

**Special Article****การควบคุมคุณภาพการถ่ายภาพรังสีช่องท้องผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน****Quality control of abdominal radiography in patients with acute abdominal pain****ฉวี ฤชาพันธ์**

สาขารังสีวินิจฉัย ภาควิชาวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

Chawee Luechabhun

Division of Diagnostic Radiology, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Bangkok, 10330, Thailand

ผู้รับผิดชอบบทความ: ฉวี ฤชาพันธ์ | Corresponding author: Chawee Luechabhun (chawee3012@gmail.com)

Received: 15 February 2024 | Revised: 1 April 2024 | Accepted: 2 April 2024

Thai J Rad Tech 2024;49(1):76-85**บทคัดย่อ**

ปัจจุบันการถ่ายภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันมีจำนวนมากขึ้น ผู้ป่วยที่มารับการรักษาจำเป็นต้องได้รับการบริการที่ถูกต้อง รวดเร็วและแม่นยำเพื่อให้แพทย์ผู้ทำการรักษาสามารถวินิจฉัยโรคได้และทำการรักษาผู้ป่วยให้มีความปลอดภัย การควบคุมคุณภาพของชุดภาพถ่ายทางรังสีช่องท้องจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างมาก เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพประกอบไปด้วยปัจจัยหลักคือ ผู้ป่วย เจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการถ่ายภาพรังสี และเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี และในปัจจัยหลักเหล่านี้มีปัจจัยย่อยๆ อีกหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีช่องท้อง เช่น สภาวะของผู้ป่วย ประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพปัจจัยทั้งหมดที่พบจะช่วยพัฒนาคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีได้และผู้ป่วยที่มารับบริการถ่ายภาพรังสีช่องท้องจะได้รับบริการที่รวดเร็ว แม่นยำและปลอดภัย แพทย์ผู้ทำการรักษาสามารถวินิจฉัยโรคจากภาพถ่ายทางรังสีได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาผู้ป่วยให้กลับมามีสุขภาพที่ดี

คำสำคัญ: ผู้ป่วยปวดท้องเฉียบพลัน, ชุดถ่ายภาพรังสีช่องท้อง, การควบคุมคุณภาพภาพถ่ายทางรังสี**Abstract**

Currently, the number of radiographic imaging of patients with acute abdominal pain has increased. Patients seeking treatment for such conditions must receive accurate, prompt, and precise services to enable healthcare providers to diagnose and treat them safely. Controlling the quality of acute abdominal series radiographic images are crucial to ensure high-quality images. Key factors affecting image quality include the patient, radiology staff, and the equipment used for imaging. These main factors encompass several sub-factors that also influence image quality, such as the patient's condition, the expertise of the imaging staff, and the appropriate environment for radiographic imaging.

Effective control of all these factors helps improve the quality of radiographic images, ensuring that patients undergoing acute abdomen series radiography receive fast, accurate, and safe services. This, in turn, enables physicians to accurately and swiftly diagnose diseases from radiographic images and treat patients effectively to restore their health.

Keywords: Patients with acute abdominal pain, acute abdomen series, quality control of radiographic imaging

บทนำ

การถ่ายภาพรังสีช่องท้อง^[1] (Plain abdomen radiograph) เป็นการส่งตรวจวินิจฉัยทางรังสีวิทยาเบื้องต้นสำหรับวินิจฉัยสาเหตุของอาการปวดท้องเฉียบพลัน (acute abdomen) การบาดเจ็บของช่องท้อง และการกลืนสิ่งแปลกปลอม (foreign body) ภาพรังสีช่องท้องยังใช้ติดตามการรักษาอีกด้วย ผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องแบบเฉียบพลัน ที่มารับการรักษาในโรงพยาบาล แพทย์ผู้ทำการรักษาจะต้องทำการวินิจฉัยว่าผู้ป่วยเป็นโรคไม่ร้ายแรง หรือวินิจฉัยว่าอาจมีอันตรายถึงชีวิต การตรวจวินิจฉัยที่รวดเร็ว แม่นยำและปลอดภัยจะสามารถช่วยให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาที่ถูกต้องรวดเร็วและลดอันตรายหรือผลที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดกับผู้ป่วยได้ โดยทั่วไปแล้วการซักประวัติและการตรวจร่างกายมักได้ข้อมูลไม่เพียงพอต่อการวินิจฉัย แพทย์ผู้ทำการรักษาจะมีการส่งตรวจวินิจฉัยทางรังสีวิทยาเบื้องต้นสำหรับวินิจฉัยสาเหตุของอาการปวดท้องเฉียบพลันด้วยการการถ่ายภาพรังสีช่องท้องซึ่งการถ่ายภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันเรียกว่าชุดของภาพรังสีช่องท้อง (acute abdominal series) ใช้สำหรับวินิจฉัยสาเหตุของอาการปวดท้องเฉียบพลันการบาดเจ็บของช่องท้องและการกลืนสิ่งแปลกปลอม (foreign body) ภาพรังสีช่องท้องยังใช้ติดตามการรักษาอีกด้วย ดังนั้นการถ่ายภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมคุณภาพของการถ่ายภาพเพื่อให้ผู้ป่วยที่มารับการถ่ายภาพรังสีได้รับภาพที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการวินิจฉัยโรคของแพทย์ ทำให้ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยที่ถูกต้องรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นประโยชน์สูงสุดในการรักษาต่อไป

การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี (Evaluation of radiographic image quality)^[2]

ภาพถ่ายทางรังสีจากเครื่องเอกซเรย์เป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญ ในการช่วยวินิจฉัยรอยโรค ทางกายภาพที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยในบริเวณที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการวางแผนการรักษาของแพทย์ในอดีตการสร้างภาพทางรังสีนั้นใช้ระบบแผ่นฟิล์ม (film screen

system) ปัจจุบันมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีมาสู่ระบบดิจิทัลซึ่งแผ่นรับภาพทางรังสีเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ถูกพัฒนาเป็นเครื่องมือสร้างภาพทางรังสีระบบดิจิทัล (digital radiographic system) ที่สามารถสร้างภาพทางรังสีโดยเปลี่ยนการสร้างภาพจากแผ่นฟิล์มเป็นการสร้างภาพจากแผ่นรับภาพ (image receptor) เพื่อเปลี่ยนรังสีเอกซ์ไปให้เป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และสร้างภาพให้เป็นประโยชน์ทั้งต่อผู้ใช้งานและผู้ป่วย ได้แก่ การลดการใช้สารเคมีจากกระบวนการล้างฟิล์ม การลดเวลาในการสร้างภาพและตรวจสอบคุณภาพของภาพ ความมั่นคงของภาพโดยการจัดเก็บภาพลงในระบบฐานข้อมูลของภาพรังสี (Picture Archiving and Communication System: PACS) และการลดขนาดพื้นที่ในการสร้างห้องเอกซเรย์จากการเลิกใช้ห้องมืดและห้องเก็บฟิล์ม เป็นต้น นอกจากนี้การสร้างภาพทางรังสีระบบดิจิทัลยังช่วยลดปัญหาการสร้างภาพจากการตั้งเทคนิคการให้ปริมาณรังสีที่มากหรือน้อยเกินไปเพราะมีระบบประมวลผลภาพ (post image processing) ที่สามารถปรับความขาว-ดำ (contrast) ความสว่าง (brightness) รายละเอียดของภาพให้เหมาะสมและสามารถใช้โปรแกรมเสริมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์หรือโรคได้การประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ภาพถ่ายทางรังสีเป็นวิธีการหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของภาพทางรังสีจากเครื่องมือที่ใช้สร้างภาพ ได้แก่ การทดสอบสัญญาณรบกวนมืด (dark noise) การทดสอบความคงที่ของค่าดัชนีปริมาณรังสีที่ตัวรับภาพ (detector dose indicator) การทดสอบคุณสมบัติการส่งผ่านสัญญาณ (signal transfer properties) การทดสอบความสม่ำเสมอของภาพ (uniformity) การทดสอบการคงค้างของภาพ (image retention หรือ ghosting artifact) การทดสอบความสามารถตรวจสอบคอนทราสต์ต่ำ (low contrast resolution) การทดสอบกำลังแยกพื้นที่ของคอนทราสต์สูง (high contrast resolution) การทดสอบความผิดพลาดของสเกล (scaling error) และการทดสอบความชัดของภาพ (image blurring) เป็นต้น

การควบคุมคุณภาพภาพถ่ายรังสีช่องท้อง

การควบคุมคุณภาพในการถ่ายภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน ต้องทำการควบคุมคุณภาพตั้งแต่กระบวนการและขั้นตอนในการเตรียมตัวของผู้ป่วย ด้วยการตรวจสอบเอกสารใบส่งตัวหรือคำสั่งแพทย์ การเปลี่ยนเสื้อผ้า การนำอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงวัสดุที่ติดรังสีหรือสิ่งของที่เป็นโลหะต่างๆ ออกจากร่างกายผู้ป่วยโดยเฉพาะบริเวณช่องท้องที่จะทำการถ่ายภาพรังสีซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้อาจบดบังรอยโรคได้ และการควบคุมคุณภาพในกระบวนการให้บริการถ่ายภาพรังสีโดยประกอบด้วยการกำหนดปริมาณรังสีให้เหมาะสมและผู้ป่วยต้องได้รับความปลอดภัยจากปริมาณรังสีที่ได้รับ การกำหนดค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีต้องมีค่าที่เหมาะสมไม่มากเกินไป หรือน้อยไป เพราะจะส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีที่ได้ รวมถึงการหายใจ การกลืนใจของผู้ป่วยที่ต้องมีการพูดคุยทำความเข้าใจเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดและได้ภาพที่มีคุณภาพเพียงพอเพื่อแพทย์สามารถนำไปวินิจฉัยโรคได้ โดยภาพที่ขาดการควบคุมคุณภาพ จะทำให้แพทย์ไม่สามารถวินิจฉัยโรคได้และมีความจำเป็นต้องมีการส่งถ่ายภาพทางรังสีซ้ำ ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ทำให้เสียเวลา และมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยล่าช้าทำให้มีความเสี่ยงที่จะมีอาการของโรคที่รุนแรงมากขึ้นด้วย ดังนั้นการควบคุมคุณภาพการถ่ายภาพรังสีช่องท้อง จึงเป็นการป้องกันการถ่ายภาพรังสีซ้ำด้วยซึ่งสาเหตุและแนวทางปฏิบัติดังแสดงในตารางที่ 1

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสีช่องท้อง

การถ่ายภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันพบว่าหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสีซึ่งประกอบไปด้วย

1. ผู้ป่วย ซึ่งผู้ป่วยที่มาใช้บริการถ่ายภาพรังสีช่องท้องจะจำแนกได้ 2 กลุ่มคือ

1.1 กลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บปวดที่ไม่รุนแรงสามารถเดินได้หรือ ผู้ป่วยที่มีความเจ็บปวดแต่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะจัดทำได้ง่ายและถูกต้อง

1.2 กลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บปวดรุนแรงไม่สามารถเดินได้มารับการถ่ายภาพรังสีด้วยรถนั่ง หรือเปลนอนผู้ป่วยกลุ่มนี้จะทำการจัดทำหรือการปฏิบัติตามคำสั่งได้ยาก

2. นักรังสีเทคนิคหรือนักรังสีการแพทย์ผู้ทำการถ่ายภาพรังสีต้องมีความรู้ความเข้าใจในการควบคุมคุณภาพภาพถ่ายทางรังสีประกอบไปด้วย

2.1 มีการแนะนำและเตรียมตัวผู้ป่วยก่อนทำการถ่ายภาพรังสี

2.2 ทราบเทคนิคในการจัดทำผู้ป่วยและการให้ค่าปริมาณรังสีที่เหมาะสม

2.3 มีความรู้ความเข้าใจในการปรับภาพให้ได้ภาพที่มีคุณภาพก่อนส่งให้แพทย์ทำการวินิจฉัย

3. เครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี

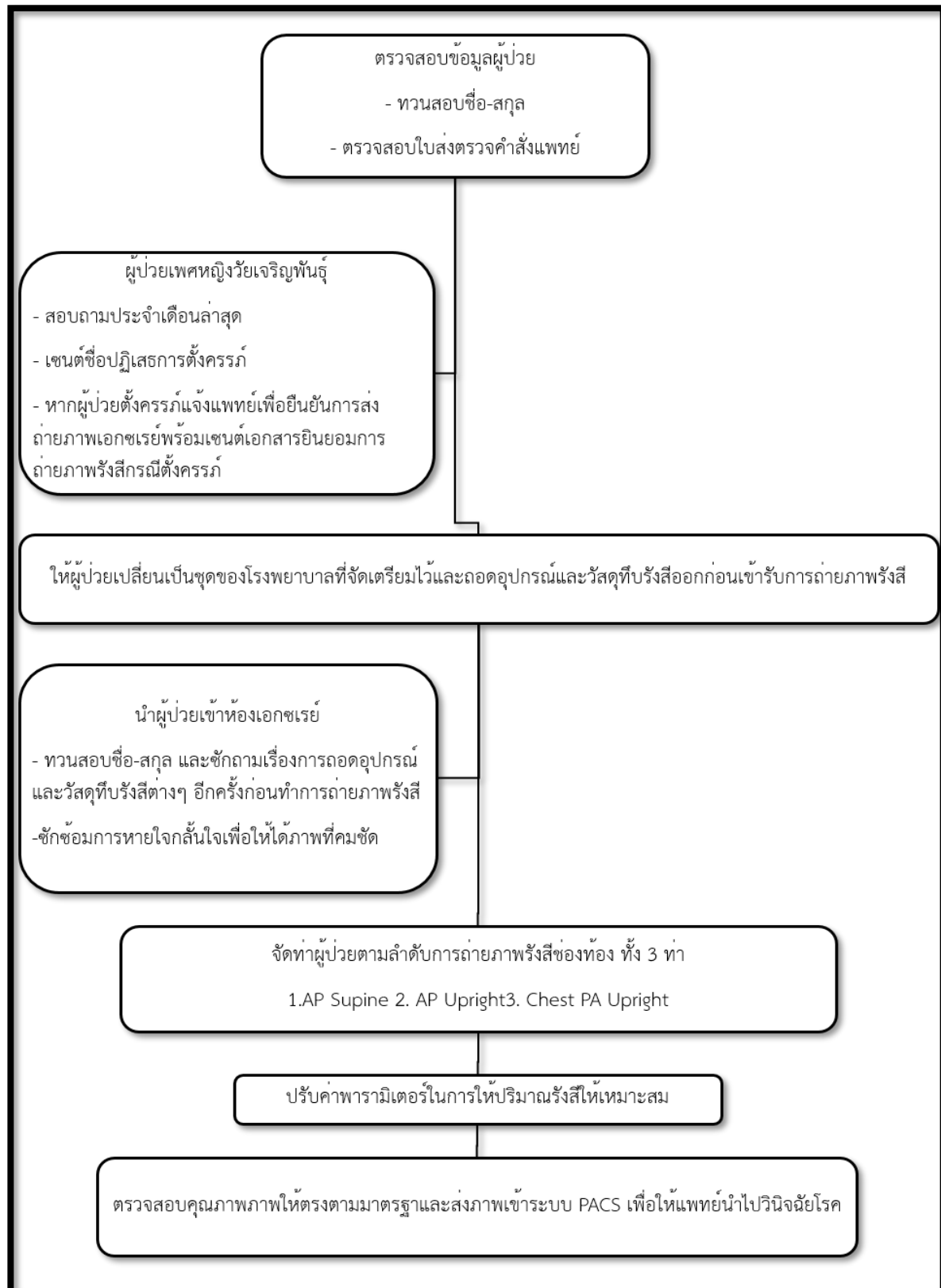
3.1 เครื่องเอกซเรย์ (X-ray machine) ต้องมีการควบคุมคุณภาพและตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่อง โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ

3.2 แผ่นรับภาพ ต้องมีการตรวจสอบสภาพให้พร้อมใช้งานและตรวจสอบประสิทธิภาพของการสร้างภาพอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพ

3.3 ระบบฐานข้อมูลของภาพรังสี มีการจัดเก็บข้อมูลที่เหมาะสมและมีพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลภาพที่เพียงพอ และมีความปลอดภัยของข้อมูล

ตารางที่ 1 สาเหตุและแนวปฏิบัติในการถ่ายภาพรังสีช่องท้องเพื่อลดการถ่ายภาพรังสีซ้ำ^[3]

สาเหตุ	แนวปฏิบัติ
1. การจัดทำผู้ป่วย	- อธิบาย และให้คำแนะนำก่อนทำการถ่ายภาพรังสี - จัดทำผู้ป่วยตามมาตรฐานวิชาชีพ ให้ผู้ป่วยมีความสะดวกสบายขณะรับการถ่ายภาพรังสี
2. ผู้ป่วยขยับขณะถ่ายภาพ	- หาอุปกรณ์ยึดจับให้ผู้ป่วยอยู่นิ่ง - เลือกใช้เทคนิคที่ใช้เวลาน้อยสุดเพื่อป้องกันการเกิดภาพถ่ายทางรังสีช่องท้องที่ได้ไม่ชัด
3. ปริมาณรังสีไม่เหมาะสม	- ตั้งค่าปริมาณรังสีโดยปรับเทคนิคการให้ปริมาณรังสีตามความหนาและขนาดตัวของผู้ป่วย
4. สิ่งแปลกปลอมในภาพ	- สอบถามผู้ป่วยและตรวจสอบบริเวณที่จะทำการถ่ายภาพรังสีก่อนทำการถ่ายภาพรังสีทุกครั้ง
5. คุณภาพของภาพ	- ปรับความขาว-ดำ, ความสว่าง, ความคมชัดให้เหมาะสม - ตรวจสอบสัญลักษณ์ (Marker) ให้ถูกต้องตามท่าในการถ่ายภาพรังสี



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงแนวปฏิบัติที่ดีในการให้บริการถ่ายภาพรังสีช่องท้องผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน

ตารางที่ 2 เทคนิคการให้ปริมาณรังสีช่องท้อง

เทคนิคการให้ปริมาณรังสีช่องท้อง		
พารามิเตอร์ ขนาดตัว	ค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (kilovoltpeak: kVp)	ค่ากระแสไฟฟ้าคูณเวลา (milliamperes*second: mAs)
ปกติ	81	16
ใหญ่	85	12.5
ใหญ่พิเศษ	90	16

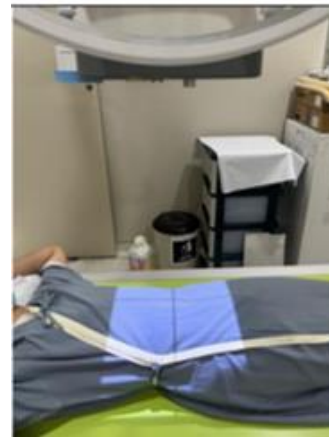
ขั้นตอนในการให้บริการถ่ายภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน แสดงดังรูปที่ 1

1. มีการทวนสอบชื่อ – สกุลผู้ป่วยและคำสั่งแพทย์
2. ผู้ป่วยเพศหญิงวัยเจริญพันธุ์มีการสอบถามการตั้งครรภ์
3. แนะนำผู้ป่วยในการเปลี่ยนเสื้อผ้า และการถอดอุปกรณ์หรือวัสดุที่ทับต่อรังสีออก
4. ก่อนทำการถ่ายภาพรังสีมีการทวนสอบชื่อ- สกุลผู้ป่วยอีกครั้ง และตรวจสอบอุปกรณ์และวัสดุที่บังรังสีที่ตัวผู้ป่วยก่อนทำการถ่ายภาพรังสี และมีการแนะนำและซักซ้อมการหายใจกลั้นใจก่อนทำการถ่ายภาพรังสี
5. ตั้งค่าเทคนิคการให้ปริมาณรังสีสำหรับการถ่ายภาพรังสีให้เหมาะสมในการให้ปริมาณรังสี
6. ปรับภาพทางรังสีของช่องท้องตามมาตรฐานวิชาชีพ
7. ส่งภาพเข้าระบบ PACS

การจัดทำเพื่อถ่ายภาพชุดภาพรังสีผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน (Acute abdomen series positioning)

1. การถ่ายภาพรังสีช่องท้องท่านอน (Abdomen AP supine position)
 - ผู้ป่วยนอนหงายบนเตียงเอกซเรย์หนุนศีรษะด้วยหมอน ระบายแบ่งครึ่งลำตัวอยู่กึ่งกลางและตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ ขอบล่างของแผ่นรับภาพคลุมถึงบริเวณหัวเข่า ให้ผู้ป่วยกลั้นใจก่อนทำการถ่ายภาพรังสี ดังแสดงในรูปที่ 2
 - ระยะจากจุดโฟกัสหลอดถึงแผ่นรับภาพ (Focus image receptor distance: FID) 100 เซนติเมตร
 - จุดกึ่งกลางลำรังสี (Center ray: CR) ตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ จุดศูนย์กลาง (Center point: CP) อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระดับกระดูกอุ้งเชิงกราน (Iliac crest)

- เทคนิคการให้ปริมาณรังสี สำหรับผู้ป่วยที่มีขนาดลำตัว (size) ปกติ 81 kVp 16 mAs ใช้กริด
- ในผู้ป่วยที่มีขนาดร่างกายเล็กกว่าปกติ ให้ปรับลดค่า kVp ลง 2-5 kVp และปรับเพิ่ม mAs ขึ้น 1-3 mAs
- ในผู้ป่วยที่มีขนาดร่างกายใหญ่กว่าปกติ ให้ปรับค่า kVp ขึ้น 2-5 kVp และปรับลด mAs ลง 1-3 mAs



รูปที่ 2 แสดงท่าในการถ่ายภาพรังสีช่องท้องท่านอน

2. การถ่ายภาพรังสีช่องท้องท่านั่งหรือยืน (Abdomen AP upright position)
 - ผู้ป่วยยืนหรือนั่งหันหลังพิงแผ่นรับภาพระบายแบ่งครึ่งลำตัวอยู่กึ่งกลางและตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ ขอบบนของแผ่นรับภาพคลุมถึงปลายล่างสุดของกระดูกสันหลังช่วงอกเพื่อให้คลุมกระบังลมให้ผู้ป่วยกลั้นใจก่อนทำการถ่ายภาพรังสี ดังแสดงในรูปที่ 3
 - ระยะจากจุดโฟกัสหลอดถึงแผ่นรับภาพ 100 เซนติเมตร
 - จุดกึ่งกลางลำรังสี ตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ
 - จุดศูนย์กลาง อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระดับกระดูกอุ้งเชิงกราน (Iliac crest)
 - เทคนิคการให้ปริมาณรังสี สำหรับผู้ป่วยที่มีขนาดลำตัว (size) ปกติ 81 kVp 16 mAs ใช้กริด
 - ในผู้ป่วยที่มีขนาดร่างกายเล็กกว่าปกติ ให้ปรับลดค่า kVp ลง 2-5 kVp และปรับเพิ่ม mAs ขึ้น 1-3 mAs
 - ในผู้ป่วยที่มีขนาดร่างกายใหญ่กว่าปกติ ให้ปรับค่า kVp ขึ้น 2-5 kVp และปรับลด mAs ลง 1-3 mAs

ตารางที่ 3 เทคนิคการให้ปริมาณรังสีทรวงอกแบบใส่กริด

เทคนิคการให้ปริมาณรังสีทรวงอกแบบใส่กริด		
พารามิเตอร์ ขนาดตัว	ค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (kilovolt peak: kVp)	ค่ากระแสไฟฟ้าคูณเวลา (milliamperes*second: mAs)
ปกติ	102	0.95
ใหญ่	102	1.25
ใหญ่พิเศษ	102	1.5

ตารางที่ 4 เทคนิคการให้ปริมาณรังสีทรวงอกแบบไม่ใส่กริด

เทคนิคการให้ปริมาณรังสีทรวงอกแบบไม่ใส่กริด		
พารามิเตอร์ ขนาดตัว	ค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (kilovolt peak: kVp)	ค่ากระแสไฟฟ้าคูณเวลา (milliamperes*second: mAs)
ปกติ	90	0.95
ใหญ่	95	1.25
ใหญ่พิเศษ	110	1.5



รูปที่ 3 แสดงท่าในการถ่ายภาพรังสีช่องท้องทำยืน

3. การถ่ายภาพรังสีทรวงอกทำยืนหรือนั่ง (Chest PA upright position)

- ผู้ป่วยยืนหรือนั่งโดยให้หน้าอกแนบกับแผ่นรับภาพ ระบายแบ่งครึ่งลำตัวอยู่กึ่งกลางและตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ ขอบบนของแผ่นรับภาพอยู่เหนือหัวไหล่ประมาณ 2 นิ้ว วางคางบนกึ่งกลางขอบบนของแผ่นรับภาพให้หัวไหล่แนบกับแผ่นรับภาพเพื่อดึงให้กระดูกสะบักไปทางด้านข้างพ้นจากส่วนของปอดให้ผู้ป่วยหายใจเข้าเต็มที่และกลืนหายใจก่อนทำการถ่ายภาพรังสี ดังแสดงในรูปที่ 4

- ระยะจากจุดโฟกัสหลอดถึงแผ่นรับภาพ 180 เซนติเมตร
- จุดกึ่งกลางลำรังสี ตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ
- จุดศูนย์กลาง อยู่ที่ตำแหน่ง กึ่งกลางระดับกระดูก Thoracic spine ข้อที่ 4
- เทคนิคการให้ปริมาณรังสี สำหรับผู้ป่วยที่มีขนาดลำตัว (size) ปกติ 102 kVp 1.50 mAs ใช้กริด
- ในผู้ป่วยที่มีขนาดร่างกายเล็กกว่าปกติ ให้ปรับลดค่า mAs ลดลง 0.1-0.3 mAs
- ในผู้ป่วยที่มีขนาดร่างกายใหญ่กว่าปกติ ให้ปรับค่า mAs ขึ้น 0.1-0.3 mAs



รูปที่ 4 แสดงท่าในการถ่ายภาพรังสีทรวงอกทำยืน

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับถ่ายภาพรังสีชุดภาพผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน^[4]

นอกจากการจัดท่าให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละรายแล้วการให้ค่าปริมาณรังสีด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการควบคุมคุณภาพชุดภาพถ่ายทางรังสีของผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน ปัจจุบันเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีจะเป็นเครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลซึ่งมีเทคโนโลยีช่วยปรับแต่งภาพหลังถ่ายภาพรังสีแล้วด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ทำให้ง่ายต่อการปฏิบัติงานและง่ายต่อการควบคุมคุณภาพของภาพถ่ายรังสีมากยิ่งขึ้น พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพภาพรังสีประกอบไปด้วย

1. การให้ค่าปริมาณรังสี^[5,6] ซึ่งจะมีสองส่วนหลักในการให้ปริมาณรังสีกับผู้ป่วยคือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสหลอดคูณเวลา

1.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Kilovoltage peak: kVp) คือค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและลบในหลอดเอกซเรย์ การถ่ายภาพรังสีจะใช้ค่า kVp สูงสุดเท่าที่จะไม่ทำให้คุณภาพ

ของภาพถ่ายรังสีเสียไปค่า kVp ของเครื่องเอกซเรย์เป็นค่าที่มีผลต่อความสามารถของรังสีที่จะทะลุทะลวงเข้าไปในร่างกาย ทำให้ภาพรังสีที่ได้มีระดับความแตกต่างของความดำ (contrast) ของอวัยวะที่มีความหนาแน่นต่างกันได้ดี

1.2 ค่ากระแสหลอดคูณเวลา (Milliamperes*second: mAs) คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไปทำให้หลอดร้อนและปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดเอกซเรย์ในช่วงเวลาที่มีการผลิตเอกซเรย์ (Milliamperes: mA) คูณด้วยเวลาในการฉายรังสี (Exposure time: sec) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยอดอิเล็กตรอนวิ่งไปชนเป้า (Target) ปริมาณอิเล็กตรอนที่มากขึ้นทำให้เกิดปริมาณเอกซเรย์ที่มากขึ้นมีผลกับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับเวลาในการฉายรังสีที่สูงในผู้ป่วยที่กลืนใจได้ไม่ดีเพิ่มโอกาสการเกิดสิ่งแปลกปลอมในภาพที่เกิดจากการเคลื่อนไหว (Motion artifact) ทำให้ภาพไม่ชัดได้ ค่า mAs แปรผันตรงกับค่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับการให้ปริมาณรังสีสูงทำให้สัญญาณรบกวน (Noise) ลดลง ได้ภาพที่มีคุณภาพดี แต่ต้องระวังปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับเกินความจำเป็นด้วย

2. เทคนิคที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี^[7] เทคนิคในการถ่ายภาพรังสีจะแบ่งตามคุณสมบัติของเครื่องเอกซเรย์ ที่ประกอบไปด้วย การกำหนดค่าเอง และการกำหนดค่าการฉายรังสีแบบอัตโนมัติ ซึ่งการกำหนดค่าแบบอัตโนมัติจะมีในเครื่องเอกซเรย์รุ่นใหม่

2.1 การกำหนดค่าเอง (Manual exposure) คือเทคนิคที่ผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้กำหนดค่า kVp และ mAs เอง ปริมาณรังสีออกตามค่าที่ตั้งไว้

2.2 การกำหนดการฉายรังสีอัตโนมัติ (Automatic exposure control: AEC) คือเทคนิคที่ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสะดวกยิ่งขึ้น และผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีตามความเหมาะสมกับความหนา (Thickness) และความหนาแน่น (Density) ของร่างกายโดยผู้ปฏิบัติงานปรับเฉพาะค่า kVp เพียงค่าเดียว เครื่องเอกซเรย์จะปรับค่า mAs ให้อัตโนมัติตามความหนาของผู้ป่วยที่แตกต่างกันโดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ Electronics sensor ซึ่งมีหัววัดรังสีแบบ Ionization chamber ที่ฝังไว้ที่ด้านหน้าของแผ่นรับภาพทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าที่มาจาก Autotransformer เมื่อได้รับปริมาณรังสีตามที่กำหนดไว้

3. การจำกัดพื้นที่ลำรังสี (Field size) การเปิดพื้นที่ Field size ให้คลุมเฉพาะส่วนที่ต้องการเอกซเรย์นอกจากจะทำให้ภาพคมชัดแล้วปริมาณรังสีกระเจิงจะน้อยกว่าการเปิด Field size กว้างๆ และปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจะเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ Field size ที่เปิดด้วย

4. การใช้กริด (Grid) วางระหว่างอวัยวะที่ต้องการถ่ายภาพและแผ่นรับภาพ Grid จะทำหน้าที่ตัดรังสีกระเจิงที่รบกวนภาพผู้ป่วยที่รูปร่างอ้วน เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้ภาพมืดไม่คมชัดการใช้ Grid มีประโยชน์อย่างมากในการช่วยให้คุณภาพของภาพดีขึ้นจึงจำเป็นต้องตั้งค่าปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นปกติแล้วควรใช้ Grid กับอวัยวะที่มีความหนาแน่นมากโดยเฉพาะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 10 เซนติเมตร

5. การประมวลผลหลังถ่ายภาพ (Post image processing) การสร้างภาพทางรังสีด้วยระบบดิจิทัลช่วยลดปัญหาการสร้างภาพจากการตั้งเทคนิคการให้ปริมาณรังสีที่มากหรือน้อยเกินไปเพราะมีระบบประมวลผลภาพ ช่วยในการปรับภาพให้ดีขึ้น ทั้งในส่วนของความแตกต่างในส่วนความขาว-ดำ (Contrast) ให้ภาพมี Contrast มากขึ้นหรือลดลง ปรับความสว่าง (Brightness) ให้ภาพทั้งภาพมีความ Brightness มากขึ้นและลดลงได้และการปรับสัญญาณรบกวน (Noise reduction) ลดสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากการตั้งค่าปริมาณรังสีที่น้อยเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงการถ่ายภาพเอกซเรย์ซ้ำ ผู้ป่วยไม่ต้องรับรังสีเพิ่มโดยไม่จำเป็น มีข้อควรระวังสำหรับการใช้ Noise reduction มากเกินไป อาจทำให้ภาพไม่ชัด เห็นขอบเขตโครงสร้างของอวัยวะไม่ชัดเจน ทั้งนี้ในปัจจุบันโปรแกรมซอฟต์แวร์ของเครื่องเอกซเรย์สามารถกำหนดโปรโตคอลตามส่วนตรวจ และทำที่ตรวจ โดยผู้เชี่ยวชาญของบริษัทผู้จำหน่ายเครื่องเอกซเรย์ ทำให้ภาพทุกภาพที่มีส่วนตรวจ และทำตรวจเดียวกัน ถูกปรับแต่งด้วยเทคนิคเดียวกัน ทั้งนี้รังสีการแพทย์ยังคงสามารถปรับภาพเพิ่มเติมได้อีก เพื่อให้ได้ภาพที่เห็นรายละเอียดได้ชัดเจน โดยในส่วนของความขาว-ดำของภาพค่อนข้างกำหนดได้ยาก ขึ้นกับความดันขึ้นของรังสีแพทย์ที่รายงานผลด้วย การขยายและการซูม (Image magnification and zooming) เป็นการปรับภาพเพื่อให้อวัยวะในส่วนที่สนใจมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงช่วยให้รายละเอียดที่ชัดเจนขึ้น และการซูมภาพเพื่อช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของอวัยวะที่ทำการถ่ายภาพรังสี

หลักการตรวจหาความผิดปกติและการแปลผลภาพรังสีช่องท้อง

การแปลผลภาพรังสีช่องท้องให้ได้ความแม่นยำสูงสามารถทำได้โดยการตรวจหาความผิดปกติอย่างเป็นระบบและตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. อวัยวะที่มีช่องว่างภายใน (Hollow organ)
2. อวัยวะที่ไม่มีช่องว่างภายใน (Solid organ)
3. ขอบเขตของช่องท้อง (Margin)

4. กระดูก (bone)

5. หินปูน (Calcification)

ลักษณะของชุดภาพรังสีช่องท้องที่ดี^[8]

ชุดภาพรังสีช่องท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน ชุดภาพในการถ่ายภาพรังสีประกอบไปด้วย 3 ท่า คือ

1. ภาพรังสีช่องท้องท่านอน (Abdomen AP supine) เป็นภาพที่ถ่ายภาพรังสีจากด้านหน้าไปด้านหลัง (Antero-posterior: AP) โดยผู้ป่วยอยู่ในท่านอนหงายขณะถ่ายภาพ ประโยชน์ของการถ่ายภาพรังสีท่านอนคือใช้ในการตรวจดูลักษณะการวางตัวของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ตรวจหาการขยายตัวหรือการอุดตันของลำไส้ การหนาตัวของลำไส้ ตรวจหาน้ำในช่องท้อง ลมรั่วในช่องท้องและหินปูนที่ผิดปกติ ซึ่งภาพรังสีช่องท้องท่านอนที่ดีจะแสดงให้เห็นกระดูกบังลมในด้านบนของภาพ และช่องท้องอยู่กึ่งกลางและสมมาตรทั้งสองข้าง โดยเห็นกระดูกซี่โครงด้านบน เห็นกระดูก อุ้งเชิงกราน อยู่กึ่งกลางภาพ เห็นกระดูก obturator foramen อยู่ด้านล่าง และเห็นภาพของก้นขาชัดเจนในลำไส้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายรังสีช่องท้องท่านอน

2. ภาพรังสีช่องท้องท่านั่งหรือยืน (Abdomen AP upright) เป็นภาพที่เป็นภาพถ่ายรังสีจากด้านหน้าไปด้านหลัง (Antero-posterior: AP) โดยผู้ป่วยอยู่ในท่านั่งหรือยืนขณะถ่ายภาพ ประโยชน์ของการถ่ายภาพรังสีท่านั่งหรือยืนคือใช้ในการตรวจหาลมรั่วในช่องท้องและลักษณะของระดับลมและน้ำ (Air-fluid level) ในลำไส้ของผู้ป่วยที่มีลำไส้อุดตัน ซึ่งภาพทางรังสีช่องท้องท่านั่งหรือยืนที่ดีจะแสดงให้เห็น ผังหน้าท้องด้านข้าง เห็นส่วนล่างของกระดูก Superior pubic rami ในส่วนล่างของภาพ เห็นส่วนของกระดูกบังลมในด้านบนของภาพ ภาพช่องท้องอยู่กึ่งกลางและสมมาตรทั้งสองข้าง โดยเห็นกระดูกซี่โครงด้านบน เห็นกระดูก อุ้งเชิงกราน อยู่กึ่งกลางภาพ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงภาพถ่ายทางรังสีช่องท้องท่านอน

3. ภาพรังสีทรวงอกท่านั่งหรือยืน (Chest x-ray PA upright) เป็นภาพที่ทำการถ่ายภาพจากด้านหลังไปด้านหน้า (Postero-anterior: PA) โดยผู้ป่วยอยู่ในท่านั่งหรือยืนขณะถ่ายภาพ ประโยชน์ของการถ่ายภาพรังสีท่านั่งหรือยืนคือใช้ในการดูลมรั่วในช่องท้อง ลมที่รั่วมักจะลอยขึ้นมาอยู่ใต้กระดูกบังลมในท่านั่งหรือยืนนอกจากนั้นยังใช้ตรวจหาภาวะแทรกซ้อนของโรคทางช่องท้องซึ่งส่งผลกระทบไปยังทรวงอก เช่น น้ำในช่องเยื่อหุ้มปอดที่พบในผู้ป่วยตับอ่อนอักเสบหรือภาวะบางอย่างในทรวงอกที่ทำให้ผู้ป่วยมีอาการนำด้วยอาการปวดท้อง เช่น ปอดกลีบล่างอักเสบ เป็นต้น ภาพทางรังสีของทรวงอกท่านั่งหรือยืนที่ดีจะแสดงให้เห็นการหายใจเข้าเต็มที่และกลั้นใจนิ่งเห็น กระดูกซี่โครง เห็นอ กระบังลม (ซี่ที่ 6 ทาง Anterior และซี่ที่ 10 ทาง Posterior) เห็นทรวงอกที่สมมาตร คือกึ่งกลางของ Spinous process อยู่ระหว่าง กึ่งกลางของกระดูกไหปลาร้า ขอบด้านในของกระดูกสะบักไม่บังปอด พบเห็นรายละเอียดของซี่โครงที่อยู่เหนือ กระบังลม เห็นรูปร่างของหลอดเลือดที่ปอดชัดเจน โดยเฉพาะหลอดเลือดส่วนปลาย เห็นหลอดลม และหลอดลมส่วนต้น เห็นขอบของหัวใจและหลอดเลือดแดงเอออร์ตา เห็นกระดูกบังลม เห็นรายละเอียดของเนื้อปอดทั้งสองข้างและเห็นเงาของกระดูกสันหลังส่วนอกทะลุผ่านหัวใจ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายทางรังสีทรวงอก

การประมวลผลภาพทางการแพทย์ (Medical Image Processing) ^[9]

เป็นการประมวลผลภาพหลังจากที่ทำการถ่ายภาพรังสีแล้ว เป็นการปรับแต่งภาพทางรังสีเพื่อช่วยให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ภาพจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรคได้ดีขึ้น จากพัฒนาการที่ทันสมัยมากขึ้นของเครื่องมือทางรังสีวิทยา ที่นำระบบดิจิทัลมาใช้งานทางการแพทย์ทำให้แพทย์สามารถปรับแต่งภาพทางรังสีได้มากขึ้นสามารถวินิจฉัยโรคได้ดีขึ้น มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นด้วยซึ่งการประมวลผลภาพทางการแพทย์มีเทคนิคในการประมวลผลหลายวิธี แล้วแต่ชนิดของการถ่ายภาพทางรังสี และรอยโรคที่พบในการถ่ายภาพรังสี เทคนิคในการประมวลผลภาพแต่ละวิธีจะให้ผลและมีประโยชน์แตกต่างกันไปขึ้นกับความเหมาะสมของภาพรังสีของผู้ป่วยแต่ละรายที่แพทย์จะเป็นผู้พิจารณาในการประมวลผลภาพ เพื่อทำการวินิจฉัยให้ผู้ป่วยได้ผลการวินิจฉัยโรคที่ถูกต้อง แม่นยำที่สุด^[11,12]

ในปัจจุบันเครื่องเอกซเรย์ระบบดิจิทัลจะมีโปรแกรมซอฟต์แวร์ของเครื่องที่สามารถกำหนดการปรับภาพทางรังสีตามอวัยวะและท่าที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีซึ่งจะมีผู้เชี่ยวชาญที่มาทำการกำหนดการปรับภาพร่วมกับรังสีแพทย์ และนักรังสีการแพทย์ประจำหน่วยงานเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพ ให้สามารถถ่ายภาพรังสีแล้วได้ภาพที่มีคุณภาพเหมาะสม แต่ภาพถ่ายทางรังสียังสามารถปรับเพิ่มเติมได้จากการตั้งค่าตามที่กำหนดเพื่อให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจน และมีมาตรฐานมากขึ้น และการปรับภาพยังขึ้นอยู่กับมุมมองของแพทย์แต่ละท่านด้วยเนื่องจากแพทย์แต่ละท่านจะมีความคุ้นชินกับการมองภาพถ่ายทางรังสีที่แตกต่างกัน อาจต้องมีการปรับภาพเองในมุมมองของแพทย์แต่ละท่านที่จะทำการวินิจฉัยโรคด้วยแต่หน้าที่ของนักรังสีการแพทย์ที่ทำการถ่ายภาพรังสีจะต้องทำการปรับตามมาตรฐานวิชาชีพเบื้องต้นก่อนส่งภาพเข้าระบบ PACS เพื่อให้แพทย์วินิจฉัยโรคต่อไป

บทสรุป

บทความนี้เป็นการรวบรวมการควบคุมคุณภาพการถ่ายภาพรังสีในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพภาพเพื่อให้ได้ชุดภาพรังสีของท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันที่ดี ในการที่จะได้ภาพถ่ายทางรังสีของท้องที่มีมาตรฐานนั้นปัจจัยเริ่มต้นจะอยู่ที่ตัวผู้ป่วยที่มารับการถ่ายภาพรังสี เพราะผู้ป่วยที่ให้ความร่วมมือในการถ่ายภาพรังสี มีความรู้ความเข้าใจขั้นตอนในการรับบริการ ขั้นตอนใน

การจัดท่า และวิธีการในการถ่ายภาพเพราะสิ่งที่สำคัญที่สุดใน การได้รับความร่วมมือจากผู้ป่วยจะส่งผลให้ได้ภาพถ่ายทางรังสีที่มีคุณภาพ ปัจจัยที่สองของการได้ภาพที่มีคุณภาพพบว่ามีนักรังสีเทคนิค หรือ นักรังสีการแพทย์ผู้ให้บริการถ่ายภาพรังสีซึ่งต้องมีความรู้ความเข้าใจในการให้บริการผู้ป่วยตั้งแต่กระบวนการแนะนำผู้ป่วยก่อนเข้ารับการถ่ายภาพรังสี กระบวนการจัดทำผู้ป่วยและให้คำแนะนำผู้ป่วยระหว่างทำการถ่ายภาพรังสี มีความรู้ความเข้าใจในการให้ปริมาณรังสีที่เหมาะสมกับผู้ป่วยที่มารับบริการแต่ละราย ต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องมือต่างๆ เช่นเครื่องเอกซเรย์ ระบบการสร้างภาพดิจิทัล ระบบการประมวลผลภาพ และการส่งภาพเข้าระบบ PACS และต้องมีความรู้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องมือแต่ละชนิดด้วยเพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางรังสีที่มีคุณภาพ และปัจจัยสุดท้ายคือเครื่องมือ ประกอบไปด้วยเครื่องเอกซเรย์ แผ่นรับภาพ และระบบ PACS ที่ต้องมีการตรวจสอบสภาพให้พร้อมใช้งาน และต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ และต้องมีการตรวจสอบคุณภาพประจำปีจากหน่วยงานที่ยอมรับได้เช่น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์จะเห็นได้ว่าทุกปัจจัยที่กล่าวมามีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสี เมื่อมีการควบคุมคุณภาพในทุกปัจจัยให้มีคุณภาพจะทำให้ผู้ป่วยที่มารับบริการถ่ายภาพรังสีได้รับบริการที่มีคุณภาพ แพทย์ผู้ทำการรักษาสามารถวินิจฉัยโรคได้ถูกต้องแม่นยำและทำการรักษาผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว แม่นยำและผู้ป่วยมีความปลอดภัยทำให้สามารถพัฒนาการให้บริการถ่ายภาพทางรังสีของท้องในผู้ป่วยที่มีอาการปวดท้องเฉียบพลันได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] American College of Radiology (ACR). ACR Appropriateness Criteria® Acute Nonspecific Abdominal Pain. [Internet]. 2020. [cited 2024 January 10]. Available from: <https://acsearch.acr.org/docs/69429/Narrative/>
- [2] Gundry TR, Burnside ES. Quality improvement in radiology: basic principles and tools required for success. Radiographics. 2018; 38(6): 1827-1837.
- [3] สมหมาย กันทะเมืองลี. การวิเคราะห์ภาพดิจิทัลทางรังสีที่ไม่สามารถนำไปวินิจฉัยโรคได้ (reject image) โรงพยาบาลนครปฐม. วารสารสุขภาพภาคประชาชน. 2560; 12(4): 28-35.
- [4] Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt Jr EM, Boone JM. The Essential Physics of Medical Imaging. Lippincott Williams & Wilkins. 2017.
- [5] American College of Radiology. ACR–AAPM–SIIM practice guideline for determination of the imaging dose in digital

- radiology. Journal of the American College of Radiology. 2016; 13(2): 184-197.
- [6] Johns HE, Cunningham JR. The physics of radiology. Charles C Thomas Publisher. 1983.
- [7] Suetens P. Fundamentals of medical imaging. Cambridge University Press. 2018.
- [8] Ascenti G, Mazziotti S, Lamberto S, Bottari A, Vinci S, Scribano E. MDCT assessment of acute abdomen in patients with gastrointestinal symptoms. European radiology supplements. 2017; 27(3): 1338-1362.
- [9] Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. Digital image processing using MATLAB. Gatesmark Publishing. 2017.
- [10] Jain AK. Fundamentals of digital image processing. Prentice-Hall, Inc. 1989.
- [11] Suwan-o-pas S, Suwanpradit P, Arjhansiri K, Khamwan K. Optimization of radiation dose and image quality in abdominal radiography using digital mobile x-ray system. Thai J Rad Tech. 2018;43(1):13-20.
- [12] Suwanpradit P, Wongvit-olan S, Kongthana O, Komprasert W, Luechabhun C, Ariyachaipanich A, Arjhansiri K, Apipunyasopon L. The determination of the radiation dose and image quality for abdominal radiography using a digital X-ray machine without an automatic exposure control system at King Chulalongkorn Memorial Hospital. Thai J Rad Tech 2023;48(1):52-59