งานวิจัยประเมินค่าดัชนีรังสี (EI) ภาพถ่ายรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ ช่วงปี พ.ศ. 2563-2565 โรงพยาบาลชัยภูมิ

บุญธรรม โมทอง*

บทคัดย่อ

การวิจัยแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าดัชนีรังสีภาพถ่ายรังสีทรวงอก เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของบริษัทผู้ผลิต โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิของผู้มารับบริการตั้งแต่ ปี พ.ศ.2563 – 2565 จำนวน 900 แผ่นภาพ (ปีละ 300 แผ่นภาพ) แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง คือ ปี พ.ศ.2563 ใช้ระบบดิจิทัล Mobile PHILIPS และ ปี พ.ศ.2564 – 2565 ใช้ระบบดิจิทัล Mobile FUJIFILM พรรณนาข้อมูลด้วย จำนวน ร้อยละ และวิเคราะห์เปรียบเทียบช่วงภาพถ่ายรังสีที่เหมาะสมด้วยสถิติ Z-test สำหรับค่าสัดส่วน

ผลวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยใน ปี พ.ศ.2563 เมื่อใช้ Mobile PHILIPS พบว่าดัชนีรังสี (EI) ภาพถ่ายรังสีทรวงอกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานของบริษัท (Optimum 300 – 100) ร้อยละ 12.3 (95% CI: 8.6, 16.1) และ ร้อยละ 87.3 (95% CI: 83.6, 91.1) ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ มีค่า EI ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ (Under exposure EI > 300) ขณะที่ค่า EI สูงกว่าเกณฑ์ (Over exposure EI < 100) มีจำนวนค่อนข้างน้อย เพียง ร้อยละ 0.3 (95% CI: -0.31, 0.9) ทั้งนี้ ประมาณการณ์ค่าสัดส่วนดังกล่าวในประชากร ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05) และใน ปี พ.ศ. 2564 – 2565 ซึ่งใช้ Mobile FUJIFILM พบว่าค่า EI อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่เหมาะสม ร้อยละ 21.2 (95% CI: 17.9, 24.4) และอยู่ต่ำกว่าช่วงมาตรฐาน ร้อยละ 0.3 (95% CI: -0.13, 0.8) ขณะที่ ร้อยละ 78.5 (95% CI: 75.2, 81.8) อยู่ในช่วงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเช่นเดียวกับบริษัท PHILIPS ค่าสัดส่วนดังกล่าว ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบในประชากร (p-value > 0.05)

การใช้งานดิจิทัล Mobile ของทั้งสองบริษัท ยังให้ค่า EI ในช่วงมาตรฐานค่อนข้างน้อย (ร้อยละ 12.3 – 21.2) และมีลักษณะสวนทางกันใน 2 บริษัท โดยของบริษัท PHILIPS มีสัดส่วนสูงในกลุ่ม Under และต่ำในกลุ่ม Over ขณะที่ บริษัท FUJIFILM ให้สัดส่วนสูงในกลุ่ม Over และต่ำในกลุ่ม Under ทั้งนี้ การพัฒนาความรู้และทักษะของบุคลากรผู้ใช้งานระบบ อาจต้องได้รับการพิจารณาปรับปรุง

คำสำคัญ: ค่าดัชนีรังสี, ภาพถ่ายรังสีทรวงอก, ระบบดิจิทัล Mobile

*กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

ส่งเรื่องตีพิมพ์: 29 สิงหาคม 2566
อนุมัติตีพิมพ์: 21 พฤศจิกายน 2566

Research study assessed exposure Index (EI) in chest radiograph of mobile units during 2020 - 2022 Chaiyaphum Hospital

Boontham Mothong*

Abstract

Cross-sectional research (Cross-sectional study) aimed to evaluate radiographic index values on chest radiographs. Compared with the standard criteria of the manufacturing company Using secondary data of service recipients from 2020 - 2022, a total of 900 images (300 images per year), dividing the analysis into 2 periods: year 2020 using the Mobile PHILIPS digital system and Year 2021 - 2022 use the Mobile FUJIFILM digital system. Describe data with numbers, percentages and analyze and compare appropriate radiographic ranges with Z-test statistics for proportion values.

The research results are divided into 2 periods. In 2020, when using Mobile PHILIPS, it was found that the radiation index (EI) of chest radiographs was in the appropriate range according to the company's standard criteria (Optimum 300 - 100) at 12.3 percent (95 % CI: 8.6, 16.1) and 87.3 percent (95% CI: 83.6, 91.1), which is a large group, had EI values at the level below the threshold (Under exposure EI > 300) while EI values were above the threshold (Over exposure EI). < 100) had a relatively small number, only 0.3 percent (95% CI: -0.31, 0.9). However, the estimated value of this proportion in the population is estimated. Not statistically significant (p-value > 0.05) and in the years 2021 - 2022 using Mobile FUJIFILM, it was found that the EI value was within the appropriate range of 21.2 percent (95% CI: 17.9, 24.4) and below the standard range, 0.3 percent (95% CI: -0.13, 0.8) while 78.5 percent (95% CI: 75.2, 81.8) were in the range above the standard. And just like PHILIPS Company, the said proportion value Not statistically significant when compared in the population (p-value > 0.05).

Mobile digital usage of both companies still gives EI values within the standard range that are quite low (12.3 - 21.2 percent) and have opposite characteristics in the two companies, with PHILIPS Company having a high proportion in the Under group and low in the Over group, while At FUJIFILM Company, the proportion is high in the Over group and low in the Under group. This is due to the development of knowledge and skills of personnel who use the system. May need to be considered for improvement.

Keyword: Exposure Index, Chest Radiograph, Mobile Digital System

*Radiology Department Chaiyaphum Hospital

Submission: 29 August 2023

Publication: 21 November 2023

ความเป็นมาและความสำคัญ

มากกว่า ร้อยละ 50 ในการถ่ายภาพรังสีของกลุ่มงานรังสีวิทยา คือการถ่ายภาพรังสีทรวงอก ซึ่งดำเนินการด้วยระบบถ่ายภาพรังสีแบบดิจิทัล โดยได้ถูกนำมาใช้เมื่อเกือบ 30 ปีที่แล้ว ปัจจุบันระบบดังกล่าวได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและกำหนดให้เป็นมาตรฐานเทคโนโลยีของศูนย์รังสีวิทยาส่วนใหญ่[1,2] ทั้งนี้การพัฒนาระบบดังกล่าวก่อให้เกิดผลดีกว่าระบบเก่า (ระบบฟิล์ม) เนื่องจากระบบดิจิทัลมีช่วงไดนามิกของพารามิเตอร์ในการเปิดรับรังสี[2,3] สามารถสร้างภาพในช่วงปริมาณรังสีที่เหมาะสมมากขึ้น[1] ไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของภาพ[4-6] นอกจากนี้ ระบบดิจิทัลสามารถรับข้อมูลและการประมวลผลภาพที่เร็วกว่า มีช่วงใช้งานที่กว้างกว่า สามารถปรับความเปรียบต่างและความสว่างรวมถึงมีฟังก์ชันการจัดภาพแบบอิเลคทรอนิกส์ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของระบบดิจิทัลที่มากกว่าระบบฟิล์ม อย่างไรก็ตามการประเมินปริมาณรังสีที่ได้รับยังเป็นข้อจำกัดของระบบดังกล่าว[7]

ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการปรับค่าดัชนีรังสีให้เหมาะสมในระบบดิจิทัลมี 3 ประการได้แก่ ค่าเทคนิคที่ตั้งค่าเพื่อการถ่ายภาพรังสี ปริมาณรังสี และคุณภาพของภาพรังสีที่มีผลต่อการวินิจฉัย[8] ปัจจุบันผู้ผลิตระบบดิจิทัลได้ประดิษฐ์ตัวบ่งชี้ (indicator) ที่เรียกว่าค่าดัชนีรังสี (exposure index: EI) โดยค่า EI แต่ละบริษัทจะเรียกชื่อและกำหนดช่วงคะแนนที่แตกต่างกัน เช่น บริษัท Care stream เรียก exposure index บริษัท Philips เรียก exposure index Siemens เรียก exposure index ขณะที่บริษัท Fujifilm เรียก S-Values เป็นต้น ความผกผันของค่า EI กับปริมาณรังสี เช่น บางบริษัทกำหนดหากค่า EI เพิ่มขึ้น ค่าปริมาณรังสีจะเพิ่มขึ้น แต่บางบริษัท EI เพิ่มขึ้นแต่ค่าปริมาณรังสีลดลง เป็นต้น ความหลากหลายดังที่กล่าวมา สร้างความสับสนให้กับหน่วยบริการที่ใช้งานระบบดิจิทัลหลากหลายบริษัท จำเป็นต้องอ้างอิงเกณฑ์ความเหมาะสมของค่า EI มากำหนดคุณภาพของภาพที่แตกต่างกัน[2,3] ดังนั้นสถาบันที่เป็นหน่วยงานมาตรฐานสากลได้แก่ International Electrotechnical Commission (IEC) และ American Association of Physicists in Medicine (AAPM) ร่วมกับผู้ผลิตจึงสร้างเกณฑ์มาตรฐานเพื่อกำกับควบคุมและข้อเสนอแนะกับผู้ใช้[8,9]

อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการประกาศมาตรฐาน IEC[6] ในการควบคุมคุณภาพรังสีเคลื่อนที่ (QC) ในการตรวจสอบภาพ มักจะพบกรณีความคลาดเคลื่อนเกินขีดจำกัดค่า EI (off-limit deviations) ของความแม่นยำ (accuracy) เทียบกับช่วงค่าเหมาะสม (optimal range EI) แม้ว่าจะใช้ระบบโหมดการปรับอัตโนมัติในระบบเอกซเรย์ (AEC) การเบี่ยงเบนนี้สังเกตได้ชี้ให้เห็นถึงการกระเพื่อมของค่า EI บนภาพ และค่าความไม่ถูกต้องเหล่านี้ส่งผลกระทบทางคลินิกได้เช่นกัน นอกจากนี้ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐาน EI ที่สอดคล้องกับสภาพของเครื่องเอกซเรย์และการประเมินสภาพผู้ป่วย อาจทำให้ช่วง EI มีแนวโน้มที่จะกว้างเกินไป หรือ การที่ผู้ผลิตแต่ละรายคิดค้นวิธีการคำนวณการรับรังสีของตัวรับภาพเอง มีการใช้คำจำกัดความต่างๆ มากมายของ EI ทำให้เกิดปัญหาความไม่สะดวกในการปฏิบัติทางคลินิก ส่งผลต่อการให้ค่า EI สูงขึ้นหรือต่ำลง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการยอมรับในที่สุด จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า ในประเทศไทยยังมีการศึกษาเรื่องนี้ค่อนข้างน้อย โดยมีงานวิจัยเพียง 4 เรื่องเท่านั้นที่ค้นพบ โดยการศึกษาของ วีณา (2566)[13] พบว่าค่า EI อยู่ในช่วงเหมาะสม (Optimum) ร้อยละ 71.8 โดยอยู่ในช่วงสูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 9.7 และต่ำกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 16.3 ใกล้เคียงกับการศึกษาของ ภัทรทิยา

หมอยา และคณะ (2563)[10] และบรรจง เขื่อนแก้ว และคณะ (2555)[12] ที่พบในช่วงเหมาะสม ร้อยละ 75.0 และ 69.0 ตามลำดับ ขณะที่ จริญญา เต็งชัยภูมิ และคณะ[11] รายงานว่าค่า EI อยู่ในช่วงเหมาะสมน้อยกว่า ร้อยละ 50.0 ทั้งนี้ การศึกษาดังกล่าว ยังมีความแตกต่างกันในขนาดของสัดส่วน

จากการสำรวจปัญหาพบวิธีการทำงานของบุคลากรในกลุ่มงานรังสีวิทยา ผู้ปฏิบัติงานถ่ายภาพรังสีมักไม่สนใจค่า Exposure Index (EI) ที่แสดงในหน้าจอมอนิเตอร์จึงเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเกินขีดจำกัดค่า EI เทียบกับช่วงค่าเหมาะสม (optimal range EI) ที่บริษัทกำหนด ยังมีปัจจัยแทรกในช่วงสามปี ในปี พ.ศ. 2563 โรงพยาบาลชัยภูมิ ใช้เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล ของบริษัท Philips และมีช่วงค่าเหมาะสมค่าหนึ่ง ในสองปีต่อมา โรงพยาบาลชัยภูมิ ได้เปลี่ยนมาใช้เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัลของบริษัท Fujifilm และมีช่วงค่าเหมาะสมที่แตกต่างจากเดิมของบริษัท Philips ในช่วงสามปีที่ใช้งานเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัลยังไม่เคยมีงานวิจัยที่สรุปผลการปฏิบัติงานและการประเมินประสิทธิผลเมื่อเทียบกับช่วงค่าเหมาะสมที่แต่ละบริษัทกำหนดที่นำมาใช้ประเมินคุณภาพผลงานของนักรังสีการแพทย์มาก่อน จึงนำมาเป็นหัวข้อวิจัยเพื่อประเมินค่าสัดส่วน EI เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของบริษัท ของโรงพยาบาลชัยภูมิ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินค่าดัชนีรังสี คุณภาพภาพถ่ายรังสีทรวงอกของหน่วยบริการถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่

2. เพื่อวิเคราะห์จำนวน ค่าร้อยละ ของภาพรังสีภาพรังสีที่อยู่ในช่วงเหมาะสม และถูกคัดออกอิงเกณฑ์พิจารณาภาพรังสีแบบใหม่ ในงานถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่ระบบดิจิทัลที่ใช้ระหว่างปี พ.ศ.2563-2565

3. เพื่อแสวงหาแนวทางปรับปรุงการให้บริการและยกระดับคุณภาพภาพรังสีของหน่วยบริการถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่

นิยามศัพท์

ค่าดัชนีรังสี หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณรังสีที่อุปกรณ์รับรังสี (แผ่น DR) ในระบบดิจิตอลได้รับ บ่งชี้ถึงความไว (Sensitivity : S) และการตอบรับของหัววัดรังสีต่อลำรังสี (สะท้อนการตั้งค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสม) under exposure, optimum, over exposure

ภาพถ่ายรังสีทรวงอก หมายถึง การถ่ายภาพบริเวณทรวงอก โดยเครื่องเอกซเรย์ซึ่งทำให้เห็นภาพของอวัยวะภายในทรวงอก

ระบบดิจิทัล Mobile หมายถึง เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล มีแผ่น DR รับรังสีเพื่อการสร้างภาพ

ระเบียบวิธีวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้มีรูปแบบการวิจัยแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) โดยเก็บข้อมูลย้อนหลัง (retrospective data) ระหว่าง ปี พ.ศ. 2563 - 2565 ค่า EI จะอิงตามเกณฑ์มาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนเกินขีดจำกัดของ 2 บริษัท ประกอบด้วย บริษัท PHILIPS และ บริษัท FUJIFILM ที่แบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงที่เหมาะสม (Optimum) ช่วงต่ำกว่าเกณฑ์ (Under exposure) ช่วงสูงกว่าเกณฑ์ (Over exposure) ดังตาราง

เกณฑ์อ้างอิง EI ส่วนที่ถ่ายภาพ (Chest EI-VALUE) ที่บริษัทผู้ผลิต กำหนด

***(Philips): Chest EI-VALUE 300-100**

****(Fuji): Chest EI-VALUE 800-200**

ANATOMICAL REGION	EI-VALUE		
	under	optimum	over
Chest(Philips)	>300	300-100	<100
Chest(Fuji)	>800	800-200	<200

* ** บริษัทผู้ผลิต กำหนด

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของงานวิจัยนี้ คือ ภาพถ่ายรังสีทรวงอกเคลื่อนที่จากระบบดิจิทัลโรงพยาบาลชัยภูมิ ในช่วง ปี พ.ศ. 2563 - 2565 ซึ่งมีเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล อยู่สองบริษัท คือ PHILIPS และ FUJIFILM ทั้งนี้ พบว่า มีจำนวนเฉลี่ย 27,797 ราย

การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Sample size calculation) เป็นการคำนวณขนาดตัวอย่างของจำนวนภาพถ่ายรังสีทรวงอก ซึ่งจะใช้วิเคราะห์แทนกลุ่มตัวอย่างจริง (หนึ่งภาพถ่ายแทน 1 บุคคล) จากประชากรเฉลี่ยในรอบ 3 ปี 27,797 ราย คำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยสูตรประมาณการค่าสัดส่วน ดังนี้

$$n = \frac{\chi^2 \, Np\,(1-p)}{e^2\,(N-1) + \chi^2\, p\,(1-p)}$$

เมื่อ N = แทนจำนวนประชากรเฉลี่ย = 27,797 ราย

p = 0.82 อ้างอิงจากงานวิจัยของกลุ่มรังสีวิทยา โรงพยาบาลพระพุทธบาท (2562) ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คะแนนเฉลี่ย 0.82 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45 คิดเป็น ร้อยละ 82.4 = 3.841

e = ระดับค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ กำหนดไว้ที่ร้อยละ 5 ของค่า p

คำนวณจากโปรแกรมออนไลน์ เวปไซด์ https://select-statistics.co.uk/calculators/sample-size-calculator-population-proportion/ ได้ขนาดตัวอย่างจากการคำนวณจำนวน 222 ราย แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวนตัวอย่าง เป็น 300 ราย ในแต่ละปี

ขั้นตอนการถ่ายภาพรังสีทรวงอกจากระบบดิจิทัล Mobile

1. ลงทะเบียนผู้ป่วยที่ต้องการถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ผ่านระบบ HOSxp
2. ดึงรายชื่อไว้ในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ นำเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ ไปยังหอผู้ป่วยที่ร้องขอเพื่อถ่ายภาพรังสี
3. ตรวจสอบข้อมูลผู้ป่วยเช่น HN, ชื่อ-สกุล, อายุ และส่วนที่ต้องการถ่ายภาพรังสีให้ถูกต้องก่อนถ่ายภาพรังสี
4. จัดท่าโดยทรวงอกผู้ป่วยอยู่ในขอบเขตแผ่นรับรังสี (DR) เปิดลำรังสีให้ครอบคลุมและตั้งฉากกับแผ่น DR
5. ตั้งค่าเทคนิค (kV, mAs) ให้เหมาะสมกับความหนาทรวงอกของผู้ป่วย ทำการถ่ายภาพรังสี
6. ตรวจสอบคุณภาพภาพถ่ายรังสีและประเมินค่า EI ของภาพ ส่งภาพเข้าระบบจัดเก็บภาพ (PACS)

ระยะเวลาที่ทำวิจัย

ระหว่างเดือน เมษายน ถึง สิงหาคม 2566 รวมระยะเวลา 5 เดือน

เครื่องมือที่ใช้และการเก็บรวบรวมข้อมูล

เป็นแบบฟอร์มที่ผู้วิจัยออกแบบ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลอิเล็คทรอนิคส์ (ระบบ HosXP) ของโรงพยาบาล ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ไปตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา โดยผู้มีประสบการณ์จำนวน 3 ท่านเพื่อตรวจสอบความถูกต้องความครอบคลุมและเหมาะสมของเนื้อหา ตัวแปรที่ศึกษา สรุปความเห็นผู้เชี่ยวชาญแบบเก็บข้อมูลมีความเหมาะสม ไม่ขัดจริยธรรม และสอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการ วัตถุประสงค์ตัวแปรที่ศึกษา เครื่องมือมีความถูกต้องและมีความตรงตามเนื้อหา
แบบฟอร์มทั้ง 3 มีดังนี้

1) แบบฟอร์มที่ 1 ประกอบด้วย ลำดับ ข้อมูลส่วนที่ถ่ายภาพ (อวัยวะ) ปีที่ถ่ายภาพ จำนวนภาพ จำนวนภาพที่คัดออก ของผู้ป่วยที่รับบริการถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ระบบดิจิทัล กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

2) แบบฟอร์มที่ 2 ประกอบด้วย อายุ เพศ ค่าดัชนีรังสี EI (Philips: EI, Fuji: S-VALUE) และความถี่ของส่วนที่ถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ระบบดิจิทัล กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

3) แบบฟอร์มที่ 3 ประกอบด้วย ข้อมูลภาพถ่ายรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ในช่วงปี พ.ศ. 2563 - 2565 บันทึกข้อมูล ปี ส่วนที่ถ่ายภาพ ระบุสาเหตุ จำนวนภาพรังสีคัดออก ระบุสาเหตุ

การจัดเก็บข้อมูลภาพรังสีของผู้ป่วยที่เข้ารับบริการถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ในระบบดิจิทัล เฉพาะจากฐานข้อมูลในหน่วยความจำ ที่บันทึกภาพถ่ายทางรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลของกลุ่มงานรังสีวิทยาโรงพยาบาลชัยภูมิ ระหว่างปี 2563 - 2565 แบบมีการสุ่มเลือกตัวอย่างของแต่ละเดือนที่ตรงกันในช่วงสามปี จัดเก็บทุกวันที่ 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 วันละ 30 ราย โดยนับจากเลขลำดับที่ลงทะเบียน ตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 30 จนครบ 300 รายในแต่ละปี

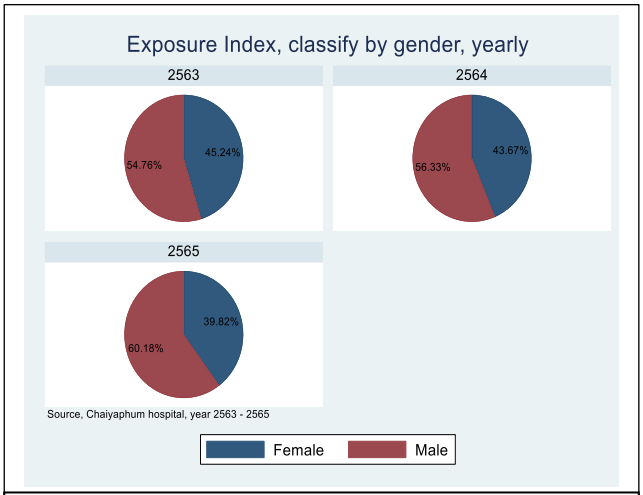
สถิติวิเคราะห์

ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในการอธิบายข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย จำนวน ร้อยละ สำหรับข้อมูลแบบแบ่งกลุ่ม (Categorical data) และ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับข้อมูลต่อเนื่อง (Continuous data) และวิเคราะห์ค่าสัดส่วนประมาณการณ์ช่วงเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ของกลุ่มในช่วงเหมาะสม (Optimum) ต่ำกว่าเกณฑ์ (Under exposure) และสูงกว่าเกณฑ์ (Over exposure) ด้วยสถิติ Z-test สำหรับค่าสัดส่วน

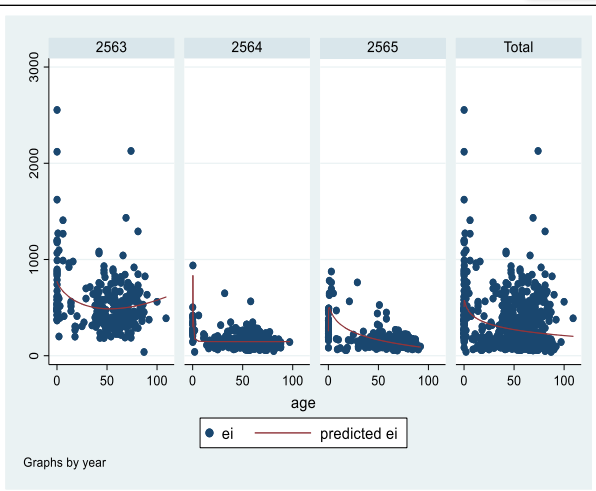
ผลการวิจัย

จากจำนวนภาพถ่ายรังสีทรวงอกเคลื่อนที่จำนวน 900 แผ่นภาพ เฉลี่ยปีละ 300 ภาพ (พ.ศ. 2563 – 2565) พบสัดส่วนการถ่ายภาพของเพศชายมากกว่าเพศหญิงเล็กน้อย โดยพบสัดส่วนมากกว่า ร้อยละ 54.8 ถึง ร้อยละ 60.2 ในเพศชาย และ ร้อยละ 39.8 ถึง ร้อยละ 45.2 ในเพศหญิง เมื่อจำแนกเป็นรายปี

และหากพิจารณาอายุของผู้ที่มารับบริการถ่ายภาพรังสีทรวงอก จะพบว่า มีอายุเฉลี่ยระหว่าง 49.16 ปี ถึง 54.29 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2563 - 2565 ทั้งนี้ อายุเฉลี่ยในภาพรวม เท่ากับ 52.29 ปี (sd.=25.99) ทั้งนี้ พบว่าอายุและค่าดัชนีรังสี (EI) มีความสัมพันธ์แบบผกผันในระดับต่ำ (correlation = -0.30)



รูปภาพที่ 1 ค่าดัชนีรังสี (EI) จำแนกเพศ แยกรายปี



รูปภาพที่ 2 ค่าดัชนีรังสี (EI) เทียบอายุ แยกรายปี

และจากการประเมินค่า EI ระหว่าง ปี พ.ศ. 2563 - 2565 เพื่อพิจารณาค่าความเหมาะสมตามเกณฑ์ของบริษัทโดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ปี พ.ศ. 2563 ใช้เครื่องบริษัท Philips พบว่า แผ่นภาพรังสี จำนวน 300 แผ่นภาพ เข้าเกณฑ์เหมาะสม (Optimum) จำนวน 37 ตัวอย่าง คิดเป็น ร้อยละ 12.3 ซึ่งหากนำไปใช้ในบริบทอื่นที่ใกล้เคียงกับสถานที่วิจัยนี้ อาจจะเข้าเกณฑ์ ร้อยละ 8.6 ถึง 16.1 และมีค่าต่ำกว่า (Under exposure) จำนวน 262 แผ่นภาพ คิดเป็น ร้อยละ 87.3 (95 % CI: 83.6, 91.1) และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ (Over exposure) จำนวน 1 แผ่นภาพ คิดเป็น ร้อยละ 0.3 (95% CI: -0.31, 1.0) ทั้งนี้ ผลจากการประเมินค่าสัดส่วนในประชากร ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05)

ระยะที่ 2 ปี พ.ศ. 2564 - 2565 ใช้เครื่องบริษัท Fuji Film จำนวน 600 แผ่นภาพ พบว่า เข้าเกณฑ์มาตรฐานของบริษัท จำนวน 127 แผ่นภาพ คิดเป็นร้อยละ 21.2 ความน่าจะเป็นในประชากร อยู่ระหว่างร้อยละ 17.9 ถึง ร้อยละ 24.4 ขณะที่ อยู่ในช่วงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ร้อยละ 0.3 (95% CI: -0.1, 0.8) และสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ร้อยละ 78.5 (95% CI: 75.2, 81.8) และเช่นเดียวกับบริษัท Philips ผลการประเมินเมื่ออิงประชากร ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value > 0.05) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า EI จำแนกตามกลุ่ม แยกราย ปี พ.ศ. และบริษัท

Group	n	%	se	Lower Limit	Upper limit	p-value
พ.ศ.2563 (PHILIP)						
- เหมาะสม (Optimum)	37	12.3	1.9	8.6	16.1	0.999
- ต่ำกว่า (Under exposure)	262	87.3	1.9	83.6	91.1	0.999
- สูงกว่า (Over exposure)	1	0.333	0.332	-0.31	1.0	0.992
พ.ศ.2564-2565 (FUJIFILM)						
- เหมาะสม (Optimum)	127	21.2	1.7	17.9	24.4	0.998
- ต่ำกว่า (Under exposure)	2	0.3	0.2	-0.1	0.8	0.989
- สูงกว่า (Over exposure)	471	78.5	1.7	75.2	81.8	1.000

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยประเมินผลค่าดัชนีรังสี (EI) ภาพถ่ายรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2563 - 2565 โรงพยาบาลชัยภูมิ ให้ผลวิจัยว่า อัตราความเหมาะสมของค่าดัชนีรังสีภาพถ่ายรังสีทรวงอกของหน่วยงานที่ตรวจโดยหน่วยตรวจเคลื่อนที่ ยังมีสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของบริษัท ซึ่งให้ผลที่คล้ายคลึงกันทั้งสองบริษัท อยู่ใน ร้อยละ 12.3 – 21.2 ซึ่งถือว่ายังต่ำอยู่มาก แต่ทั้งนี้ ยังพบความแตกต่างอีกประเด็น คือ อัตราความไม่เหมาะสมของค่า EI ที่เป็นค่าต่ำกว่าและสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของสองบริษัท มีความผกผันกัน กล่าวคือ ของบริษัท Philips จะมีสัดส่วนของ Under exposure ที่มากกว่า ขณะที่บริษัท Fuji Film มีสัดส่วนของ Over exposure ที่มากกว่า จากผลการวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบ ค่าสัดส่วนดัชนีรังสี (EI) ภาพถ่ายรังสีทรวงอกของหน่วยถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่ ของกลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ และทราบค่าความคลาดเคลื่อนเกินขีดจำกัดของค่า EI เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ 2 บริษัท ด้วยผลลัพธ์ที่พบนี้จะได้นำไปพัฒนาปรับปรุงการตั้งค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมต่อไป

จากผลวิจัยผู้วิจัยพบประเด็นในการอภิปราย ดังนี้

1) ประเด็นความเหมาะสม (Optimum) ในสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อย

จากผลวิจัย ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของการศึกษาอื่น ๆ ในประเทศไทย มาเทียบเคียง จะพบว่ามีความต่างในการแบ่งเกณฑ์คุณภาพที่ต่างกันทั้ง 5 ระดับ (Under, Low, Optimum, High, Over) และ 3 ระดับ (Under, Optimum, Over) อย่างไรก็ตามน้ำหนักจะให้ความสำคัญกับช่วง Optimum มากที่สุดและควรทำให้ได้มากที่สุดหากนำเป้าหมายของกลุ่มงานที่กำหนดภาพรังสีด้อยคุณภาพ (Reject Image) ไม่ควรเกิน10% แต่เมื่อมาพิจารณาจากผลวิจัยพบว่ายังไม่มีสถาบันหรือโรงพยาบาลใดที่ได้ผลลัพธ์ดังที่กล่าวมาดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบงานวิจัยค่า EI กับงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย/ปี	EI				
	Accept				
	Under %	Low %	Optimum %	High %	Over %
วีณา 2566 พุทธชินราช (พล)[13]	0	0.5	71.8	9.7	16.3
จริญญา เต็งชัยภูมิ และคณะ (พ.ศ.2562)[11]	-		< 50.0	-	
ภัทรทิยา หมอยา และคณะในปี 2563[10]	-		75.0	-	
บรรจง เขื่อนแก้ว และคณะ ในปี 2555[12]	16.0		69.0	15.0	
บุญธรรม โมทอง (พ.ศ.2566)	87.3 %		12.3 %	0.3 % * (Philips)	
	0.3 %		21.2 %	78.5 %*(Fuji)	

หมายเหตุ แต่ละงานวิจัยมี ค่าสัดส่วน และค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และนำมาเปรียบเทียบกันของช่วงของ EI ในแต่ละช่วงเวลา

2) ประเด็น ความผกผันของค่า Under exposure และ Over exposure ของ 2 บริษัท

ในช่วงสามปี (ปี 2563-2565) กลุ่ม Optimum มีอัตราต่ำเมื่อเทียบกับเป้าหมายของกลุ่มงานที่ตั้งไว้ (>90%) และเทียบกับงานวิจัยอื่น (ตารางที่ 2) จากการ

เก็บข้อมูล ค่า EI จำนวน 300 ตัวอย่างในแต่ละปี พบว่า ปี 2563 (Philips) ค่า EI สูงสุดอยู่ที่ 2554 สูงกว่าช่วงเหมาะสม (100-300) จัดว่า Under ค่า EI ต่ำสุดอยู่ที่ 39 ซึ่งจัดว่า Over ค่า EI เฉลี่ยอยู่ที่ 574 ก็ยังอยู่ช่วง Under ในส่วนค่ามัธยฐานเมื่อเอาข้อมูลมาจัดเรียงจากน้อยไปมากมีค่า 482 (Under) ส่วนฐานนิยม (จำนวนข้อมูลที่ซ้ำกันมาก) ค่า EI อยู่ที่ 460 (Under) ปี 2564 (Fuji) ค่า EI สูงสุดอยู่ที่ 938 สูงกว่าช่วงเหมาะสม (200-800) จัดว่า Under ค่า EI ต่ำสุดอยู่ที่ 40 ซึ่งจัดว่า Over ค่า EI เฉลี่ยอยู่ที่ 159.92 ก็ยังอยู่ช่วง Over ในค่ามัธยฐานมีค่า 132 (Over) ส่วนฐานนิยมค่า EI อยู่ที่ 132 (Over) ปี 2565 (Fuji) ค่า EI สูงสุดอยู่ที่ 875 สูงกว่าช่วงเหมาะสม (200-800) จัดว่า Under ค่า EI ต่ำสุดอยู่ที่ 54 ซึ่งจัดว่า Over ค่า EI เฉลี่ยอยู่ที่ 170.29 ก็ยังอยู่ช่วง Over ในค่ามัธยฐานมีค่า 132 (Over) ส่วนฐานนิยมค่า EI อยู่ที่ 110 (Over)

จากข้อมูลในงานวิจัยในช่วงสามปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2563 ช่วงใช้งาน Mobile Philips ค่าดัชนีรังสีเบี่ยงเบนออกนอกช่วงเหมาะสมค่อนไปทางค่าที่ต่ำกว่า (under) ในอัตราที่สูง (ร้อยละ) สลับกันในช่วงสองปีถัดมา (พ.ศ.2564- 2565) เมื่อใช้งาน Mobile FUJIFILM ค่าดัชนีรังสีเบี่ยงเบนออกนอกช่วงเหมาะสมค่อนไปทางค่าที่สูงกว่า (over) ในอัตราที่สูง (ร้อยละ) ข้อมูลในงานวิจัยจึงไม่สอดคล้องกับสมมุติฐานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากการเปลี่ยนจากระบบฟิล์มมาใช้ระบบดิจิทัล ในขณะเดียวกันเมื่อใช้ระบบดิจิทัลหน่วยงานเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ใช้อยู่และแตกต่างกันของช่วงค่าเหมาะสมที่กำหนดเป็นตัวเลข ความไม่คุ้นชินกับระบบการถ่ายภาพรังสีแบบดิจิทัลจึงตั้งค่าเทคนิคที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป ผลจากการเปลี่ยนระบบจากบริษัทหนึ่งไปอีกบริษัทหนึ่ง ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานมีความกังวลเกี่ยวกับคุณภาพของภาพ จึงเลือกตั้งค่าปริมาณสูงแล้วมาปรับแต่งภาพภายหลังหรือสภาวะที่เรียก Dose creep หรือ dose drift เหตุนี้แนวโน้ม Dose creep จึงเกิดขึ้นตลอดเวลา

ผลลัพธ์จากการใช้งานระบบดิจิทัลช่วงปี พ.ศ.2563-2565 อาจมีสาเหตุสำคัญ ดังนี้

(1) ความรู้ ความเข้าใจระบบดิจิทัลมีน้อย การถ่ายทอดองค์ความรู้จากบริษัทที่ติดตั้งมีเวลาสั้นมาก เนื่องจากระบบการถ่ายภาพรังสีมีความซับซ้อนและยุ่งยาก ในเมื่อเวลาจำกัดในการถ่ายทอดจึงส่งผลต่อการตัดสินใจและใช้เกณฑ์ใหม่มากำหนดคุณภาพ จึงสร้างปัญหาให้กับผู้ปฏิบัติงานในการใช้งานระบบฯ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shepard SJ และคณะในปี 2009[8]

(2) ความรู้ ความเข้าใจ วิชาการในเรื่องดัชนีรังสีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภาพถ่ายรังสีต้องใช้เวลาศึกษาอย่างยาวนานก่อนนำมาใช้งาน

มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาปัญหาเรื่องดัชนีรังสี เช่นงานวิจัยของ ภัทรทียา หมอยาและคณะ ประเมินค่าดัชนีรังสี EI ในการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอกเด็ก ณ โรงพยาบาลสมิติเวชศรีนครินทร์ ในช่วงสองเดือน พ.ศ.2562 วัตถุประสงค์เพื่อสร้างตารางเทคนิคที่เหมาะสมในการถ่ายภาพรังสีทรวงอกของเด็กโดยเก็บข้อมูลเด็กชายและเด็กหญิง 214 ราย อายุแรกเกิดจนถึง 17 ปี ที่เข้ามารับบริการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอกในท่านอนหงายและท่ายืน ตัวแปรที่ศึกษา เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า kV, mAs, SID, grid และใช้การถ่ายภาพรังสีอัตโนมัติ เก็บข้อมูลดัชนีรังสี เทียบกับค่าดัชนี EI ที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ผลวิจัย ส่วนใหญ่ค่าดัชนีรังสี อยู่ในช่วงเหมาะสม ยกเว้นในท่า AP upright ค่าดัชนีรังสีอยู่นอกในช่วงเหมาะสม ร้อยละ 25 ผลการศึกษานี้เน้นย้ำความสำคัญของค่าดัชนีรังสี สามารถนำมากำหนดคุณภาพของภาพรังสี[10]

งานวิจัยของ บรรจง เขื่อนแก้ว และคณะ ในปี 2555 ประเมินค่าดัชนีรังสี (EI) จากการถ่ายภาพรังสีทรวงอกท่า PA ที่โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อประเมินค่าดัชนีรังสีช่วงค่า เหมาะสมบนจอภาพรวบรวมข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีทรวงอก 1,005 ราย ผลสำรวจค่าดัชนีรังสีช่วงค่าเหมาะสม ร้อยละ 69.0 ค่ามากกว่า ร้อยละ 15.0 และน้อยกว่าที่ ร้อยละ16.0 สรุปค่าดัชนีรังสีส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์เหมาะสม ข้อเสนอแนะควรมีการปรับเทียบค่าดัชนีรังสี จากบริษัทผู้ผลิต เพื่อใช้เป็นค่าที่สะท้อนถึงปริมาณรังสีที่ใช้ในควบคุมการคุณภาพของภาพต้องมีการอบรมการใช้งานระบบดิจิทัล[12] จากข้อมูลการใช้งานระบบดิจิทัลในช่วงสามปี พ.ศ. 2563 - 2565 พบปัญหาค่าดัชนีรังสีจากการถ่ายภาพรังสีเคลื่อนที่ในระบบดิจิทัล ของกลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ เบี่ยงเบนออกนอกช่วงกำหนดในอัตราที่สูง ที่มีสาเหตุมาจากตั้งค่าปริมาณรังสีน้อยเกินไป (under) และตั้งค่าปริมาณรังสีมากเกินไป (over) จึงควรมีการทบทวน จัดประชุมระดมความคิดเห็นของบุคลากรผู้ใช้งาน สร้างความตระหนักในด้านคุณภาพ ควรจัดการอบรมจากนักวิชาการเกี่ยวกับค่าดัชนีรังสี และประสานขอคำแนะนำจากบริษัทผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามพบว่าทั่วโลกประสบปัญหาค่าดัชนีรังสีออกนอกช่วงเหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่พบสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทำให้ทราบข้อบกพร่องที่ต้องนำไปพัฒนา จุดเด่นของงานวิจัยนี้ทำให้หน่วยงานรังสีวิทยาต้องตระหนักถึงระดับคุณภาพของภาพรังสียังต่ำกว่าเกณฑ์ที่บริษัทกำหนด และมีค่าต่ำกว่างานวิจัยที่อื่นๆ จากการทบทวนวรรณกรรม และจะเป็นประเด็นที่ต้องพัฒนาต่อไปในอนาคต

ด้านนโยบาย การปฏิบัติงานด้านรังสีต้องใช้ปริมาณรังสีให้น้อยที่สุดเพียงพอแก่การวินิจฉัยโรค ลดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีเกินความจำเป็น ผู้วิจัยในฐานะที่ร่วมรับผิดชอบในด้านนโยบาย จึงแสวงหาแนวทางแก้ไขปัญหาต่อไป

ด้านปฏิบัติ ร่วมประชุมหารือในกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน สร้างความตระหนักให้กับนักรังสีการแพทย์ที่ปฏิบัติงานถ่ายภาพรังสี ให้เข้าใจถูกต้องเกี่ยวกับค่าดัชนีรังสี และปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีรังสี โดยกำหนดเป้าหมาย เพื่อเพิ่มระดับคุณภาพผลงานให้สูงขึ้น

ด้านการวิจัย ค่าดัชนีรังสีออกนอกช่วงค่าเหมาะสมเป็นปัญหาที่ทั่วโลกประสบ การสร้างงานวิจัยเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ และค้นหาสาเหตุ จึงเป็นโอกาสการพัฒนางานประจำ

แนวทางการแก้ปัญหาในอนาคตที่จะเกิดขึ้นในกลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

จากข้อมูลในงานวิจัยที่พบว่าในช่วงสามปี (ปี 2563 - 2565) คุณภาพของภาพรังสี กลุ่ม Optimum มีอัตราต่ำเมื่อเทียบกับเป้าหมายของหน่วยงานที่ตั้งไว้ และเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ซึ่งอาจมีหลากหลายสาเหตุซึ่งจะต้องค้นหาต่อไปเพื่อนำมาเป็นประเด็นในการพัฒนางาน อย่างไรก็ตามความสำคัญอยู่ที่ความร่วมมือของบุคลากรที่ปฏิบัติงานที่ต้องหลอมรวมแนวคิดที่จะปรับปรุง และแก้ไของค์ความรู้ และแนวคิดที่ถูกต้องและสัมพันธ์กับค่าดัชนีรังสี (EI) ซึ่งเป็นวิทยาการสมัยใหม่ที่เกิดขึ้นในภายหลัง หลังจากที่คุ้นชินกับระบบการใช้ฟิล์มมานาน การปรับแนวคิดและทัศนคติต่อเทคโนโลยีใหม่และการปรับตัวนับเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและท้าทายให้ศึกษาค้นคว้า

ความรู้มาใช้ในการปฏิบัติงาน นับเป็นเรื่องที่ยากที่จะโน้มน้าวให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวบุคคลที่ปฏิบัติงาน ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นทุกที่และมีการเปิดเผยข้อมูลค่าดัชนีรังสี (EI) ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของหน่วยงานนั้น ๆ จากการค้นคว้าในงานวิจัยที่ถูกนำเสนอยังไม่พบงานวิจัยใดที่สามารถแก้ปัญหาได้ลุล่วง จากข้อมูลที่พบนี้จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในอนาคต ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงนำประเด็นความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีรังสี (EI) ออกนอกเกณฑ์กำหนด มาเป็นประเด็นที่จะออกแบบงานวิจัยเพื่อให้ได้ภาพรังสีในกลุ่ม Optimum มีอัตราที่สูงขึ้นและถึงระดับเป้าหมายของหน่วยงาน แม้ว่าจะมีปัญหาและอุปสรรครออยู่แต่ก็จะเป็นเรื่องที่ท้าทายความสามารถเป็นอย่างยิ่ง สำหรับแนวทางการวิจัยและข้อมูลบางประการที่ผู้วิจัยได้กำหนดแผนงานคร่าว ๆ ไว้แล้ว และจะนำเข้าสู่ที่ประชุมของกลุ่มบุคลากรในโอกาสต่อไป นับเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องมาแก้ไขเพื่อให้สัมฤทธิ์ผลในอนาคตอันใกล้

จริยธรรมการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้รับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยเกี่ยวกับมนุษย์โรงพยาบาลชัยภูมิ กระทรวงสาธารณสุข เอกสารเลขที่ 024/2566

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมจริยธรรมและศูนย์วิจัยโรงพยาบาลชัยภูมิ ที่อนุมัติการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการ บุคลากรประจำกลุ่มงานรังสีวิทยา และขอขอบคุณหัวหน้าหน่วยงานที่สนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ จนทำให้งานศึกษาวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Rochmayanti D, Wibowo GM, Fatimah, Setiawan AN. Implementation of exposure index for optimize image quality and patient dose estimation with computed radiography (a clinical study of adult posteroanterior chest and anteroposterior abdomen radiography). Journal of Physics: Conference Series. 2019;1153:012032.
2. Schaefer-Prokop CM, De Boo DW, Uffmann M, Prokop M. DR and CR: Recent advances in technology. Eur J Radiol. 2009;72(2):194–201.
3. Uffmann M, Schaefer-Prokop C. Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose. Eur J Radiol. 2009;72(2):202–8.
4. Vano E, Fernandez Soto JM. Patient dose management in digital radiography. Biomed Imaging Interv J. 2007;3(2):e26.
5. Vaño E, Fernández JM, Ten JI, Prieto C, González L, Rodríguez R, et al. Transition from screen-film to digital radiography: Evolution of patient radiation doses at projection radiography. Radiology. 2007;243(2):461–6.
6. International Commission on Radiological Protection. Managing patient dose in digital radiology. A report of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 2004;34(1):1–73.

7. Lanca L, Silva A. Evaluation of Exposure Index (IgM) in Orthopaedic Radiography. Radiat Prot Dosimetry. 2008;129(1-3):112-8.
8. Shepard SJ, Wang J, Flynn M, et al. An exposure indicator for digital radiography. American Association of Physicists in Medicine, College Park, Maryland. 2009;116:92.
9. Don S, Whiting BR, Rutz LJ, Apgar BK. New exposure indicators for digital radiography simplified for radiologists and technologists. AJR Am J Roentgenol. 2012;199(6):1337–41.
10. ภัทรทิยา หมอยา, นาตาชา แสงเพ็ชร, สิริกาญจน์ ธรรมดอน, เสริมศักดิ์ แสงเพ็ชร, ธวัช สิริวิลาสลักษณ์, ยะดา เสนาะสันต์. การประเมินค่าดัชนีวัดปริมาณรังสีในการถ่ายภาพเอกซเรย์ทรวงอกเด็กจากการสร้างภาพรังสีด้วยระบบดิจิทัล. วารสารรังสีเทคนิค. 2563;45(1):28-34.
11. จริญญา เต็งชัยภูมิ, จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, เพชรากร หาญพานิชย์. การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานและเทคนิคการถ่ายภาพทางรังสี ในโรงพยาบาลหนองสูง จังหวัดมุกดาหาร. วารสารการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ. 2563;27(1):111-22.
12. บรรจง เขื่อนแก้ว, วิชัย วิชชาธรตระกูล, ปนัสดา อวิคุณประเสริฐ. การประเมิน S value ในการสร้างภาพทรวงอกท่า PA จากระบบการสร้างภาพรังสีด้วยคอมพิวเตอร์ของผู้ป่วยที่รับบริการในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารเทคนิคการแพทย์. 2555;47:23-9.
13. วีณา ผูกพานิช. "การประเมินค่าดัชนีวัดปริมาณรังสี ในการถ่ายภาพรังสีทรวงอกเคลื่อนที่ ด้วยระบบดิจิทัลโรงพยาบาลพุทธชินราช พิษณุโลก." ประชุมวิชาการรังสีเทคนิค ประจำปี 2566. สมาคมศิษย์เก่ารังสีเทคนิคราชมาธิบดี.