
Thoracic spine AP	79.04±1.85	320.00±0.00	21.75±5.74
Thoracic spine LAT	86.09±1.91	320.00±0.00	28.75±17.14
Skull AP/PA	76.46±4.04	320.00±0.00	20.36±3.88
Skull LAT	78.49±3.95	320.00±0.00	19.73±6.10

รังสี Lumbar spine AP มีค่า ESD เท่ากับ 5.94±1.97 mGy ส่วนการถ่ายภาพรังสีอวัยวะส่วนอื่น ๆ มีค่า ESD ตามลำดับดังนี้ Thoracic spine LAT (3.91 mGy), Thoracic spine AP (2.90 mGy), Skull AP/PA (2.33 mGy), Skull LAT (2.22 mGy), Pelvis AP (1.88 mGy), Abdomen AP (1.61 mGy), Cervical spine LAT (1.22 mGy), Cervical spine AP (1.18 mGy), Chest LAT (0.56 mGy), และ การถ่ายภาพรังสีดิจิทัล Chest PA มีค่า DRL ของ ESD น้อยที่สุด (0.28 mGy) (ตารางที่ 3)

ความความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลและค่าปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล ได้แก่ อายุ น้ำหนัก kVp และ mAs ต่อ ESD โดยใช้สถิติ Linear Regression (การวิเคราะห์การถดถอย) ค่า Correlation Coefficient (r) หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยอ้างอิงการแปรผลค่า r ตามการศึกษาของ Mukaka[8] ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง mAs และ ESD ในทุกการถ่ายเอกซเรย์มีความสัมพันธ์กันสูงและสูงมากในทิศทางเดียวกัน (r>0.7) ส่วนความสัมพันธ์ของ kVp ต่อค่า ESD ของการถ่ายเอกซเรย์ Chest PA, Chest LAT, Cervical Spine LAT, Thoracic spine AP, Thoracic spine LAT และ Skull LAT อยู่ในระดับต่ำมากหรือไม่มีความสัมพันธ์เลย (r=0.00-0.30) การถ่ายภาพรังสี Abdomen AP, Pelvis AP, Cervical spine AP, Lumbar spine LAT และ Skull AP/PA มีความสัมพันธ์ของค่า kVp ต่อค่า ESD ในระดับต่ำในทิศทางเดียวกัน (r=0.30-0.50) และมีเพียงการถ่ายภาพรังสี Lumbar spine AP ที่มีความสัมพันธ์ของค่า kVp ต่อค่า ESD ที่อยู่ในระดับสูง (r=0.70-0.90) ส่วนความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักและอายุต่อค่า ESD นั้นอยู่ในระดับต่ำมากถึงระดับต่ำ ยกเว้นการถ่ายภาพรังสี Chest PA ที่มีความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักตัวผู้ป่วยต่อค่า ESD ในระดับปานกลาง (r=0.50-0.70) (ตารางที่ 4)

วิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลจำนวน 12 ท่ามาตรฐาน ซึ่งครอบคลุมเพียงพอสำหรับการนำไปเปรียบเทียบกับหน่วยงานระดับชาติและนานาชาติ โดยเก็บข้อมูลในผู้ป่วยอายุ น้ำหนักที่อยู่ในช่วงปกติ และท่าการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลที่เป็นท่าปกติมาตฐานที่ยังไม่ได้ปรับพารามิเตอร์ต่างๆในการให้ปริมาณรังสี ของหน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประเมินปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วยได้รับ (ESD)โดยแสดงเป็นค่ามัธยฐาน (median ESD) เพื่อกำหนดเป็นปริมาณรังสีอ้างอิงสำหรับการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลของหน่วยงาน จากข้อมูลของวิจัยนี้ที่มีการแจกแจงข้อมูลแบบไม่ปกติการใช้ค่ามัธยฐานจึงมีความเหมาะสมกว่าค่าเฉลี่ยและจาก ICRP publication 135 ได้ใช้ค่ามัธยฐานของปริมาณรังสีในแต่ละการตรวจเพื่อนำไปจัดทำค่า DRL (75th percentile)[3] หรือสามารถใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีในแต่ท่าการถ่ายภาพรังสีเพื่อนำไปจัดทำค่า DRL ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและการแจกแจงปกติของข้อมูล[4]

จากการเปรียบเทียบค่า ESD ของหน่วยงานเทียบกับค่า DRL ของการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลส่วนต่าง ๆ ของหน่วยงานระดับชาติและนานาชาติได้แก่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ประเทศไทย[9] และ International Atomic Energy Agency (IAEA)[10] ประเทศญี่ปุ่น[11] และสหราชอาณาจักร[12] (ตารางที่ 5) พบว่า ค่า ESD ของการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลในทุกการตรวจมีค่า

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ (Entrance skin dose; ESD) จากการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลส่วนต่าง ๆ

การถ่ายภาพรังสีดิจิทัล	Entrance skin dose: ESD (mGy)			
	Median ± SD	ช่วงข้อมูล	ค่าควอร์ไทล์ ที่ 1	ค่าควอร์ไทล์ ที่ 3
Chest PA	0.28±0.10	0.13-0.69	0.23	0.34
Chest LAT	0.56±0.23	0.25-1.28	0.44	0.77
Abdomen AP	1.61±0.88	0.84-4.59	1.24	2.46
Pelvis AP	1.88±2.11	0.59-7.53	1.30	4.14
Cervical spine AP	1.18±0.13	0.65-1.52	1.03	1.22
Cervical spine LAT	1.22±0.16	0.69-1.94	1.16	1.26
Lumbar spine AP	5.94±1.97	1.21-7.64	2.63	6.55
Lumbar spine LAT	9.26±2.26	4.34-13.88	6.51	10.30
Thoracic spine AP	2.90±0.71	0.87-4.43	2.29	3.06
Thoracic spine LAT	3.91±2.85	1.22-11.80	2.55	5.96
Skull AP/PA	2.33±0.50	0.83-3.81	2.20	2.39
Skull LAT	2.22±0.71	1.12-3.72	1.59	2.55

ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อายุ น้ำหนัก kVp และ mAs กับปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ

การถ่ายภาพรังสีดิจิทัล	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์			
	อายุ	น้ำหนัก	kVp	mAs
Chest PA	0.239	0.530	0.068	0.994
Chest LAT	0.226	0.424	0.000	0.997
Abdomen AP	0.035	0.116	0.464	0.979
Pelvis AP	0.117	0.001	0.364	0.976
Cervical spine AP	0.194	0.02	0.494	0.777
Cervical spine LAT	0.013	0.171	0.227	0.838
Lumbar spine AP	0.077	0.035	0.723	0.952
Lumbar spine LAT	0.047	0.14	0.372	0.969
Thoracic spine AP	0.029	0.081	0.131	0.966
Thoracic spine LAT	0.038	0.284	0.034	0.992
Skull AP/PA	0.373	0.244	0.476	0.911
Skull LAT	0.106	0.026	0.260	0.958

น้อยกว่าค่า DRL ของ IAEA ปี ค.ศ. 1999 ซึ่งเป็นค่า DRL ที่ได้จากระบบสกรีนฟิล์ม จึงทำให้มีค่า DRL ค่อนข้างสูง แต่เมื่อเป็นเทียบค่า ESD ของหน่วยงานที่ใช้ระบบดิจิทัลในการสร้างภาพ เมื่อเปรียบเทียบค่า ESD กับกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ประเทศไทย ปี ค.ศ. 2017 พบว่าการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลท่า Chest PA, Abdomen AP, Pelvis AP, Lumbar spine LAT, Skull AP/PA มีค่าน้อยกว่า ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ยกเว้น Lumbar spine AP และ Skull LAT ที่มีค่า ESD มีค่ามากกว่า โดยค่า DRL ของกรมวิทยศาสตร์การแพทย์เป็นค่าที่ได้จากระบบการสร้างภาพแบบทั้งสกรีนฟิล์มและระบบดิจิทัล (CR และ DR)

เมื่อเปรียบเทียบ ESD กับค่า DRL ของประเทศญี่ปุ่น ปี ค.ศ. 2015 ที่มีขนาดรูปร่างใกล้เคียงกับคนไทยพบว่า การถ่ายภาพรังสีดิจิทัลท่า Chest PA, Abdomen AP, Pelvis AP, Lumbar spine LAT, Skull AP/PA มีค่าน้อยกว่า DRL ของประเทศญี่ปุ่น ยกเว้น Lumbar spine AP และ Skull LAT ที่มีค่า ESD มากกว่า[11] ซึ่งสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่า DRL ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบค่า ESD กับค่า DRL ของสหราชอาณาจักร ที่ได้ศึกษาการทำ DRL และเผยแพร่ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1995 ได้ทบทวนค่า DRL ทุกๆ 5 ปี เป็นจำนวน 4 ครั้ง ตามเทคโนโลยีเครื่องมือและการสร้างภาพที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้เพื่อใช้ค่า DRL เป็นเครื่องมือในการ optimization ปริมาณรังสีในผู้ป่วย จากการสำรวจพบว่าผู้ป่วยมีแนวโน้มได้รับปริมาณรังสีลดลงตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา และจากการศึกษาครั้งล่าสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งก่อนหน้านี้พบว่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่ผู้ป่วยได้รับลดลงประมาณร้อยละ 10 และเมื่อเปรียบเทียบค่า ESD กับค่า DRL ของสหราชอาณาจักรพบว่าการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลท่า Chest PA , Lumbar spine AP, Skull AP/PA, Skull LAT ที่มีค่า ESD มากกว่า ส่วนการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลท่า Abdomen AP, Pelvis AP, Lumbar spine LAT มีค่าน้อยกว่าค่า DRL ของสหราชอาณาจักร[12]

นอกจากนี้ จากการศึกษาของวิชัย วิชชาธรตระกูล และคณะ[6] เรื่องปริมาณรังสีที่ผิวหนังของผู้ป่วยที่ได้รับจากการถ่ายภาพรังสีทรวงอก ในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าค่ามัธยฐาน ESD ในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล Chest PA เท่ากับ 0.25 mGy ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อยกับการศึกษาในครั้งนี้ที่มีค่า ESD 0.28 mGy และการศึกษาของ วิชัย วิชชาธรตระกูล และคณะ[6] มีค่า mAs เฉลี่ยเท่ากับ 6 และ kVp เฉลี่ยเท่ากับ 90 ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาในครั้งนี้ที่มีค่า mAs เฉลี่ยเท่ากับ 9.5 และ kVp เฉลี่ยเท่ากับ 94.8 ซึ่งส่งผลให้ ESD ของผู้ป่วยมีค่าสูงขึ้น และจากการศึกษาของ ลัดดา เย็นศรี[13] เรื่องการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการถ่ายภาพรังสีทรวงอกด้วยระบบ CR และ DR พบว่าค่า ESD ใน DR เท่ากับ 0.35 mGy โดยมีค่า mAs และ kVp เฉลี่ยเท่ากับ 8.84 และ 88.64 ตามลำดับ

ส่วนค่า kVp และ mAs ในการศึกษานี้ส่วนมากมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับการศึกษาของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีขนาดความหนาและน้ำหนักใกล้เคียงกัน มีเพียงการ

ตารางที่ 5 ค่า DRL ของการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลส่วนต่าง ๆ ของหน่วยรังสีวินิจฉัย เปรียบเทียบกับหน่วยงานทางรังสีระดับชาติและนานาชาติ

X-ray	ESD				
	การศึกษานี้ (2020)	Thailand (2017)	IAEA (1996)	Japan (2005)	UK (2012)
Chest PA	0.28	0.29	0.40	0.30	0.15
Abdomen AP	1.61	3.80	10.00	3.00	4.40
Pelvis AP	1.88	3.11	10.00	3.00	3.90
Lumbar spine AP	5.94	3.77	10.00	4.00	5.70
Lumbar spine LAT	9.26	9.77	30.00	11.00	10.00
Skull AP/PA	2.23	2.62	5.00	3.00	1.80
Skull LAT	2.22	2.10	3.00	2.00	1.10

ตรวจ Lumbar spine AP, LAT และ Abdomen AP ที่ค่า mAs ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์มีค่าค่อนข้างมากกว่าการศึกษาครั้งนี้ การศึกษาโดยสหราชอาณาจักร[12] , Aliasgharzadeh และคณะ[14] และ Ofori และคณะ[15] พบว่าสวนมากในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลมีการใช้ kVp ต่ำ และ mAs สูง รวมทั้งขนาดผู้ป่วย น้ำหนักที่มากกว่า และระยะทางจากแหล่งกำเนิดรังสีถึงผิวผู้ป่วย (FSD) ที่น้อยกว่า ส่งผลให้ทำให้ค่า ESD ที่ผู้ป่วยได้รับโดยส่วนใหญ่สูงกว่าการศึกษาในครั้งนี้[14,15]

จากข้อมูลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อายุ น้ำหนัก kVp และ mAs กับปริมาณรังสีที่ผิวที่ผู้ป่วยได้รับ จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าค่าอายุและน้ำหนักผู้ป่วยมีความสัมพันธ์กับ ESD น้อย รวมทั้งค่า kVp เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลในการศึกษานี้มีปรับเปลี่ยนค่า kVp น้อยมาก ส่วนมากจะใช้ค่า kVp เดิมในการถ่ายภาพ ส่วนค่า mAs นั้นมีความสัมพันธ์สูงถึงสูงมากกับค่าปริมาณรังสี ESD ในการศึกษามีการใช้ AEC ในการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลโดยการควบคุมเวลา (exposure time) ให้เหมาะสมในการสร้างภาพ ทำให้ ESD มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า mAs[16]

นอกจากปัจจัยดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นที่มีผลต่อ ESD แล้ว อาจมีปัจจัยอื่นนอกเหนือจากการการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึง เช่น โรคหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วย ที่อาจส่งผลต่อความหนาแน่นของผู้ป่วย[17] ทำให้ต้องมีการปรับพารามิเตอร์หรือเทคนิคในการให้ปริมาณรังสี ซึ่งส่งผลต่อ ESD ที่ผู้ป่วยได้รับอาจมากขึ้นหรือลดลง จำนวนผู้ป่วยในงานวิจัยนี้ยังมีจำนวนไม่เท่ากันในแต่ละการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลเนื่องจากในวิเคราะห์ผลมีการตัดข้อมูลที่เป็น outlier ออกบางส่วน แต่จำนวนผู้ป่วยในแต่ละการตรวจยังคงมากกว่า 20 ราย ตามคำแนะนำของ ICRP publication 135[3] การศึกษาในอนาคตควรเพิ่มจำนวนผู้ป่วยในแต่ละการตรวจให้มากขึ้นเพื่อให้มีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติและจำนวนเท่าๆกันในแต่ละการตรวจ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลลง ในอนาคตควรทำการศึกษาไปข้างหน้า (Prospective study) เพื่อวางแผนการและประเมินปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับในแต่ละการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล รวมทั้งการทำ optimization ปริมาณรังสีหรือแนวทางการปรับลดปริมาณรังสีในผู้ป่วยลงควบคู่กับคุณภาพของที่ยังคงอยู่และเพียงพอสำหรับการวินิจฉัยโรค

สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาครั้งแรก ที่ทำให้หน่วยงานได้ทราบค่าปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วยได้รับ (ESD) และครอบคลุมทุกการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล สามารถนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่า DRL ของหน่วยงานระดับชาติ นานาชาติหรือต่างประเทศ ผลการศึกษาพบว่าส่วนมากการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลของหน่วยรังสีวินิจฉัยมีค่า ESD น้อยกว่าค่า DRL ของ IAEA และมีค่าใกล้เคียงกับกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเทศญี่ปุ่น และสหราชอาณาจักร มีเพียงบางการตรวจที่ ESD มากกว่าค่า DRL ของหน่วยงานระดับชาติและนานาชาติ รวมทั้งทำให้ทราบปัจจัยและพารามิเตอร์การให้รังสีที่มีผลต่อ ESD โดยการศึกษานี้นำไปสู่การสืบค้นหาสาเหตุที่ทำให้ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับสูงกว่าค่าอ้างอิง ทำให้หน่วยงานต้องกลับไปทบทวนหรือตรวจสอบโปรแกรมการประกันคุณภาพ และประสิทธิภาพของเครื่องเอกเซย์และปริมาณรังสีที่ออกมาจากเครื่องเอกซเรย์ รวมไปถึงตรวจสอบมาตรฐานโปรโตคอลและวิธีการถ่ายภาพรังสีดิจิทัล เพื่อนำไปสู่แนวทางการ optimization และการปรับลดปริมาณรังสีลงให้เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เลขที่โครงการ IN63260) และเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลจากนักรังสีเทคนิคและบุคคลากรในหน่วยรังสีวินิจฉัย ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทุนวิจัยทั่วไป (Invitation Research) ฝ่ายวิจัย คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสนับสุนเครื่องวัดปริมาณรังสี จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ทำให้การดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Holroyd JR. National reference doses for dental cephalometric radiography. Br J Radiol 2011; 84(1008): 1121–1124.
2. Wunderle K, Gill AS. Radiation-related injuries and their management: an update. In: Seminars in interventional radiology. Thieme Medical Publishers; 2015: 156.
3. Vañó 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: 1–144.
4. Vassileva J, Rehani M. Diagnostic reference levels. Am J Roentgenol 2015; 204: W1–3.
5. Tonkopi E, Daniels C, Gale MJ, Schofield SC, Sorhaindo VA, VanLarkin JL. Local diagnostic reference levels for typical radiographic procedures. Can Assoc Radiol J. 2012; 63: 237–241.
6. วิชัย วิชชาธรตระกูล, สมศักดิ์ วงษ์ศานนท์, บรรจง เขื่อนแก้ว. ปริมาณรังสีที่ผิวหนังของผู้ป่วยที่ได้รับจากการถ่ายภาพรังสีทรวงอก ในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ศรีนครินทร์เวชสาร 2553; 25: 120–124.
7. Yacoob HY, Mohammed HA. Assessment of patients X-ray doses at three government hospitals in Duhok city lacking requirements of effective quality control. J Radiat Res Appl Sci 2017; 10: 183–187.
8. Mukaka MM. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. Malawi Med J 2012; 24: 69–71.
9. ศิริวรรณ บุญชรัตน์ , ภัทรพงศ์ เหมัชฐิติ. ค่าปริมาณรังสีอ้างอิงจากการถ่ายภาพรังสีวินิจฉัย ด้วยเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (Diagnostic reference levels in General radiography) สำนักรังสีและเครื่องมือแพทย์.วารสารวิชาการสาธารณสุข 2559; 25(4): 632-640.

10. Organization WH. International basic safety standards for protecting against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Printed by the IAEA in Austria: 1996; 279.

11. Yonekura Y. Diagnostic reference levels based on latest surveys in Japan–Japan DRLs 2015. Jpn Netw Res Inf Med Expo; 2019: 1–11.

12. Hart D, Hillier MC, Shrimpton PC. Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK–2010 review HPA-CRCE-034. Chilton HPA; 2012.

13. ลัดดา เย็นศรี. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้ รับจากการถ่ายภาพรังสีทรวงอกด้วยระบบ CR และ DR. South Coll Netw J Nurs Public Health 2016; 3(1): 129–39.

14. Aliasgharzadeh A, Mihandoost E, Masoumbeigi M, Salimian M, Mohseni M. Measurement of entrance skin dose and calculation of effective dose for common diagnostic x-ray examinations in Kashan, Iran. Glob J Health Sci 2015; 7: 202.

15. Ofori K, Gordon SW, Akrobortu E, Ampene AA, Darko EO. Estimation of adult patient doses for selected X-ray diagnostic examinations. J Radiat Res Appl Sci 2014; 7(4): 459–462.

16. Suliman II, Mohammedzein TS. Estimation of adult patient doses for common diagnostic X-ray examinations in Wad-madani, Sudan: derivation of local diagnostic reference levels. Australas Phys Eng Sci Med 2014; 37(2): 425–429.

17. Bushong SC. Radiologic science for technologists-E-book: Physics, Biology, and Protection. Elsevier Health Science; 2013; 161-185.

SMJ