

ประสิทธิผลของการปรับปรุงระบบถ่ายภาพดิจิทัล
ในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่*

THE EFFECTIVENESS OF THE DIGITAL IMAGING SYSTEM
IMPROVEMENT IN MOBILE X-RAY UNITS

สิรินาถ สุนทรวัฒน์¹ และ จงวัฒน์ ชีวกุล²

Sirinath Sunthonwat¹ and Jongwat Cheewakul²

¹กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลปากพนัง นครศรีธรรมราช

¹Department of Radiology, Pakphanang Hospital, Nakhon Si Thammarat, Thailand

²หลักสูตรรังสีเทคนิค สาขารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²Radiological Technology Program, Department of Radiology, Faculty of Medicine,
Prince of Songkla University, Thailand

Corresponding Author's Email: jongwatcheewakul@hotmail.com

วันที่รับบทความ : 22 มิถุนายน 2568; วันที่แก้ไขบทความ 30 มิถุนายน 2568; วันที่ตอบรับบทความ : 2 กรกฎาคม 2568

Received 22 June 2025; Revised 30 June 2025; Accepted 2 July 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและติดตั้งระบบถ่ายภาพดิจิทัลในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ของระบบ BMI ที่มีอยู่เดิม 2) เปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีและประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน (workflow) ระหว่างเครื่อง BMI ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วกับเครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลแบบสำเร็จรูป และ 3) ประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบถ่ายภาพดิจิทัลในพื้นที่ที่ขาดแคลนทรัพยากรทางการแพทย์ เช่น เรือนจำหรือชุมชนห่างไกล โดยการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบคุณภาพของภาพและปริมาณรังสีระหว่างเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่

Citation:



* สิรินาถ สุนทรวัฒน์ และ จงวัฒน์ ชีวกุล. (2568). ประสิทธิภาพของการปรับปรุงระบบถ่ายภาพดิจิทัลในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่. วารสารส่งเสริมและพัฒนาวิชาการสมัยใหม่, 3(4), 574-587.

Sirinath Sunthonwat and Jongwat Cheewakul. (2025). The Effectiveness Of The Digital Imaging System Improvement In Mobile X-Ray Units. Modern Academic Development and Promotion Journal, 3(4), 574-587.;

DOI: <https://doi.org/10.>

<https://so12.tci-thaijo.org/index.php/MADPIADP/>

BMI ที่ได้รับการดัดแปลงติดตั้งระบบถ่ายภาพดิจิทัล (DR) กับเครื่อง Solution for Tomorrow ผลการวิจัยพบว่า 1. เครื่อง BMI ที่ผ่านการติดตั้งระบบดิจิทัลสามารถให้คุณภาพของภาพในระดับที่ใกล้เคียงกับเครื่อง DR Solution โดยมีความแตกต่างของค่า SNR เพียง 5.8% ($p < 0.05$) 2. เวลาในการสร้างภาพของระบบ DR – BMI และ DR – Solution อยู่ที่ 12 วินาที และ 9 วินาที ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระบบ CR ที่ใช้เวลาสูงถึง 240 วินาที แสดงให้เห็นว่าระบบ DR ช่วยลดเวลาได้มากกว่า 90% 3. แม้ DR – BMI จะสามารถลดเวลาการประมวลผลภาพได้ แต่ยังพบความแปรปรวนของเวลาทำงานรวมสูง (600 วินาที) เมื่อเทียบกับ DR – Solution ซึ่งมี workflow ที่สม่ำเสมอกว่า (300 วินาที) แสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงมีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวม ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการติดตั้งระบบดิจิทัลในเครื่องเอกซเรย์ที่มีอยู่เดิมสามารถยกระดับการให้บริการภาพถ่ายรังสีในพื้นที่จำกัดทรัพยากรได้ แต่หากต้องการประสิทธิภาพสูงสุด ควรพิจารณาใช้ระบบที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานเฉพาะทางโดยตรง

คำสำคัญ: ระบบเอกซเรย์เคลื่อนที่, การถ่ายภาพดิจิทัล, ประสิทธิภาพเวิร์กโฟลว์, หุ่นจำลอง, ปริมาณรังสี

Abstract

The objectives of this study were 1) To design and install a digital radiography (DR) system on an existing mobile X-ray unit of the BMI system. 2) To compare the image quality and workflow efficiency between the upgraded BMI unit and a ready-made digital radiography system (Solution for Tomorrow). 3) To evaluate the feasibility of implementing a digital radiography system in resource-limited settings such as prisons or remote communities. In this study, a retrofit DR system was installed on a mobile BMI X-ray unit and compared with a commercial DR system (Solution) and a conventional computed radiography (CR) system. Chest phantom images were acquired under simulated clinical conditions. The images were analyzed using radiation indices including Exposure Index (EI), Deviation Index (DI), and Signal-to-Noise Ratio (SNR). Workflow efficiency was evaluated by measuring the average time taken at

each step of the imaging process. The results revealed that 1) The upgraded BMI unit produced image quality comparable to the commercial DR system, with only a 5.8% difference in SNR ($p < 0.05$). 2) The image processing time for DR-BMI and DR-Solution systems was 12 seconds and 9 seconds, respectively, compared to 240 seconds for the CR system, indicating that DR systems reduced processing time by over 90%. 3) Although the DR-BMI system reduced image processing time, it exhibited higher variability in total workflow time (600 seconds) compared to the DR-Solution system (300 seconds), highlighting the importance of system design tailored to practical use. This study suggests that retrofitting digital systems into existing mobile X-ray units can enhance radiographic services in resource-limited settings. However, for optimal performance, dedicated digital radiography systems specifically designed for mobile use may be more appropriate.

Keywords: Mobile X-ray, Digital Imaging, Workflow Efficiency, Phantom Study, Radiation Dose

บทนำ

ปัจจุบันระบบบริการทางรังสีวิทยามีบทบาทสำคัญในการวินิจฉัยโรคและช่วยในการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ฉุกเฉินหรือภาวะวิกฤตที่ต้องการการถ่ายภาพที่รวดเร็วและแม่นยำ แนวนโยบายของสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีการถ่ายภาพทางการแพทย์และการลดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับให้ได้มากที่สุด ภายใต้แนวคิด ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ซึ่งสนับสนุนให้มีการปรับปรุงเครื่องมือทางรังสีให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตาม เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่บางรุ่นที่ใช้งานอยู่ในโรงพยาบาลระดับอำเภอหรือสถานพยาบาลขนาดเล็กยังคงเป็นระบบถ่ายภาพแอนะล็อก (CR system) ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านระยะเวลาการสร้างภาพ คุณภาพของภาพ และการส่งต่อข้อมูลเข้าสู่ระบบ PACS อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำให้ใช้ระบบ DR (Digital Radiography) ช่วยลดเวลาลดการถ่ายภาพซ้ำ และเพิ่มคุณภาพของภาพได้อย่างชัดเจน (Toppenberg et al., 2020)

ที่โรงพยาบาลปากพนัง เครื่อง BMI แบบเคลื่อนที่ยังคงใช้งานระบบ CR (Computed Radiography) ซึ่งใช้เวลานานและเกิดปัญหาด้านเวิร์กโฟลว์ โดยเฉพาะเมื่อใช้งานในหอผู้ป่วยวิกฤตหรือผู้ต้องขังที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนย้าย แม้ว่าจะมีความพยายามดัดแปลงติดตั้งระบบ DR เข้าไปในเครื่อง BMI เดิมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ยังคงขาดข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เปรียบเทียบกับระบบ DR สมบูรณ์ เช่น เครื่อง Solution for Tomorrow

จากสภาพปัญหาดังกล่าว การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีและประสิทธิภาพของเวิร์กโฟลว์ของเครื่อง BMI ที่ได้รับการดัดแปลงระบบถ่ายภาพใหม่ โดยใช้หุ่นจำลองแทนผู้ป่วยเพื่อลดความเสี่ยงทางจริยธรรม และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เที่ยงตรงก่อนจะนำไปใช้ในคลินิกอย่างเป็นทางการ ซึ่งผลการศึกษานี้จะช่วยเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบถ่ายภาพให้เหมาะสมกับบริบทของสถานพยาบาลระดับอำเภอ และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบถ่ายภาพดิจิทัลในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ของระบบ BMI ที่มีอยู่เดิม โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องเอกซเรย์แบบเคลื่อนที่ให้รองรับการแปลงภาพดิจิทัลทันที โดยไม่ต้องพึ่งพาการอ่านฟิล์มหรือเครื่อง CR แบบเดิม
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีและประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน (workflow) ระหว่างเครื่องเอกซเรย์ระบบ BMI ที่ได้รับการปรับปรุงด้วยระบบ DR และเครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลสำเร็จรูป (Solution for Tomorrow) โดยพิจารณาจากค่าดัชนีรังสี (EI, DI, SNR) และระยะเวลาการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน
3. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบถ่ายภาพดิจิทัลในพื้นที่ที่ขาดแคลนทรัพยากรทางการแพทย์ เช่น เรือนจำ หรือพื้นที่ชนบทห่างไกล โดยคำนึงถึงความสามารถในการติดตั้ง การใช้งานจริง และความคุ้มค่าของการลงทุนในระบบ DR แบบดัดแปลง (Retrofit)

การทบทวนวรรณกรรม

มีการศึกษาที่เน้นการประเมินประสิทธิภาพของระบบถ่ายภาพรังสีในสถานการณ์จริง โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระหว่างระบบดิจิทัล (Digital Radiography: DR) และระบบแอ

นะล็อก (Computed Radiography: CR) ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ได้รับความนิยมในวงการรังสีเทคนิค เนื่องจากความรวดเร็ว ความเสถียร และความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบ DR ที่ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับเวิร์กโฟลว์ทางคลินิก

Toppenberg และคณะ, (2020) ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ (Mobile X-ray) นอกสถานพยาบาล โดยรวบรวมข้อมูลจากการใช้งานในสถานการณ์ภาคสนาม หน่วย ICU และพื้นที่จำกัดต่าง ๆ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือการเน้นถึงข้อได้เปรียบของการใช้ระบบ DR (Digital Radiography) แทน CR (Computed Radiography) ซึ่งสามารถลดเวลาในการประมวลผลภาพ เพิ่มความแม่นยำ และส่งต่อภาพเข้าสู่ระบบ PACS ได้รวดเร็วขึ้น ผู้วิจัยยังระบุว่า การใช้เครื่อง DR mobile ช่วยลดภาระบุคลากรลดความเสี่ยงในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และสามารถใช้งานในจุดที่ไม่มีห้องเอกซเรย์ถาวรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Targett และคณะ, (2023) ศึกษาการเพิ่มคุณภาพของภาพจากเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ด้วยการใช้ software scatter correction ซึ่งเป็นเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากรังสีกระเจิง (scatter radiation) โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจหรืออยู่ใน ICU ซึ่งไม่สามารถขยับตัวได้สะดวก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ภาพที่ได้หลังจากผ่านการปรับปรุงด้วยซอฟต์แวร์นี้ มีความชัดเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้การวินิจฉัยทำได้แม่นยำมากขึ้น และลดการถ่ายภาพซ้ำ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลดปริมาณรังสีสะสมทั้งต่อผู้ป่วยและบุคลากร

Inscoe และคณะ, (2024) พัฒนาและทดสอบต้นแบบของ mobile chest tomosynthesis ซึ่งเป็นระบบถ่ายภาพทรวงอกแบบสามมิติชนิดเคลื่อนที่ได้ โดยใช้การจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดรังสี (X-ray source array) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดสูง โดยเฉพาะในกรณีที่มีการทับซ้อนของอวัยวะ (overlapping structures) ผลการทดลองพบว่าภาพที่ได้จากระบบใหม่นี้สามารถแยกโครงสร้างทรวงอกที่ซับซ้อนได้ดีกว่าภาพ 2 มิติทั่วไป และช่วยในการวินิจฉัยโรคปอดแฝงได้แม่นยำยิ่งขึ้น แสดงถึงความก้าวหน้าในการออกแบบระบบ DR ให้เหมาะสมกับการใช้งานแบบเคลื่อนที่

Seibert และคณะ, (2006) เป็นเอกสารแนวทางจาก American Association of Physicists in Medicine (AAPM) ซึ่งให้คำแนะนำด้าน การตรวจรับและควบคุมคุณภาพของระบบถ่ายภาพรังสีดิจิทัล (Digital Radiographic Imaging Systems) โดยเน้นการประเมินค่าต่าง ๆ เช่น signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), linearity,

resolution และปริมาณรังสีที่ปล่อยออกมาในแต่ละการถ่ายภาพ โดยแนะนำให้ใช้ Phantom ในการตรวจสอบค่าดังกล่าว ซึ่งช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องได้โดยไม่ต้องใช้ผู้ป่วย

Clement และคณะ, (2017) เป็นแนวทางการป้องกันอันตรายจากรังสีในระบบถ่ายภาพดิจิทัล ที่จัดทำโดย International Commission on Radiological Protection (ICRP) โดยเน้นการใช้หลักการ ALARA (As Low As Reasonably Achievable) เพื่อควบคุมปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยและบุคลากรได้รับให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แนวทางนี้สนับสนุนให้เลือกใช้เทคโนโลยีถ่ายภาพที่มีคุณภาพสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการฉายซ้ำ และกำหนดขอบเขตการใช้งานของเครื่องเอกซเรย์อย่างปลอดภัย รวมถึงการฝึกอบรมบุคลากรและใช้เครื่องมือประเมินรังสีอย่างสม่ำเสมอ

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบถ่ายภาพ CR และ DR โดยใช้ phantom ช่วยให้การควบคุมตัวแปรได้ดี และยังเป็นแนวทางที่ปลอดภัย ไม่ต้องใช้ผู้ป่วยในการศึกษาโดยตรง การศึกษานี้จึงตอบโจทย์ทั้งด้านคุณภาพของภาพ ปริมาณรังสีที่เหมาะสม และความเหมาะสมในการใช้งานจริงในคลินิก โดยเฉพาะในสถานพยาบาลระดับอำเภอที่มีข้อจำกัดด้านบุคลากรและทรัพยากรเครื่องมือ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบคุณภาพของภาพและปริมาณรังสีระหว่างเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ BMI ที่ได้รับการดัดแปลงติดตั้งระบบถ่ายภาพดิจิทัล (DR) กับเครื่อง Solution for Tomorrow ซึ่งเป็นระบบ DR สมบูรณ์ โดยใช้หุ่นจำลองแทนการทดลองในมนุษย์ และเครื่องเอกซเรย์ทั้ง 2 เครื่อง (BMI retrofit และ Solution for Tomorrow) ได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐานโรงพยาบาลก่อนเริ่มการทดลอง

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัย ประกอบด้วย เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่จำนวน 2 เครื่อง (BMI retrofit และ Solution for Tomorrow) และหุ่นจำลองที่ใช้ในการวัดผล ซึ่งประกอบด้วย Chest Phantom สำหรับจำลองทรวงอกผู้ป่วย และ TOR CDR Phantom สำหรับประเมิน

คุณภาพความคมชัดของภาพ กลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติม ได้แก่ นักรังสีเทคนิคจำนวน 3 คนที่ทำหน้าที่ทดลองใช้งานเครื่อง และประเมินเวิร์กโฟลว์ของเครื่องทั้งสอง

3. วิธีการได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่าง

ใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเลือก Phantom Chest ตามมาตรฐานที่ใช้ในงานควบคุมคุณภาพภาพ และเลือกนักรังสีเทคนิคจากบุคลากรที่มีประสบการณ์ใช้งานเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ และปฏิบัติงานประจำในหน่วยรังสีวิทยาของโรงพยาบาลปากพนัง

4. การสร้างและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพของภาพ ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ SNR, CNR ที่ได้จากซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพหลังถ่าย, การวัดปริมาณรังสี (mGy) ใช้เครื่องวัดรังสีที่ผ่านการสอบเทียบจากหน่วยงานมาตรฐาน

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีขั้นตอนที่ชัดเจนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสามารถเปรียบเทียบระบบเอกซเรย์แต่ละประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 เตรียมหุ่นจำลองทรวงอก (Chest Phantom)

ใช้หุ่นจำลองที่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีใกล้เคียงกับร่างกายมนุษย์ เพื่อจำลองสถานการณ์การถ่ายภาพในผู้ป่วยจริง

5.2 ติดตั้งระบบ DR ในเครื่อง BMI

เครื่องเอกซเรย์แบบเคลื่อนที่ของ BMI ที่มีอยู่เดิมได้รับการปรับปรุงด้วยการติดตั้งระบบดิจิทัล (Retrofit DR System) เพื่อให้สามารถถ่ายภาพและแสดงผลแบบทันที

5.3 เลือกเครื่องเปรียบเทียบ

ใช้เครื่องเอกซเรย์ระบบ CR แบบดั้งเดิม และเครื่องเอกซเรย์ดิจิทัลสำเร็จรูป (DR – Solution) เพื่อเปรียบเทียบกับ DR – BMI

5.4 ดำเนินการถ่ายภาพในสถานการณ์จำลอง

ถ่ายภาพหุ่นจำลองด้วยทั้งสามระบบภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมเท่าเทียมกัน เช่น ค่าพลังงานรังสี (kVp, mAs), ระยะทาง, มุมเครื่อง และการตั้งค่าที่เกี่ยวข้อง

5.5 บันทึกค่าดัชนีรังสี

Exposure Index (EI): ค่าดัชนีที่บ่งชี้ระดับปริมาณรังสีที่ตกกระทบตัวรับภาพ

Deviation Index (DI): ค่าเปรียบเทียบกับ EI เบี่ยงเบนไปจากค่ามาตรฐานเท่าใด

Signal-to-Noise Ratio (SNR): ใช้เพื่อประเมินคุณภาพของภาพ
เวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน: เช่น เวลาเริ่มต้นการถ่ายภาพ, เวลาประมวลผลภาพ, เวลาแสดงภาพ

5.6 บันทึกและจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ

ใช้แบบฟอร์มกำกับการเก็บข้อมูลและตารางเวลาทำงาน (workflow sheet) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลได้ในเชิงสถิติ

5.7 นำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์

เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าทางสถิติต่าง ๆ เช่น ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์ทั้งสามระบบ (CR, DR-BMI, DR-Solution) ถูกนำมาวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน (workflow efficiency) โดยมีแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

6.1 วิเคราะห์คุณภาพของภาพ

ค่าดัชนีรังสีที่ใช้วิเคราะห์

- Exposure Index (EI): ใช้วิเคราะห์ปริมาณรังสีที่ตกกระทบตัวรับภาพของแต่ละระบบ
- Deviation Index (DI): ใช้ตรวจสอบว่าปริมาณรังสีที่ได้รับเบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐานมากน้อยเพียงใด
- Signal-to-Noise Ratio (SNR): ใช้วิเคราะห์คุณภาพของภาพโดยเปรียบเทียบสัญญาณของอวัยวะเป้าหมายกับระดับสัญญาณรบกวน

สถิติที่ใช้

- คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของแต่ละค่าดัชนี
- ทดสอบความแตกต่างของค่า SNR ระหว่างแต่ละระบบด้วย (Independent t-test) กรณีเปรียบเทียบ 2

6.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน (Workflow)

ข้อมูลที่วิเคราะห์

- ระยะเวลาเฉลี่ยในการสร้างภาพ (Image processing time)
- เวลารวมในการดำเนินการแต่ละภาพ (Total workflow time)

สถิติที่ใช้

- วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาในแต่ละระบบด้วย One-way ANOVA
- หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะใช้ Post hoc analysis เพื่อตรวจสอบ

ความแตกต่างแบบรายคู่

6.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา

คำนวณ ค่าความแปรปรวน (Variance) และ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV) เพื่อตรวจสอบความเสถียรของระบบในการใช้งานจริง

6.4 เครื่องมือวิเคราะห์

จัดการข้อมูลและวิเคราะห์สถิติ กำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $p < 0.05$

การวิเคราะห์ข้อมูลนี้ทำให้สามารถสรุปผลเชิงเปรียบเทียบอย่างชัดเจน ว่าระบบใดให้คุณภาพของภาพและประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด รวมถึงชี้ให้เห็นข้อจำกัดและความเป็นไปได้ในการใช้งานแต่ละระบบในบริบทที่ต่างกัน เช่น พื้นที่ห่างไกลหรือเรือนจำ

เอกสารรับรองการวิจัยในมนุษย์

คณะผู้วิจัยได้ยื่นเอกสารขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ รหัสโครงการวิจัย REC.68-244-7-2 โดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ Human Research Ethics Committee of Faculty of Medicine Prince of Songkla University.

ผลการวิจัย

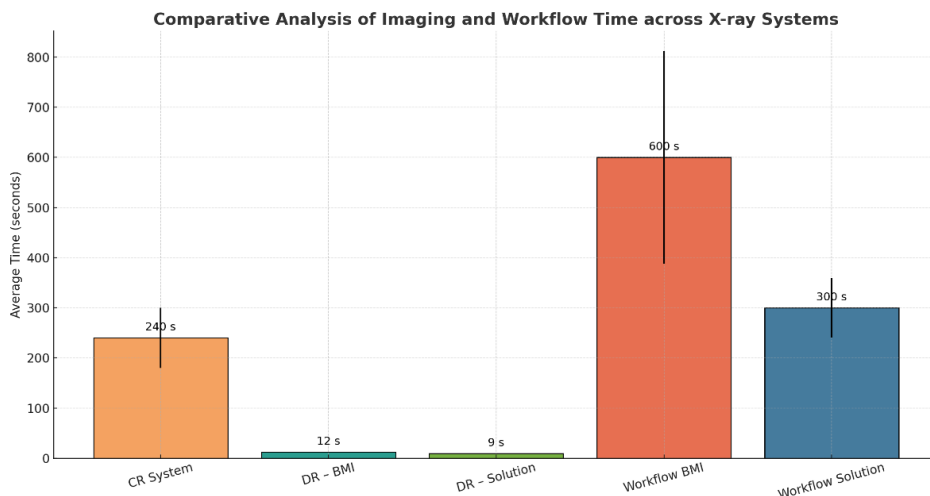
วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบถ่ายภาพดิจิทัลในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ของระบบ BMI ที่มีอยู่เดิม ผลการวิจัยพบว่านักวิจัยสามารถออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์แปลงสัญญาณภาพดิจิทัล (Retrofit DR System) ลงในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ระบบ BMI ได้สำเร็จ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับตัวรับภาพแบบ Flat Panel Detector (FPD) และระบบประมวลผลภาพแบบพกพาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เครื่อง BMI ที่มีอยู่เดิมสามารถสร้างภาพรังสีดิจิทัลได้เทียบเท่ากับระบบ DR แบบสำเร็จรูป ดังแสดงในภาพที่ 1

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีและประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน (workflow) ระหว่างเครื่อง BMI ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วกับเครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลแบบสำเร็จรูป (Solution for Tomorrow) ผลการวิจัยพบว่าคุณภาพภาพถ่ายรังสี: ค่า Signal-to-Noise Ratio (SNR) ของเครื่อง DR-BMI มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ DR-Solution โดยมีความแตกต่างเพียง 5.8% ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในการวินิจฉัย ค่า Exposure Index (EI) และ Deviation Index (DI): ระบบ DR ทั้งสองชนิดให้ค่า EI และ DI ที่เหมาะสมตามมาตรฐานการถ่ายภาพ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกัน เวลาในการสร้างภาพ: DR-Solution ใช้เวลาเฉลี่ย 9 วินาที ส่วน DR-BMI ใช้เวลา 12 วินาที ซึ่งลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับระบบ CR ที่ใช้เวลาถึง 240 วินาที เวลาเฉลี่ยในการทำงานทั้งหมด (workflow): DR-Solution มีความสม่ำเสมอและใช้เวลาน้อยกว่าระบบ DR-BMI (300 วินาที เทียบกับ 600 วินาที) ดังแสดงในภาพที่ 2

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบถ่ายภาพดิจิทัลในพื้นที่ที่ขาดแคลนทรัพยากรทางการแพทย์ เช่น เรือนจำหรือชุมชนห่างไกล ผลการวิจัยพบว่าระบบ DR-BMI ที่ได้รับการปรับปรุงสามารถใช้งานได้จริงในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร โดยมีข้อได้เปรียบเรื่องความคล่องตัว ต้นทุนต่ำ และสามารถประยุกต์ใช้งานในสถานการณ์เฉพาะได้อย่างยืดหยุ่น แม้ระบบจะยังมีข้อจำกัดด้านความสม่ำเสมอของ workflow เมื่อเทียบกับระบบ DR แบบสำเร็จรูป แต่ก็ถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในบริบทของพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการเข้าถึงเทคโนโลยีทางการแพทย์ขั้นสูง



ภาพที่ 1 ระบบรับภาพในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ทำการปรับจากระบบ CR เป็น DR ของ BMI



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบการรับภาพและระยะเวลาการทำงานระหว่างระบบเอกซเรย์ CR และ DR

อภิปรายผล

ซึ่งสามารถอภิปรายตามวัตถุประสงค์แต่ละข้อได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบถ่ายภาพดิจิทัลในเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ของระบบ BMI ที่มีอยู่เดิม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบแปลงสัญญาณภาพดิจิทัล (Retrofit DR System) ในเครื่องเอกซเรย์แบบเคลื่อนที่ของ BMI ที่มีอยู่เดิมสามารถทำได้จริงและให้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจในเชิงเทคนิค ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Flat Panel Detector และแสดงผลภาพได้รวดเร็วโดยไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องใหม่ทั้งหมด ซึ่งเหมาะสมกับบริบทของหน่วยบริการในพื้นที่ทรัพยากรจำกัด เช่น เรือนจำ หรือชุมชนห่างไกล ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chung et al., 2019) ซึ่งออกแบบอุปกรณ์เสริมรังสีเคลื่อนที่สำหรับหัตถการ ERCP โดยเน้นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เดิม ร่วมกับการติดตั้งระบบดิจิทัลเพิ่มเติม ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานจริง เหตุผลที่สอดคล้อง คือ ทั้งสองกรณีเน้นการพัฒนาระบบที่ยกระดับประสิทธิภาพของเครื่องเดิม โดยไม่จำเป็นต้องจัดหาอุปกรณ์ใหม่ทั้งหมด

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีและประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน (workflow) ระหว่างเครื่อง BMI ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วกับ

เครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลแบบสำเร็จรูป (Solution for Tomorrow) ผลการศึกษานี้พบว่าระบบ DR-BMI ที่ได้รับการปรับปรุงให้ผลลัพธ์ด้านคุณภาพภาพที่ใกล้เคียงกับ DR-Solution โดยค่า SNR แตกต่างกันเพียง 5.8% และค่าดัชนีรังสีอยู่ในระดับมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ในด้านกระบวนการทำงาน DR-Solution ยังมีความเสถียรมากกว่า โดยใช้เวลาเฉลี่ยน้อยกว่าและมีความแปรปรวนน้อยกว่าระบบ DR-BMI อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Uffmann & Schaefer-Prokop, 2009) ที่พบว่าแม้การใช้เทคโนโลยี DR จะช่วยลดปริมาณรังสีและเพิ่มคุณภาพภาพถ่ายได้ดี แต่ประสิทธิภาพโดยรวมยังขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบกับรูปแบบการใช้งานจริง เหตุผลที่สอดคล้อง คือ ระบบ DR ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต้องไม่เพียงให้คุณภาพภาพที่ดีเท่านั้น แต่ต้องรองรับ workflow ที่มีเสถียรภาพและลดเวลาในการดำเนินการลงได้จริง

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบถ่ายภาพดิจิทัลในพื้นที่ที่ขาดแคลนทรัพยากรทางการแพทย์ เช่น เรือนจำหรือชุมชนห่างไกล ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบ DR-BMI ที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงในพื้นที่ทรัพยากรจำกัด ด้วยข้อได้เปรียบด้านต้นทุน ความคล่องตัว และการปรับใช้กับบริบทเฉพาะ แม้ระบบจะยังมีข้อจำกัดบางประการในด้าน workflow แต่สามารถตอบโจทย์ความต้องการในพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งระบบ DR แบบสำเร็จรูปได้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Moonkum et al., 2023) ซึ่งศึกษาการใช้เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ในการดูแลผู้ป่วย COVID-19 และเน้นถึงความสำคัญของการมีอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่คล่องตัวและประหยัดพื้นที่ เหตุผลที่สอดคล้อง คือ ทั้งสองงานวิจัยเห็นความจำเป็นในการออกแบบระบบที่เหมาะสมกับบริบทจำกัด และสามารถเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพของงานถ่ายภาพรังสีในพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งระบบถาวรได้

สรุป/ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ BMI ที่ได้รับการติดตั้งระบบ DR สามารถให้ภาพที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเครื่อง Solution for Tomorrow ซึ่งเป็นระบบ DR สมบูรณ์ โดยให้ค่า SNR และ CNR ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่มีความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ phantom ได้รับอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ระบบ DR ช่วยลดระยะเวลาในการ

ถ่ายภาพจากระบบ CR ได้ดีมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเวิร์กโฟลว์โดยรวมพบว่า เครื่อง BMI ยังใช้เวลาค่อนข้างสูงในการใช้งานจริงเมื่อเทียบกับเครื่อง Solution

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ข้อเสนอแนะด้านการจัดการเครื่องเอกซเรย์

ควรส่งเสริมให้โรงพยาบาลระดับอำเภอหรือโรงพยาบาลชุมชนที่ยังใช้ระบบ CR อยู่ พิจารณาดัดแปลงเครื่องเอกซเรย์แบบเคลื่อนที่ให้เป็นระบบ DR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา และคุณภาพของภาพ โดยควบคุมงบประมาณอย่างเหมาะสม

1.2 ข้อเสนอแนะด้านเวิร์กโฟลว์

ควรพิจารณาปรับปรุงขั้นตอนการใช้งานของเครื่อง BMI ที่ได้รับการดัดแปลง โดยเฉพาะระบบควบคุมการเคลื่อนที่ กลไกของอาร์มกลิ้ง และการเชื่อมต่อ PACS ให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่อง Solution เพื่อให้ตอบโจทย์การใช้งานในสถานการณ์ฉุกเฉิน

1.3 ข้อเสนอแนะด้านบุคลากร

ควรมีการอบรมเจ้าหน้าที่ผู้ใช้งานให้มีความชำนาญในการใช้ DR system และส่งเสริมความเข้าใจในการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้คุณภาพภาพที่ดีโดยไม่เพิ่มภาระรังสีต่อผู้ป่วย

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากประเด็นที่ค้นพบในการวิจัยครั้งนี้ เห็นได้ว่าการใช้หุ่นจำลองสามารถควบคุมตัวแปรได้ดีและให้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรง อย่างไรก็ตาม ยังไม่ครอบคลุมบริบทของผู้ป่วยจริง การวิจัยครั้งต่อไปจึงควรศึกษาการใช้งานเครื่อง BMI retrofit ในผู้ป่วยกลุ่มต่าง ๆ โดยเฉพาะในสถานการณ์เคลื่อนย้ายยาก เช่น ICU หรือกลุ่มผู้ต้องขัง และวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในเวิร์กโฟลว์ พร้อมทั้งศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สุขภาพ (cost-effectiveness) เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจจัดซื้อเครื่องในระดับนโยบาย

เอกสารอ้างอิง

Toppenberg, M. D., Christiansen, T. E. M., Rasmussen, F., Nielsen, C. P., & Damsgaard, E. M. (2020). Mobile X-ray outside the hospital: a scoping review. *BMC Health Services Research*, 20, 1-12.

- Targett, H., Hutchinson, D., Hartley, R., McWilliam, R., Lopez, B., Crone, B., & Bonner, S. (2023). Enhanced visualization of mobile chest X-ray images in the intensive care setting using software scatter correction. *Acta Radiologica*, 64(2), 563-571.
- Inscoe, C., Billingsley, A., Zhao, A., Burel, H. L. J., Chesser, S., Lyda, G., Lu & Zhou, O. (2024, April). X-ray source array optimization for mobile chest tomosynthesis. In *Medical Imaging 2024: Physics of Medical Imaging* (Vol. 12925, pp. 146-153). SPIE.
- Seibert, J. A., Bogucki, T., Ciona, T., Huda, W., Karellas, A., Mercier, J., Samei, E., Shepard, J., Stewart, B., Strauss, K., Suleiman, O., Tucker, D., Uzenoff, R., Weiser, J., & Willis, C. (2006). *Acceptance testing and quality control of photostimulable storage phosphor imaging systems*. AAPM.
- Clement, C. H. (Ed.), with Ogino, H., & Vañó, E. (2017). *Diagnostic reference levels in medical imaging*. SAGE.
- Chung, K. H., Park, Y. S., Ahn, S. B., & Son, B. K. (2019). Radiation protection effect of mobile shield barrier for the medical personnel during endoscopic retrograde cholangiopancreatography: a quasi-experimental prospective study. *BMJ open*, 9(3), e027729.
- Uffmann, M., & Schaefer-Prokop, C. (2009). Digital radiography: the balance between image quality and required radiation dose. *European journal of radiology*, 72(2), 202-208.
- Moonkum, N., Jitchom, S., Sukaram, S., Nimtrakool, N., Boonrat, P., & Tochaikul, G. (2023). Determination of scattered radiation dose for radiological staff during portable chest examinations of COVID-19 patients. *Radiological Physics and Technology*, 16(1), 85-93.