

การประเมินข้อมูลการให้บริการถ่ายภาพรังสีทรวงอกด้วยระบบคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ ของทารกแรกคลอดในหอผู้ป่วยวิกฤติ โรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

โกศล อยู่พรหม

กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

บทคัดย่อ

บทนำ ปัจจุบันงานรังสีวิทยาใช้การสร้างภาพรังสีด้วยระบบคอมพิวเตอร์แทนระบบสกรีนฟิล์มเดิม เพราะความรวดเร็วในการสร้างภาพ ความปลอดภัยจากสารเคมีน้ำยาล้างฟิล์ม รายละเอียดของภาพที่เพิ่มขึ้น แต่มีสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ค่าดัชนีรังสี (exposure index; EI) เป็นค่าที่องค์กรสากลให้ความสำคัญเนื่องจากเป็นค่าที่ใช้แสดงว่าค่าเทคนิคที่นักรังสีการแพทย์กำหนดนั้น มีปริมาณรังสีเหมาะสมในการสร้างภาพหรือไม่ การใช้รังสีมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผู้ป่วย แต่การใช้รังสีน้อยเกินไปจะลดคุณภาพของภาพรังสีจนอาจไม่สามารถวินิจฉัยโรคได้

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินค่าดัชนีรังสี ในระดับคุณภาพของภาพถ่ายรังสีทรวงอกของทารกแรกคลอดในหอผู้ป่วยวิกฤติที่ได้รับการเอกซเรย์ปอดเคลื่อนที่ ว่าอยู่ในช่วงค่าดัชนีรังสีที่บริษัทกำหนดหรือไม่ และมีแนวโน้มเป็นอย่างไร และเพื่อสำรวจพฤติกรรมนักรังสีการแพทย์ผู้ปฏิบัติงานต่อทักษะความเข้าใจค่าดัชนีรังสี

วัสดุและวิธีการ บันทึกพฤติกรรมของนักรังสีการแพทย์ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 9 คน ต่อการวัดค่าความหนาของอวัยวะสำหรับการตั้งค่าเทคนิค และการพิจารณาค่าดัชนีรังสี (EI) หลังการถ่ายภาพรังสี และวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนีรังสีของภาพถ่ายรังสีทรวงอกทารกแรกคลอดจากเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ทุกรายในหอผู้ป่วยวิกฤติ โรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ย้อนหลัง 4 ปี (เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562)

ผลการศึกษา ข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีพบว่า ร้อยละ 97.22 มีค่าดัชนีรังสีอยู่ในช่วงที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (S-value 200-700) ร้อยละ 1.48 มีค่าดัชนีรังสีมากกว่าที่กำหนด (S-value>700) ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณรังสีน้อยไม่เพียงพอต่อการสร้างภาพ และร้อยละ 1.30 มีค่าดัชนีรังสีน้อยกว่าที่กำหนด (S-value<200) ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้ปริมาณรังสีมากเกินไป และมีแนวโน้มในการใช้ปริมาณรังสีมากขึ้น พฤติกรรมนักรังสีการแพทย์ ร้อยละ 55.56 ไม่นิยมวัดค่าความหนาของอวัยวะก่อนการกำหนดค่าเทคนิค และร้อยละ 11.11 ไม่พิจารณาค่าดัชนีรังสีหลังการถ่ายภาพ

สรุปผลการศึกษา ผลการวิจัยค่าดัชนีรังสี ร้อยละ 97.22 อยู่ในช่วงที่บริษัทกำหนด แต่ยังมีแนวโน้มที่นักรังสีการแพทย์จะต้องใช้ค่าดัชนีรังสีเพื่อควบคุมคุณภาพการสร้างภาพรังสีที่ใช้วินิจฉัยโรคโดยปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับต้องน้อยที่สุด

คำสำคัญ: การสร้างภาพรังสีด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ค่าดัชนีรังสี ภาพรังสีทรวงอกทารกแรกคลอด

Data evaluation of chest radiographic Services in Newborns using a mobile computer system in Neonatal Intensive Care Units, Chumphonkhetudomsak Hospital

Kosol Youprom

Radiology Department Chumphonkhetudomsak Hospital

Abstract

Introduction: Currently, the digital radiography system has replaced traditional screen-film systems due to faster image acquisition, better quality images and safety from a chemical film remover. To provide feedback regarding the proper radiographic techniques, the exposure index (EI) has been used as an international standard. It indirectly suggests whether the appropriate radiation dose has been achieved, which subsequently indicate image quality and radiation exposure to the patient. Excessive use of radiation will be harmful to patients but using a small amount of radiation will reduce the quality of the radiograph which may not be able to diagnose the disease.

Objective: To examine radiographers' performance regarding EI usage and understanding and evaluate the EI data from chest radiography done by the mobile computer system at Neonatal Intensive Care Units (NICU) in terms of the EI range determined by the manufacturer.

Materials and methods: The study was conducted from January 2016 to December 2019.

The performance of 9 radiographers regarding the organ thickness measurement for the technique setting and determining the (EI) after radiography was recorded and the data of the radiographic index from NICU, Chumphonkhetudomsak Hospital was analyzed.

Results: The study shows that 97.22% of the images had the EI within the range specified by the manufacturer (S-value 200-700), 1.48% were overexposed (S-value>700) indicating insufficient radiation dose to optimize image quality and 1.30% were underexposed (S-value<200) suggesting that the amount of radiation was excessive and there is a tendency to use more radiation. Regarding the performance of the radiographers, 55.56 % did not measure a thickness of the organs before setting the technique and 11.11 % did not review the EI after imaging procedure.

Conclusions: The findings demonstrate that the majority of radiographic images have the EI. 97.22% within the normal range. However, it is necessary for a radiographer to use the EI to optimize the quality of radiographic image at the lowest possible radiation dose.

Keywords: Computed Radiography, Exposure Index, Chest Radiographs in Neonatal

บทนำ

ปัจจุบันงานรังสีวิทยายังต้องอาศัยภาพรังสีเพื่อประกอบการวินิจฉัยและรักษาในทางการแพทย์¹ ถึงแม้ว่าผู้ป่วยแต่ละรายจะได้รับปริมาณรังสีที่ค่อนข้างต่ำ แต่เป็นปริมาณรังสีสะสมที่ผู้ป่วยได้รับ. ในต่างประเทศมีรายงานว่าปริมาณรังสีสะสมจากการตรวจสุขภาพประจำปีจากการถ่ายภาพรังสีทรวงอกนั้น โดยรวมคิดเป็นร้อยละ 18 ของปริมาณรังสีที่ได้รับทั้งหมดต่อปี² การใช้รังสีจึงต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพและคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ป่วย องค์การที่ดูแลด้านความปลอดภัยจากรังสี เช่น International Atomic Energy Agency (IAEA), European Commission (EC), National Radiological Protection Board (NRPB), AAPM³⁻⁶ ได้เผยแพร่ข้อมูลเพื่อป้องกันควบคุมและแนะนำระดับอ้างอิงปริมาณรังสีที่ปลอดภัย (Reference Levels)

ในอดีตที่ผ่านมาใช้การถ่ายภาพรังสีซึ่งเป็นแบบแอนะล็อกโดยใช้ฟิล์ม ข้อเสีย คือ ไม่สามารถแต่งภาพรังสีได้ รวมถึงมีช่วงตอบสนองที่แคบกว่า จึงเกิดภาวะภาพถ่ายรังสีดำหรือภาพถ่ายรังสีขาว (Over-exposed Images/Under-exposed Images) ได้ง่าย จนไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดของพยาธิสภาพได้ แต่ข้อดี คือ คุณภาพของภาพรังสีมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับแบบตรงไปตรงมา การตั้งค่าในการถ่ายภาพรังสีจึงไม่ซับซ้อน

ต่อมา ปี ค.ศ. 1983 การถ่ายภาพรังสีถูกเปลี่ยนมาใช้ระบบซีอาร์ (CR:computed radiography) ใช้การถ่ายภาพรังสีแบบคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดรังสีผ่านอวัยวะของผู้ป่วยไปยังอุปกรณ์ตัวรับปริมาณรังสี (IP:image plate) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างภาพและตัวรับปริมาณรังสีสามารถนำมาใช้ถ่ายภาพได้ใหม่ (ใช้ซ้ำ) ต่างจากระบบฟิล์มซึ่งใช้ได้ครั้งเดียว รวมถึงมีช่วงตอบสนองที่กว้างกว่า (Wide Dynamic Range) สามารถปรับแต่งภาพได้ภายหลังจนกระทั่งให้อยู่

ในช่วงที่ยอมรับได้ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถทราบได้ว่าปริมาณรังสีช่วงเริ่มต้นเป็นเท่าไร^{7,8} จึงทำให้มีการตั้งค่าการ ถ่ายภาพน้อยเกินไป (Under-exposed) จนสร้างภาพรังสีไม่ได้ หรือการตั้งค่าการถ่ายภาพมากเกินไป (Over-exposed) ภาวะนี้สามารถสร้างภาพได้ แต่มีปริมาณรังสีเกินความต้องการก่อให้เกิดภาวะปริมาณรังสีมากเกินไป⁹ ประกอบกับที่ภาวะตั้งค่าการถ่ายภาพน้อยเกินไป (Under-exposure) จะสามารถปรับแต่งภาพได้น้อยกว่า การตั้งค่าการถ่ายภาพมากเกินไป (Over-exposed)^{10,11,12} ดังนั้นจึงเกิดการเลือกตั้งค่ามากเกินไปก่อน (Increase exposure) แล้วมาปรับแต่งภาพภายหลัง (Dose creep) ซึ่งส่งผลต่อผู้ป่วยโดยตรง¹² จากการติดตามประเมิน¹³ การถ่ายภาพระบบซีอาร์พบเหตุการณ์ Dose Creep เพิ่มขึ้น มีงานวิจัยสนับสนุนภาวะ Dose Creep นี้ที่เกิดขึ้นจริง¹⁵ และมีแนวโน้มเกิดขึ้นบ่อยครั้ง หากไม่มีการประเมินและเฝ้าระวังจะเกิดมากขึ้นในงานประจำ¹⁴ ด้วยความจำเป็นดังกล่าวจึงเกิดค่าดัชนีรังสี (Exposure Index: EI) ที่พัฒนาสำหรับเครื่องเอกซเรย์ระบบซีอาร์ (Computed Radiography: CR) สำหรับบริษัทฟูจิสร้างมาเพื่อวัดค่าความไว (Sensitivity) หรือ ‘S’ นัมเบอร์ โดยประเมินค่าหัววัดรังสีที่เก็บสัญญาณและภาพแฝงที่เกิดขึ้นและมีระบบการปรับแต่งภาพ (re-scale)¹⁴ เป็นวิธีการที่จะย้อนกลับให้นักรังสีการแพทย์นำมาใช้ทบทวนหลักการถ่ายภาพรังสีที่มีคุณภาพและให้ปริมาณรังสีที่เหมาะสม¹⁶

ค่าดัชนีรังสี (Exposure Index: EI) เป็นสัดส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สัมพันธ์กับคุณภาพของภาพรังสี¹⁶ เช่นเดียวกันกับความดันระบบฟิล์มเดิม¹⁶ รวมทั้งค่า EI ยังนำมาใช้พิจารณาสมรรถนะการตอบสนองต่อรังสีของหัววัด¹⁷ ค่า EI มีหลายรูปแบบ แต่ละบริษัทเรียกชื่อและวิธีคิดที่แตกต่างกัน¹⁴ เช่น Care Stream เรียก EI number, Philips เรียก logarithm: lgM, Siemens ใช้ค่า Linear Systems¹⁸ บางบริษัทกำหนดว่า หากค่า EI เพิ่มขึ้นค่าปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นด้วย แต่บางบริษัท EI เพิ่มขึ้นค่าปริมาณรังสีลดลง

เป็นต้น ความหลากหลายนี้ได้สร้างความสับสนให้กับ
ผู้ใช้งานที่มีเครื่องมือแตกต่างกันหลายบริษัทที่นำ
ระบบ EI มาใช้เป็นเกณฑ์¹⁴ รวมถึงความสับสนไปถึง
กลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่นำค่า EI มาใช้ในการปรับภาพ
มากกว่าหนึ่งบริษัท^{14,19} การป้องกันความสับสน

International Electrotechnical Commission (IEC)¹⁷, The
American Association of Physicists in Medicine (AAPM)¹⁴
และองค์กรฟิสิกส์นานาชาติจึงร่วมกันกำหนด ค่า EI¹⁶
ปัจจุบันค่ามาตรฐาน EI ถูกออกแบบให้เป็นแบบ Index
Value^{12,16}

ตารางที่ 1 แสดงชื่อเรียก สัญลักษณ์และอ้างอิงปริมาณรังสีที่เทียบเท่าค่า EI ของบริษัทต่างๆ

Exposure index, symbol and exposure dependent, adapted from Willis CE. Strategies for dose reduction in ordinary radiographic examination using CR and DR. Pediatric Radiology 2004; 34 (Suppl.): 196-200)

Manufacturer	Indicator name	Symbol	Exposure dependent
Fuji CR	Sensitivity number	S number	200/S α X (mR)
Kodak CR	Exposure index	EI	EI + 300 = 2X
Agfa	Log of median of histogram	lgM	lgM + 0.3 = 2X
Cannon	Reached exposure value	REX	REX α X (mR)
Phillips	Exposure Index	EI	100/S α X (mR)
Siemens	Exposure Index	EI	EI/100 = X(μ Gy)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าปริมาณรังสีที่อุปกรณ์รับรังสีได้รับ จาก 4 ผู้ผลิต ที่สอดคล้องกับค่า EI

Exposure in micro gray	Fuji S number	Canon REX	Agfa Healthcare LGM	Care stream EI	Exposure index EI
2.5	710	30	1.96	1451	250
5	355	60	2.26	1751	500
10	177	120	2.56	2051	1000
20	89	240	2.86	2351	2000

Data from: Mervyn D. Cohen & Matt L. Cooper & Kelly Piersall & Bruce K. Apgar, Quality assurance: using the exposure index and the deviation index to monitor radiation exposure for portable chest radiographs in neonates, Pediatr Radiol, 2010

ตารางที่ 3 แสดงค่าดัชนีรังสีแนะนำเมื่อใช้ระบบคอมพิวเตอร์สร้างภาพ (CR) ของบริษัทฟูจิ

EXAMINATION	ค่าดัชนีรังสี S- number (FUJI)
Chest general	200 - 600
Skull/ Spine	100 - 400
Extremities	75 - 200
Chest/Abdomen Pedi	200 - 700
Chest Port/ Abdomen	100 - 400
GI tract	100 - 300

สำหรับโรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ใช้ระบบคอมพิวเตอร์สร้างภาพ (CR) ของบริษัทฟูจิชื่อ Fuji 9000 ได้กำหนด ค่า S number ตามอวัยวะที่ทำการบันทึกภาพ เป็นค่าดัชนีรังสีสำหรับการถ่ายภาพรังสีทรวงอกและเป็นช่วงยอมรับได้ (acceptable range) คือ ช่วงที่มีค่า S value อยู่ระหว่าง 200-700 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดจากการตั้งค่า exposure ที่ได้ทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีที่เหมาะสมและได้ภาพรังสีที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการวินิจฉัยโรคได้สำหรับค่า S value ที่ต่ำกว่า 200 จะให้ภาพ over-exposure ซึ่งเป็นช่วงการตั้งค่าที่ให้ปริมาณรังสีมากและให้สัญญาณในการสร้างภาพมากแต่ทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ส่วนภาพที่มีค่า S value สูงกว่า 700 จะให้ภาพ under-exposure เป็นช่วงการตั้งค่าที่ให้ปริมาณรังสีน้อยทำให้มีสัญญาณรบกวนบนภาพรังสีจนไม่สามารถใช้ภาพเพื่อการวินิจฉัยได้ ดัชนีรังสีที่บ่งชี้ถึงค่าความไว (Sensitivity: S) และการตอบรับของหัววัดรังสีต่อลำรังสี จะเป็นข้อมูลสะท้อนไปยังนักรังสีการแพทย์ในการตั้งค่าปริมาณรังสีที่มีความเหมาะสม ประกอบกับข้อมูลการถ่ายภาพรังสีทรวงอกด้วยระบบคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ทารกแรกคลอดในหอผู้ป่วยวิกฤติ โรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ เพิ่มขึ้นทุกปี (ปี พ.ศ. 2559 จำนวน 685 ราย, ปี พ.ศ. 2560 จำนวน 727 ราย, ปี พ.ศ. 2561 จำนวน 790 ราย, ปี พ.ศ. 2562 จำนวน 787 ราย) ซึ่งจัดเป็นกลุ่มเสี่ยงสูง

Takaki, T และคณะ (2016)¹ ภาควิชารังสีวิทยา มหาวิทยาลัยการอาชีวศึกษาและสิ่งแวดล้อมด้านสุขภาพ เมืองอิเซกะโอกะ ประเทศญี่ปุ่น ศึกษาวิจัยประเมินค่าความหนาของวัตถุต่อค่าดัชนีรังสีในระบบการถ่ายภาพรังสีแบบดิจิตอล วัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าดัชนีรังสีจากการถ่ายภาพแบบดิจิตอล วัสดุวิธีการใช้แผ่นทอมน้ำหนา 10 cm สำหรับเด็ก และใช้แผ่นทอมน้ำหนา 15 cm สำหรับผอมสูง ใช้แผ่นทอมน้ำหนา 21 cm สำหรับคนทั่วไป โดยใช้เงื่อนไขสากล International Electrotechnical Commission (IEC)

ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีรังสีแผ่นทอมน้ำหนา 21 cm สำหรับคนทั่วไป มีค่าแตกต่างจากแผ่นทอมน้ำหนา 10 cm สำหรับเด็ก ใช้แผ่นทอมน้ำหนา 15 cm สำหรับผอมสูง ถึงร้อยละ 34 แต่สำหรับแผ่นทอมน้ำหนา 10 cm สำหรับเด็ก ใช้แผ่นทอมน้ำหนา 15 cm สำหรับผอมสูง แตกต่างกันเล็กน้อย จากการวิจัยนี้แม้ว่าการศึกษานี้จะใช้น้ำแทนเนื้อเยื่อมนุษย์แต่ก็พบว่าค่าความหนา มีผลต่อค่าดัชนีรังสีอย่างมีนัยสำคัญ

Cohen, MD และคณะ (2016)¹² ศึกษาวิจัยที่โรงพยาบาลเด็กโรเรย์ ของภาควิชารังสีวิทยา มหาวิทยาลัยอินเดียนา รัฐอินเดียนา สหรัฐอเมริกา เรื่องการเปรียบเทียบคุณภาพเปรียบเทียบระหว่างการตั้งค่าปริมาณรังสีสำหรับเอกซเรย์ทรวงอกของทารกแรกคลอดใน 4 โรงพยาบาล เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างดัชนีรังสี (Exposure Index: EI) กับค่าเบี่ยงเบนของรังสี (Deviation Index: DI) สำหรับเอกซเรย์ทรวงอกของทารกแรกคลอดใน 4 โรงพยาบาลเด็ก วัสดุและวิธีการหาค่าเฉลี่ยแต่ละโรงพยาบาล (Mean Exposure Index) โดยคำนวณค่าปริมาณรังสีเฉพาะส่วน (Target Exposure Indices) แล้ววัดค่าเบี่ยงเบน ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีรังสี (Exposure Index: EI) ไม่แตกต่างกันใน 4 โรงพยาบาล แต่พบว่า ร้อยละ 92 มีค่าเบี่ยงเบน -3 ถึง +3 มีความแตกต่างกันของปริมาณรังสีที่ใช้ขึ้นอยู่กับเครื่องเอกซเรย์ที่นำมาใช้ สรุปด้วยความต่างของเครื่องเอกซเรย์ที่นำมาใช้ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยทั้งปริมาณรังสีและดัชนีรังสี (Exposure Index: EI) แต่มีความแตกต่างกันน้อยกว่า ร้อยละ 50

Seibert, J และคณะ (2011)¹⁶ ได้ศึกษาวิจัยที่ภาควิชารังสีวิทยา มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา เรื่องมาตรฐานดัชนีรังสีจากการถ่ายภาพแบบดิจิตอล และโอกาสการปรับค่าปริมาณรังสีสำหรับกลุ่มประชากรทารกแรกคลอด วัตถุประสงค์เพื่อประเมิน ค่าดัชนีรังสีค่าเบี่ยงเบนของรังสีกับค่าอ้างอิงมาตรฐาน วิธีการศึกษาความต่างของเครื่องเอกซเรย์ที่มีใช้ในโรงพยาบาล

แต่ละบริษัท ศึกษารูปแบบการคำนวณปริมาณรังสี ทำความเข้าใจระบบการใช้สัญลักษณ์ และค่าดัชนีรังสี และการแปลผลและนำไปใช้งาน ของแต่ละบริษัท การบันทึกค่า การคำนวณค่าเบี่ยงเบนรังสี ผลการศึกษา พบความแตกต่างรูปแบบการคำนวณปริมาณรังสี ระบบการใช้สัญลักษณ์ ความแตกต่างของค่าดัชนีรังสีที่ใช้เป็นเกณฑ์ และความแตกต่างการแปลผล และนำไปใช้งานของแต่ละบริษัท หากนักรังสีการแพทย์ ไม่เข้าใจพื้นฐานความต่างของเครื่องเอกซเรย์ที่มีใช้ในโรงพยาบาล ย่อมส่งผลกระทบต่อการใช้รังสีที่อาจส่งผลทั้งคุณภาพและปริมาณรังสีที่ทารกแรกคลอดจะได้รับ

Mothiram, U., และคณะ (2014)²⁴ ภาควิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยซีตนิย์ รัฐนิวเซาท์เวลส์ ออสเตรเลีย ได้เขียนบทความ เรื่องการทบทวนค่า ดัชนีรังสีในการถ่ายภาพรังสี (Digital Radiography Exposure Indices) วัตถุประสงค์ เพื่อแนะนำนักรังสี การแพทย์ที่ใช้ระบบดิจิทัลแทนระบบการถ่ายภาพ แบบใช้ฟิล์มในประเด็นปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยจะได้รับ และระบบการคำนวณค่าดัชนีรังสี ต้องคำนึงถึงเรื่อง ความปลอดภัยเทียบกับระดับอ้างอิงสากล

Zhang, M., และ Cunkun C. (2012)²⁵ สถาบันวิจัย สร้างภาพทางการแพทย์ เมืองไจหนาน สาธารณรัฐ ประชาชนจีน ได้ศึกษาวิจัยการปรับปัจจัยสำคัญให้ เหมาะสมมีผลต่อปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยจะได้รับจาก การถ่ายภาพด้วยระบบดิจิทัล (Optimization of the Radiological Protection of Patients Undergoing Digital Radiography) วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณรังสีที่ได้รับ เมื่อช่วงความกว้างยอมรับได้ (latitude range) โดย คุณภาพของภาพรังสีไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่าปริมาณรังสี ที่ได้รับมีค่าแตกต่างกัน วิธีการ ค้นหาปัจจัยสำคัญต่อ การตั้งค่าถ่ายภาพรังสี รวบรวมข้อมูลทางเทคนิค Optimization Radiation Protection (OT) รวบรวม ข้อมูลปริมาณรังสีที่ออกจากเครื่อง Dose Area Product

(DAP) และปริมาณรังสีที่ผิวผู้ป่วยได้รับ Entrance Surface Dose (ESD) จากกลุ่มตัวอย่างที่นำมาศึกษาในช่วง 2 เดือน ในกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน 8 คนศึกษาผลก่อนและหลัง การให้ข้อแนะนำที่ถูกต้อง โดยใช้สถิติ t-test ($p < 0.005$) เปรียบเทียบผลการศึกษาในกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน 8 คน ก่อนให้ข้อแนะนำที่ถูกต้อง มีค่า Dose Area Product (DAP) และ Entrance Surface Dose (ESD) สูงกว่า แบบมีนัยยะสำคัญ เมื่อเทียบกับการปฏิบัติงานหลัง การให้ข้อแนะนำที่ถูกต้อง และมีค่าต่ำกว่าค่าอ้างอิง มาตรฐาน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาการใช้รังสีกับทารก แรกคลอด จากการถ่ายภาพรังสีแบบโมบาย (portable imaging) ด้วยดัชนีรังสี (EI) โดยเฉพาะการถ่ายภาพรังสี ซ้ำๆ หลายภาพในทารกอายุน้อย ซึ่งอาจส่งผลถึงความ ไวกของอวัยวะต่างๆ ของทารกแรกคลอดที่ได้รับรังสีใน ระยะยาว และเพื่อลดความเสี่ยงรังสีสะสม²⁰⁻²³

วัตถุประสงค์การวิจัย

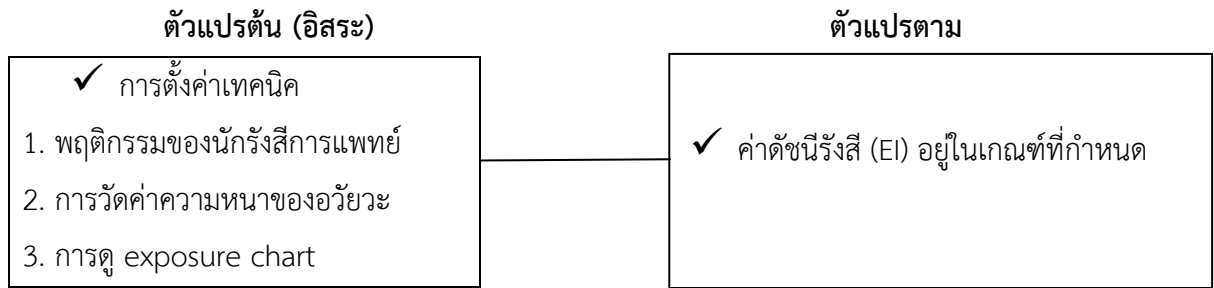
1. เพื่อประเมินค่าดัชนีรังสีและระดับคุณภาพ ภาพถ่ายรังสีทรวงอกของทารกแรกคลอดของหน่วย บริการถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่ (mobile portable) เปรียบเทียบกับค่าที่บริษัทกำหนด

2. เพื่อประเมินพฤติกรรมนักรังสีการแพทย์ ในการถ่ายภาพรังสีทรวงอกของทารกแรกคลอดของ หน่วยบริการถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่ (mobile portable)

คำถามวิจัย

ค่าดัชนีรังสีอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมหรือไม่ ระดับคุณภาพของภาพถ่ายรังสีทรวงอกเป็นอย่างไร พฤติกรรมของนักรังสีการแพทย์จากการถ่ายภาพรังสี ชนิดเคลื่อนที่เป็นอย่างไร ทารกแรกคลอดในหอ ผู้ป่วยวิกฤติมีความเสี่ยงที่จะได้รับปริมาณรังสีเกิน ความจำเป็นหรือไม่

กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)



ระเบียบวิธีวิจัย (Methods)

เป็นการวิจัยแบบศึกษาข้อมูลย้อนหลัง
(Retrospective study)

ประชากรศึกษา (Study population)

ข้อมูลของผู้ป่วยทารกแรกคลอด (ช่วงอายุ 0 เดือนถึง 2 เดือน) ของหอผู้ป่วยวิกฤติทารกแรกคลอด (NICU) โรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่ขอรับถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2559 ถึง ปี พ.ศ. 2562 จำนวน 2,989 ราย และกลุ่มนักรังสีการแพทย์ ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 9 คน

กระบวนการเก็บข้อมูล

บันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มวิจัยที่ผู้วิจัยได้
จัดสร้างขึ้นประกอบด้วย

1. บันทึกข้อมูลค่าดัชนีรังสีย้อนหลังในช่วงปี พ.ศ. 2559-พ.ศ. 2562 ในแบบฟอร์มวิจัย 3 ใช้เลขรหัส (ไม่ระบุชื่อ นามสกุล, HN..) ของผู้ป่วยทารกแรกคลอดจากฐานข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมบันทึกค่าดัชนีรังสี (Fuji 9000) ในระบบบันทึกภาพและข้อมูลสื่อสารทางการแพทย์ ที่ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์ Mobile portable เครื่องหมายเลขการค้า Hitachi หมายเลขเครื่อง SX-14532305 รุ่น Sirius จากหอผู้ป่วยวิกฤติทารกแรกคลอด (NICU)

2. บันทึกข้อมูลพฤติกรรมการปฏิบัติงานของนักรังสีการแพทย์โดยใช้เลขรหัสแทนนักรังสีการแพทย์ ในแบบฟอร์มวิจัย 1 และ 2 โดยวิธีให้อาสาสมัครนักรังสีการแพทย์ที่ยินยอมร่วมงานวิจัยกรอกเอกสารเอง

3. เก็บรวบรวมแยกระดับค่าข้อมูลและความถี่ของค่าดัชนีรังสี (EI) ลงในแบบฟอร์มวิจัย 4

การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติเชิงพรรณนาด้วยโปรแกรม R ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลลัพธ์หลักของการศึกษา (Primary outcome)

- ค่าดัชนีรังสี จากการถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ของทารกแรกคลอดหอผู้ป่วยวิกฤติ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด

- พฤติกรรมการตั้งค่าการถ่ายภาพรังสีทรวงอกทารกแรกคลอด และคุณภาพของภาพถ่ายรังสีในมุมมองของนักรังสีการแพทย์ของหน่วยบริการถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่ (mobile portable) กลุ่มงานรังสีวิทยา

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผ่านการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาลวชิระภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต หมายเลขรหัส VPH REC 019/2019 และ COA No. 01282019

ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาค่าดัชนีรังสีของระบบการสร้างภาพทางรังสีด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CR; Computed Radiography) ในภาพเอกซเรย์รังสีทรวงอกทารกแรกคลอดเคลื่อนที่ ของหอผู้ป่วยวิกฤติทารกแรกคลอดโรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จากข้อมูลย้อนหลัง 4 ปีของผู้ป่วยทารกแรกคลอดที่ได้รับการเอกซเรย์ทุกรายจำนวน 2,989 ราย เมื่อนำผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการเปรียบเทียบกับค่าดัชนีรังสีที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด พบว่ามีจำนวน 2,906 ราย คิดเป็นร้อยละ 97.22 มีค่าดัชนีรังสีอยู่

ในช่วงที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (S-value 200-700) และ มีค่าดัชนีรังสีเฉลี่ย $S=328$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 114.26 มีทารกแรกคลอด 44 ราย (ร้อยละ 1.48) มีค่าดัชนีรังสีมากกว่าที่บริษัทกำหนด (S-value มากกว่า 700 โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีรังสีที่ $S=836$ ซึ่งเป็น

ช่วงที่ปริมาณรังสีน้อยเกินไปและทารกแรกคลอด 39 ราย (ร้อยละ 1.30) มีค่าดัชนีรังสีน้อยกว่าที่บริษัทกำหนด (S-value น้อยกว่า 200) โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีรังสีที่ $S=161$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 15.58 ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณรังสีมากเกินไปดังที่แสดงตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลสำรวจค่าดัชนีรังสีของภาพถ่ายรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ของทารกแรกคลอดในหอผู้ป่วย วิกฤติโรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ระหว่างปี พ.ศ. 2559 - 2562 (N=2,989)

Chest	ค่า S ของ Chest	จำนวน (ราย)	ร้อยละ	ค่าเฉลี่ย (S)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ค่าที่บริษัทกำหนด	น้อยกว่า 200 (Group 1)	39	1.30	161	15.58
(Acceptable range)	200-700 (Group 2)	2,906	97.22	328	114.26
{200-700}	มากกว่า 700 (Group 3)	44	1.48	836	67.70

ด้านผลการสำรวจพฤติกรรมของนักรังสีการแพทย์ ผู้ปฏิบัติงาน ต่อการการวัดค่าความหนาของอวัยวะ สำหรับการตั้งค่าเทคนิคและการพิจารณาค่าดัชนีรังสี (EI) หลังการถ่ายภาพรังสี ผู้ปฏิบัติงานเป็นนักรังสีการแพทย์ เพศชาย 4 คน เพศหญิง 5 คน อายุงานเฉลี่ย 17.5 ปี มีพฤติกรรมการปฏิบัติงานก่อนการเอกซเรย์ มีการวัดค่าความหนาส่วนลำตัวบริเวณทรวงอกของผู้ป่วยก่อนการเอกซเรย์ ทุกครั้ง 0% วัดความหนา บางครั้ง 44.44% และไม่วัดความหนา 55.56% โดยนักรังสีการแพทย์ ทั้ง 9 คน (100%) ใช้ค่าตารางเทคนิคการถ่ายภาพที่กำหนดไว้เป็นบางครั้ง ด้านการพิจารณาค่าดัชนีรังสี (EI) หลังการถ่ายภาพ นักรังสีการแพทย์ พิจารณาทุกครั้ง 11.11% พิจารณาค่าดัชนีรังสี บางครั้ง 77.77% และมีนักรังสีการแพทย์ไม่พิจารณาค่าดัชนีรังสี (EI) เลย 11.11% ด้านการเข้าใจหลักการใช้ค่าดัชนีรังสี (EI) มีความเข้าใจ 22.22% พอเข้าใจ 77.78%

สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการศึกษาแม้ว่าข้อมูลค่าดัชนีรังสีจากการถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ของทารกแรกคลอดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด

(S-value 200-700) คิดเป็นร้อยละ 97.22 แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 114.26 ซึ่งหมายถึงการกำหนดค่าเทคนิคต่างๆ และมีเพียงร้อยละ 2.78 มีค่าดัชนีรังสีน้อยหรือมากกว่าที่บริษัทกำหนด ($200 > S\text{-value} > 700$) และเมื่อพิจารณาพฤติกรรมการทำงานของนักรังสีการแพทย์พบว่าการพิจารณาค่าดัชนีรังสีหลังการถ่ายภาพเพียงบางครั้งสูงถึงร้อยละ 77.77 และมีนักรังสีการแพทย์ไม่พิจารณาค่าดัชนีรังสี (EI) ร้อยละ 11.11 จึงเป็นที่น่ากังวลว่าอาจทำให้การปฏิบัติงานการถ่ายภาพรังสีที่ไม่นำค่าดัชนีรังสีมาพิจารณาอาจส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีเกินจำเป็นได้

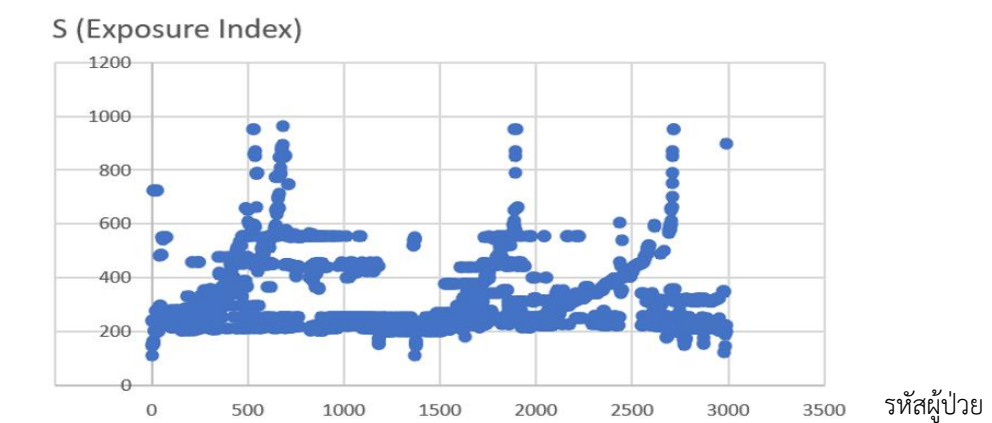
ดังนั้น จึงแบ่งช่วงค่าดัชนีรังสีตามที่บริษัทแนะนำจาก 3 ระดับเป็น 5 ระดับเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีที่ผ่านร่างกายผู้ป่วยไปยังอุปกรณ์รับรังสีตามตารางที่ 2 โดยวิธีเปรียบเทียบบัญญัติไตรยางค์ (Exposure in micro gray: S-Values) เพื่อหาค่าเทคนิคที่เหมาะสมโดยได้ภาพถ่ายรังสีที่คมชัดและผู้ป่วยรับรังสีน้อยที่สุด

ตารางที่ 5 แสดงค่าปริมาณรังสีที่อุปกรณ์รับรังสี, ดัชนีรังสี EI; S-Values, Threshold Guide ออกเป็น 5 ระดับตามความถี่/ร้อยละ ของการถ่ายภาพเอกซเรย์เคลื่อนที่ภาพรังสีทรวงอกทารกแรกคลอดหอผู้ป่วยวิกฤติ โรงพยาบาลชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

ข้อมูล 4 ปี ของช่วง เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จำนวนทารก 2,989 ราย					
Exposure in micro gray	S-Values (EI)	Threshold Guide	ความถี่ที่พบ (ราย)	ร้อยละ	
>10	<200	Over	39	1.30	
8	201 - 299	High	1625	54.35	
5	300- 499	Optimum exposure	945	31.62	
3	500 - 699	Lower	336	11.25	
<2.5	>700	Under	44	1.48	

จากตารางที่ 5 จะพบว่ามีทารกแรกคลอดที่มีค่าดัชนีรังสีอยู่ระหว่างช่วง S-Values 200-299 จำนวน 1,625 รายคิดเป็นร้อยละ 54.35 วัดปริมาณรังสีที่อุปกรณ์รับภาพได้มากกว่า 8 ไมโครเกรย์ (micro gray) และเมื่อพิจารณาในกลุ่มที่มีค่าดัชนีรังสีในช่วง S-Values 300-700 มีจำนวน 1,281 ราย คิดเป็นร้อยละ 44.87 วัดปริมาณรังสีที่อุปกรณ์รับภาพได้ประมาณ 3-5 ไมโครเกรย์ (micro gray) ซึ่งสามารถลดปริมาณรังสีลงได้ถึงร้อยละ 50 ในขณะที่ภาพถ่ายรังสียังสามารถใช้ประกอบการรักษาได้เหมือนเดิมหรือกล่าวได้ว่ามีทารก 1,664 รายรับปริมาณรังสีเกินจำเป็น

ดังนั้น นักรังสีการแพทย์ผู้ปฏิบัติงานที่มีคุณภาพจะต้องไม่เพียงแต่พยายามเลือกตั้งค่าเทคนิคในการสร้างภาพเพื่อให้ค่าดัชนีรังสีอยู่ในช่วงที่บริษัทกำหนดเท่านั้นแต่ต้องเลือกค่าดัชนีรังสีในช่วง S-value 300-700 ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่บริษัทกำหนดแล้วยังทำให้ปริมาณรังสีที่ตัวรับภาพลดลงได้ ร้อยละ 50-77 ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับลดลงด้วย มีรายงานการวิจัยในต่างประเทศทั้งจากการสำรวจและการศึกษาในหุ่นจำลองที่พบว่าการสร้างภาพรังสีทรวงอกโดยเครื่องสร้างภาพรังสีด้วยคอมพิวเตอร์ที่สามารถลดปริมาณรังสีให้กับผู้ป่วยได้ และค่าดัชนีรังสียังอยู่ในขอบเขตที่กำหนดและคุณภาพของภาพรังสียังเป็นที่ยอมรับได้



กราฟที่ 1 แสดงการกระจายของค่าดัชนีรังสี S-Values (EI) กับจำนวนรายที่ถ่ายภาพรังสี ทรวงอกทั้งหมด 4 ปี (พ.ศ.2559-2562) จำนวน 2,989 ราย

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากกราฟที่ 1 พบการกระจายของข้อมูลค่าดัชนีรังสีมาก อาจเนื่องจากค่าดัชนีรังสียังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกมาก เช่นอวัยวะที่ใช้ถ่ายภาพ ความหนา ค่ากิโลโวลต์ และค่ากระแสอิเล็กตรอน การเปิดปิดคอลลิเมเตอร์ (collimator) การปรับเทียบเครื่องเอกซเรย์ระบบ CR (computed radiography) ระยะทางจากจุดกำเนิดรังสี ถึงแผ่นรับภาพ หรือเกิดจากการตั้งค่าเทคนิคของนักรังสีการแพทย์ตามความเคยชิน ด้วยการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยแบบย้อนหลังจึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า แนวโน้มการตั้งค่าทางเทคนิคที่มีผลทำให้ค่าดัชนีรังสี S-Values ประมาณ 200 หรือต่ำกว่าซึ่งเป็นปรากฏการณ์การใช้ปริมาณรังสีมากขึ้นตามปรากฏการณ์ dose creep ซึ่งส่งผลต่อผู้ป่วยโดยตรง¹² จากการติดตามประเมิน¹³ การถ่ายภาพเอกซเรย์ระบบ CR พบเหตุการณ์ Dose Creep เพิ่มขึ้น มีงานวิจัยสนับสนุนภาวะ Dose Creep นี้ที่เกิดขึ้นจริง¹⁵ และมีแนวโน้มเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และจะเกิดมากขึ้นในงานประจำ หากไม่มีการประเมินและเฝ้าระวัง¹⁴ ด้วยความจำเป็นดังกล่าวจึงควรให้ความสำคัญค่าดัชนีชี้วัดรังสี (Exposure Index: EI) ที่พัฒนาสำหรับเครื่องเอกซเรย์ระบบ CR (computed radiography) โดยบริษัทฟูจิใช้สัญลักษณ์ดัชนีรังสี S-Values สร้างมาเพื่อวัดค่าความไว (Sensitivity) โดยประเมินค่าหัววัดรังสีที่เก็บสัญญาณและภาพแฝงที่เกิดขึ้นและมีระบบการปรับแต่งภาพ (re-scale)¹⁴ เป็นวิธีการที่จะสะท้อนกลับให้นักรังสีการแพทย์นำมาใช้ทบทวนหลักการถ่ายภาพรังสีที่มีคุณภาพและให้ปริมาณรังสีที่เหมาะสม¹⁶

แนวทางในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมนักรังสีการแพทย์แบ่งออกเป็น 3 ระยะ โดยระยะที่หนึ่ง คือ การสรุปรายงานผลการวิจัยให้ทีมนักรังสีทราบ พร้อมสร้างความตระหนัก ทบทวนความรู้ ทักษะการปฏิบัติงาน และจัดตั้งผู้รับผิดชอบร่วมกันออกแบบตารางเทคนิค แนวทางการรายงานค่าดัชนีรังสีประจำเดือน

และกำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จ ระยะที่ 2 คือเก็บข้อมูลค่าดัชนีรังสีประจำเดือนและการรายงานให้ทุกคนทราบผลการปฏิบัติ ระยะที่ 3 การติดตามผลอย่างต่อเนื่อง มีการรายงานทุกเดือน

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย เพื่อการใช้ค่าดัชนีรังสีที่ถูกต้องและเพื่อการลดปริมาณรังสีแก่ทารกแรกคลอดและผู้ป่วยทั่วไป หน่วยงานรังสีวิทยาควรจัดให้มีการฝึกอบรมอย่างสร้างความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องมืออยู่เสมอ เพราะในหน่วยงานมีเครื่องมือสร้างภาพทางรังสีหลายบริษัท ซึ่งกำหนดค่าดัชนีรังสีที่ใช้สัญลักษณ์ไม่เหมือนกัน อาจสร้างความสับสนให้นักรังสีการแพทย์ผู้ปฏิบัติงานได้ ทั้งนี้การอบรมการทบทวนการปฏิบัติงาน การสร้างตารางเทคนิคเพื่อกำหนดปริมาณรังสีในแต่ละอวัยวะควรมีการทวนสอบอยู่เสมอและจัดไว้ประจำเครื่องมือแต่ละเครื่อง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรทำการการศึกษาแบบไปข้างหน้าด้วย (Experimental Perspective Study) เนื่องจากการเก็บข้อมูลค่าดัชนีรังสีมีปัจจัยเกี่ยวข้องมาก หากสามารถควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ การวิเคราะห์ข้อมูลจะถูกต้องและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

เอกสารอ้างอิง

1. Takaki, T, Takeda, K., Murakami, S., Ogawa, H., Ogawa, M., Sakamoto, M. Evaluation of the effects of subject thickness on the exposure index in digital radiography. Radiological physics and technology, 2016;9(1), 116-120.
2. Wouter JHV, Lucia JMK, Jacob G: Dose and perceived image quality in chest radiography. Eur Radiol 72:209-217, 2009

3. International Atomic Energy Agency (IAEA): Optimization of the radiological protection of patients undergoing radiography, fluoroscopy and computed tomography. Vienna: IAEA, 2004
4. European Commission: Guidance on diagnostic reference levels for medical exposures. Radiation protection 109. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999
5. Hart D, Hillier MC, Wall BF: Doses to patients from medical X ray examinations in the UK 2000 review. Oxford: National Radiological Protection Board Publication, 2002
6. Gray JE, Archer BR, Butler PF, et al: Reference values for diagnostic radiology: application and impact. Radiology 235:354–358, 2005
7. International Commission on Radiological Protection (ICRP): Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93. Annals of the ICRP 34, No. 1. Oxford: Pergamon Press, 2004
8. Willis CE. Computed radiography: a higher dose? Pediatr Radiol 2002; 32:745–750
9. Sonoda M, Takano M, Miyahara J, Kato H. Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. Radiology 1983; 148:833–838
10. Willis CE, Slovis TL. The ALARA concept in pediatric CR and DR: dose reduction in pediatric radiographic exams-a white paper conference executive summary. Pediatr Radiol 2004; 34(suppl3):S162–S164
11. Aichinger H, Dierker J, Joite-Barfuß S, S€abel M. Chapter 9: Image Quality and Dose. In: Aichinger H, Dierker J, Joite-Barfuß S, S€abel M (ed). Radiation Exposure and Image Quality in X-Ray Diagnostic Radiology: Physical Principles and Clinical Applications, 2nd edn. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012; 87.
12. Cohen MD, Cooper ML, Piersall K, Apgar BK. Quality assurance: Using the exposure index and the deviation index to monitor radiation exposure for portable chest radiographs in neonates. Pediatr Radiol 2011; 41: 592–601.
13. Gibson DJ, Davidson RA. Exposure creep in computed radiography: A longitudinal study. Acad Radiol 2012; 19: 458–62.
14. Shepard SJ, Wang J, Flynn M, et al. An exposure indicator for digital radiography. College Park (MD): American Association of Physicists in Medicine; July 2009; 92 p. Report No: 116.

15. Andriole KP, Ruckdeschel TG, Flynn MJ, et al. ACRAAPM-SIIM practice guidelines for digital radiography. *J Digit Imaging* 2013; 26: 26–37.
16. Seibert JA, Morin RL. The standardized exposure index for digital radiography: An opportunity for optimization of radiation dose to the pediatric population. *Pediatr Radiol* 2011; 41: 573–81.
17. International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment – Exposure index of digital X-ray imaging systems- Part 1: Definitions and requirements for general radiography. IEC, Geneva, Switzerland, 2008 International standard 62494-1.
18. Neitzel U. The Exposure Index and its Standardization 2006 [Internet]. Philips Medical Systems, Hamburg, Germany; Available from: http://www.dimond3.org/Trier_2006/Exposure_Index_Standardization.pdf [Accessed 2013 November 18].
19. Goske MJ, Charkot E, Herrmann T, et al. Image gently: Challenges for radiologic technologist when performing digital radiography in children. *Pediatr Radiol* 2011; 41:611–9.
20. Don S (2004) Radiosensitivity of children: potential for overexposure in CR and DR and magnitude of doses in ordinary radiographic examinations. *Pediatr Radiol* 34(Suppl 3):S167–172,discussion S234-241
21. Uffmann M, Schaefer-Prokop C (2009) Digital radiography: the balance between image quality and required radiation dose. *Eur J Radiol* 72:202–208
22. Vaño E, Fernández JM, Ten Ignacio J et al (2007) Transition from screen-film to digital radiography: evolution of patient radiation doses at projection radiography. *Radiology* 243:461–466
23. International Commission on Radiological Protection (2004) Managing patient dose in digital radiology: a report of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 34:1–73
24. Mothiram, U., Brennan, P. C., Lewis, S. J., Moran, B., Robinson, J. (2014). Digital radiography exposure indices: A review. *Journal of medical radiation sciences*, 61(2), 112-118.
25. Zhang, M., & Chu, C. (2012). Optimization of the radiological protection of patients undergoing digital radiography. *Journal of digital imaging*, 25(1), 196-200.