การฉายรังสีรักษามะเร็งปอดด้วยเทคนิคการกลั้นลมหายใจออกร่วมกับระบบ Respiratory gating for scanners (RGSC) และเครื่องฉายรังสี Linear accelerator ของโรงพยาบาลศิริราช

Lung cancer radiotherapy using end expiration breath hold technique with respiratory gating for scanners (RGSC) and linear accelerator at Siriraj hospital

ฟ้าวลัย พงษ์ไพบูลย์[1], กรกช สุนทรชัยนุกูล[1], กชกร อัศวศุภชัย[1], จุฬารัตน์ สืบสม[1]
[1]สาขาวิชารังสีรักษา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้นิพนธ์ประสานงาน
จุฬารัตน์ สืบสม
สาขาวิชารังสีรักษา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล
เลขที่ 2 ถนนวังหลัง แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700
อีเมล: juralat.suebsom@gmail.com

Favalai Pongpaiboon[1], Korakot Soonthonchainukul[1], Kotchakorn Assawasuphachai[1], Julara Suebsom[1]
[1]Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University

Corresponding author
Julara Suebsom
Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University
2, Wang Lang Road, Siriraj, Bangkok Noi, Bangkok, 10700
Email: juralat.suebsom@gmail.com

Submitted: Oct 8, 2025
Revised: Feb 8, 2026
Accepted: Mar 25, 2026

บทคัดย่อ

การเคลื่อนไหวของปอดจากการหายใจเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความไม่แน่นอนของตำแหน่งเป้าหมายในการฉายรังสีรักษามะเร็งปอด อาจส่งผลต่อความแม่นยำและความปลอดภัยของการรักษา บทความนี้นำเสนอแนวทางเชิงเทคนิคและเชิงเวชปฏิบัติสำหรับการฉายรังสีรักษามะเร็งปอดด้วยเทคนิคการกลั้นลมหายใจออก (end-expiration breath-hold; EEBH) ร่วมกับระบบ respiratory gating for scanners (RGSC) และเครื่องฉายรังสี linear accelerator โดยครอบคลุมขั้นตอนการคัดเลือกและเตรียมผู้ป่วย การฝึกซ้อมการกลั้นลมหายใจ การจำลองการฉายรังสีด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (computed tomography simulation, CT simulation) ภายใต้สภาวะ EEBH การวางแผนการรักษาด้วยเทคนิคการฉายรังสีขั้นสูง รวมถึงกระบวนการฉายรังสีและการตรวจสอบตำแหน่งด้วยภาพ kV-kV และ cone beam CT (CBCT) เพื่อสนับสนุนความสม่ำเสมอของตำแหน่งการฉายรังสีในทางคลินิก นอกจากนี้ ยังกล่าวถึงข้อพิจารณาในการนำเทคนิค EEBH ไปใช้ในเวชปฏิบัติ เช่น ความร่วมมือของผู้ป่วย ความสามารถในการทำซ้ำของการกลั้นลมหายใจ การฝึกซ้อมก่อนการรักษา และการติดตามตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอในแต่ละ fraction เพื่อคงคุณภาพและความปลอดภัยของการรักษา แนวทางดังกล่าวเป็นรายงานเชิงเทคนิคและเวชปฏิบัติ มิได้มุ่งเน้นการประเมินผลลัพธ์เชิงเปรียบเทียบ และสามารถใช้เป็นแนวทางอ้างอิงสำหรับบุคลากรทางรังสีรักษาในสถาบันที่มีทรัพยากรและเทคโนโลยีใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: การกลั้นลมหายใจออก, การฉายรังสี, มะเร็งปอด, การหายใจ, ความสามารถในการทำซ้ำ

Abstract

Respiratory motion, or lung movement resulting from breathing, is an important factor that causes uncertainty in the target position during radiation treatment for lung cancer, and may affect the accuracy and safety of the treatment. This article presents technical and practical guidelines for radiation treatment of lung cancer using the end-expiration breath-hold (EEBH) technique with respiratory gating for scanners (RGSC) and a linear accelerator, covering the patient selection process and preparation procedures, including breath-hold training, computed tomography simulation (CT simulation) under EEBH conditions, and advanced radiation therapy planning. Additionally, it encompasses the process of radiation delivery and position monitoring using kV-kV and cone beam CT (CBCT) images to ensure the consistency of the patient's radiation position in clinical settings. Furthermore, it discusses the considerations for using EEBH techniques in medical practice, such as patient cooperation, reproducibility of breath holding, pre-treatment training, and position monitoring in each fraction to maintain the quality and safety of treatment. Therefore, these guidelines are technical reports and medical practice. These are not evaluating comparative results. However, this article can serve as a reference guide for radiotherapy treatment workflows in institutions with similar resources and technology.

Keywords: End expiration breath hold, radiation therapy, lung cancer, breathing, reproducibility

J Thai Assoc Radiat Oncol 2026; 32(1): O16 - O33

บทนำ

มะเร็งปอดถือว่าเป็นโรคที่มีความรุนแรงสูงสุดชนิดหนึ่งของประชากรทั้งในระดับสากลและประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2563 มีอัตราของผู้ป่วยมะเร็งปอดรายใหม่เพิ่มขึ้นประมาณ 2.2 ล้านราย และผู้เสียชีวิตจากมะเร็งปอดถึง 1.8 ล้านราย[1] ความสำคัญของปัญหานี้สะท้อนผ่านอัตราการเกิดโรคและการเสียชีวิตที่มีจำนวนมาก โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่มีระบบสาธารณสุขไม่ทั่วถึง สำหรับประเทศไทย มะเร็งปอดถือเป็นหนึ่งในห้ากลุ่มโรคมะเร็งที่พบบ่อยที่สุด สาเหตุหลักของโรคคือการสูบบุหรี่ มลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM2.5 และโรคระบาดที่กระจายในอากาศ[2,3]

ในช่วงปี พ.ศ. 2563-2567 หน่วยบริการฉายรังสี แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลศิริราช มีผู้ป่วยมะเร็งปอดเข้ารับการฉายรังสีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดัง**ตารางที่ 1** และ**ภาพที่ 1** ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาแนวทางการรักษาที่มีความแม่นยำและปลอดภัยสำหรับผู้ป่วยกลุ่มนี้ได้อย่างเหมาะสม

แม้การรักษามะเร็งปอดจะสามารถรักษาได้หลายรูปแบบ เช่น การผ่าตัด (surgery) การให้ยาเคมีบำบัด (chemotherapy) การใช้ยามุ่งเป้า (targeted therapy) หรือการใช้ยาภูมิคุ้มกันบำบัด (immunotherapy)[4] แต่ในผู้ป่วยที่ไม่สามารถเข้ารับการผ่าตัดได้หรือไม่เหมาะสมต่อการผ่าตัด และรักษาเฉพาะตำแหน่งทั้งเพื่อประคับประคอง การฉายรังสี (radiotherapy) จึงถือเป็นวิธีการรักษาหลักอีกวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ความท้าทายของการฉายรังสีมะเร็งปอดคือการเคลื่อนไหวของปอดและอวัยวะภายในทรวงอกระหว่างการหายใจ ซึ่งทำให้เป้าหมายรอยโรคที่ต้องการรักษาเคลื่อนที่ตลอดเวลา โดยเฉพาะรอยโรคที่อยู่บริเวณปอดส่วนล่างหรือใกล้กระบังลม จะมีการเคลื่อนที่มากสุดในแนวดิ่ง (ขึ้น-ลง) ประมาณ 10-12 มิลลิเมตร ส่งผลให้ต้องขยายตำแหน่งเป้าหมาย (target volume) เพื่อชดเชยความไม่แน่นอนเชิงตำแหน่ง และอาจเพิ่มปริมาณรังสีที่กระทบต่ออวัยวะปกติใกล้เคียง (organs at risk, OARs) รอบๆ สูงขึ้น[5,6]

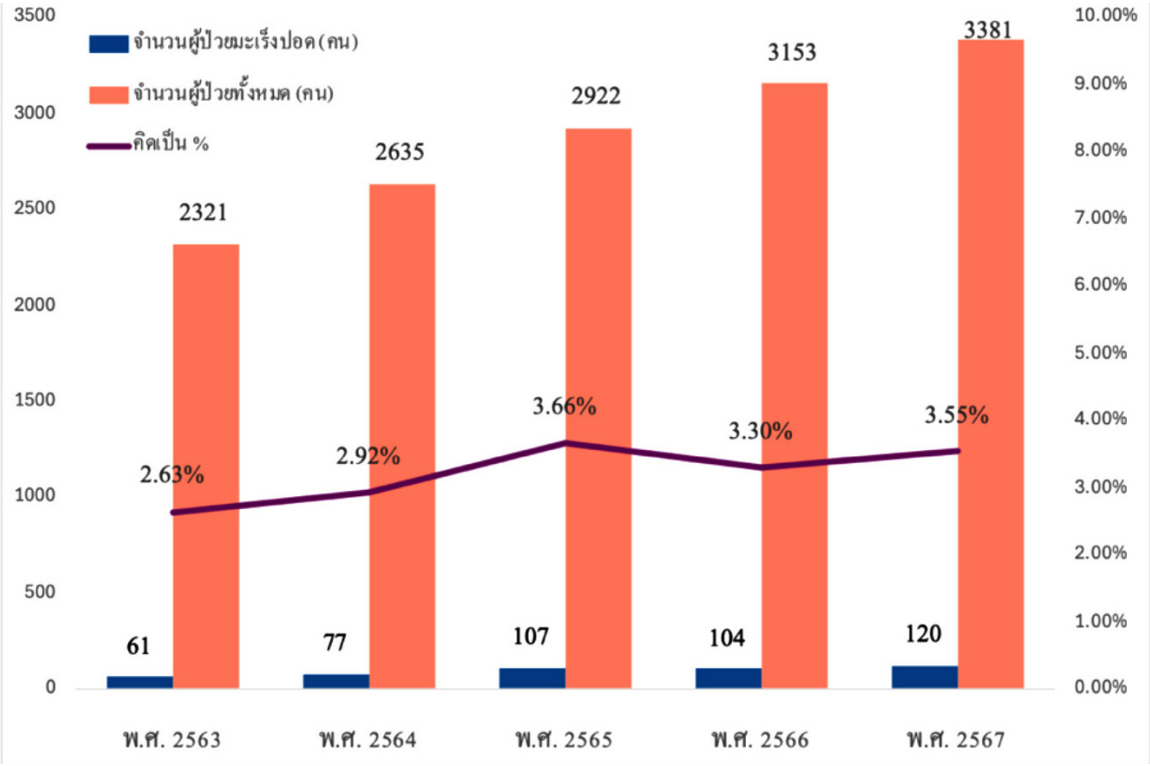
จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีการพัฒนาเทคนิคที่ควบคุมการเคลื่อนไหวที่เกิดจากการหายใจ (motion management techniques) เช่น การใช้วิธีการถ่ายภาพแบบ 4 มิติ (4DCT) เป็นการสร้างภาพ CT แบบ 3 มิติ ร่วมกับการบันทึกสัญญาณการหายใจของผู้ป่วยเป็นระยะเวลาต่าง ๆ หรือเรียกอีกอย่างว่า เฟสของการหายใจ เพื่อ

ตารางที่ 1 สถิติจำนวนผู้ป่วยมะเร็งปอดปฐมภูมิที่ได้รับการฉายรังสีบริเวณปอด เปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยทั้งหมดในหน่วยบริการฉายรังสี แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลศิริราช ช่วงปี พ.ศ. 2563-2567

ปี พ.ศ.	พ.ศ. 2563	พ.ศ. 2564	พ.ศ. 2565	พ.ศ. 2566	พ.ศ. 2567	ค่าเฉลี่ย
จำนวนผู้ป่วยมะเร็งปอด (คน)	61	77	107	104	120	94
จำนวนผู้ป่วยทั้งหมด (คน)	2321	2635	2922	3153	3381	2882
คิดเป็น %	2.63%	2.92%	3.66%	3.30%	3.55%	3.21%

หมายเหตุ: จำนวนผู้ป่วยมะเร็งปอดในตารางนี้นับเฉพาะผู้ป่วยมะเร็งปอดปฐมภูมิที่ได้รับการฉายรังสีบริเวณปอด ไม่รวมกรณีมะเร็งปอดที่แพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น และเข้ารับการฉายรังสีในตำแหน่งอื่น

ที่มา: หน่วยสถิติ แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลศิริราช

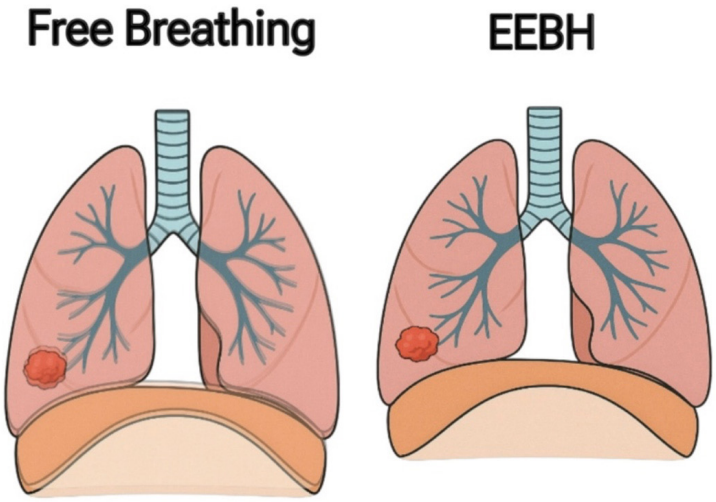


ภาพที่ 1 กราฟแสดงสถิติจำนวนผู้ป่วยมะเร็งปอดปฐมภูมิที่ได้รับการฉายรังสีบริเวณปอด เปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยทั้งหมดในหน่วยบริการฉายรังสี แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลศิริราช ช่วงปี พ.ศ. 2563-2567

ประเมินการเคลื่อนไหวของรอยโรคจากทุกช่วงของการหายใจ หรือเทคนิคที่ให้ผู้ป่วยหายใจได้ตามปกติแต่จำกัดการเคลื่อนไหว เช่น respiratory gating, real time tumor tracking, abdominal compression[7] และ continuous positive airway pressure (CPAP) รวมไปถึงเทคนิคการกลั้นลมหายใจทั้งเข้าและออกสุด[5]

ในทางเวชปฏิบัติ เทคนิคการกลั้นลมหายใจเข้า (deep inspiration breath hold, DIBH) ถูกนำมาใช้ในหลายสถาบันสำหรับการฉายรังสีบริเวณทรวงอก เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาตรปอดและช่วยลดปริมาณรังสีต่ออวัยวะเสี่ยงบางส่วนได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับการฉายรังสีรักษามะเร็งปอด การเลือกใช้เทคนิคการกลั้นลมหายใจไม่สามารถกำหนดเป็นรูปแบบเดียวกันได้ในผู้ป่วยทุกราย เนื่องจากยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งรอยโรค ลักษณะการเคลื่อนไหวของปอด และความสามารถในการควบคุมการหายใจของผู้ป่วยแต่ละราย[8]

โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเทคนิคการกลั้นลมหายใจออก (end expiration breath hold, EEBH) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่อาศัยช่วงการหายใจออกสุด อันเป็นช่วงที่อวัยวะภายในทรวงอกเคลื่อนไหวน้อยและคงที่มากที่สุด เมื่อเทียบกับช่วงที่ผู้ป่วยหายใจเข้าออกแบบปกติ (free breathing) ดัง**ภาพที่ 2** ส่งผลให้เทคนิคนี้สามารถ



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบรอยโรคในปอดระหว่างการหายใจปกติ (free breathing) และการกลั้นลมหายใจออก (end-expiration breath-hold, EEBH)
ที่มา: ภาพวาดโดย ฟ้าวลัย พงษ์ไพบูลย์

ช่วยลด internal target volume (ITV) และเพิ่มความเสถียรภาพเชิงตำแหน่ง (position stability) ได้ดีกว่าบางกรณี[9,10] โดยเฉพาะในการฉายรังสีร่วมพิกัด (stereotactic body radiation therapy, SBRT) หรือการฉายรังสีปรับความเข้มแบบหมุน (volumetric modulated arc therapy, VMAT) ที่ต้องการความแม่นยำสูง

ในปัจจุบัน มีการนำเทคนิค EEBH มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ respiratory gating for scanners (RGSC) ซึ่งเป็นระบบกำหนดจังหวะการหายใจสำหรับการสแกนภาพ และติดตามการเคลื่อนไหวแบบเรียลไทม์ของ Varian medical systems พัฒนาต่อยอดจากระบบ real time position management (RPM) โดยใช้หลักการ gating เดียวกัน แต่เพิ่มความสามารถในการประมวลผลสัญญาณการหายใจให้แม่นยำขึ้น รองรับการทำงานร่วมกับทั้งเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สำหรับการจำลองการรักษา (CT simulation) และเครื่องฉายรังสี linear accelerator (ในที่นี้ใช้เครื่องฉายรังสี TrueBeam Varian) ในการรักษาผู้ป่วยมะเร็งปอดบางราย โดยพิจารณาจากลักษณะรอยโรค ความสามารถในการกลั้นลมหายใจ และความเหมาะสมทางคลินิกของผู้ป่วยเป็นรายบุคคล[11,12,13]

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางเชิงเทคนิคและเชิงเวชปฏิบัติ (technical and clinical implementation guideline) สำหรับการคัดเลือกผู้ป่วย การเตรียมผู้ป่วย การจำลองการรักษา การวางแผน และการฉายรังสีรักษามะเร็งปอดด้วยเทคนิค EEBH ร่วมกับระบบ RGSC และเครื่องฉายรังสี linear accelerator โดยมุ่งเน้นการอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานจริง ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในคลินิก และประเด็นที่ควรคำนึงถึงในการประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวในสถาบันที่มีบริบทและเทคโนโลยีใกล้เคียงกัน

แนวทางการดำเนินงานในเวชปฏิบัติสำหรับการฉายรังสีด้วยเทคนิคการกลั้นลมหายใจออก

1. เกณฑ์การคัดเลือกผู้ป่วย

การคัดเลือกผู้ป่วยที่เหมาะสมเป็นขั้นตอนสำคัญ เนื่องจากไม่ใช่ผู้ป่วยมะเร็งปอดทุกรายจะสามารถปฏิบัติตามเทคนิค EEBH ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยที่ควรพิจารณา ได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของก้อน การเคลื่อนไหวของรอยโรคตามการหายใจ สมรรถภาพปอด ความสามารถในการทำตามคำสั่ง และความสม่ำเสมอในการทำซ้ำ (reproducibility)[8] โดยทั่วไป เทคนิค EEBH นี้เหมาะสำหรับผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ไม่สามารถผ่าตัดได้ และมีรอยโรคอยู่ในตำแหน่งที่มีการเคลื่อนไหวตามการหายใจสูง เช่น ปอดส่วนล่างหรือใกล้กระบังลม

ก่อนเข้าสู่กระบวนการรักษาด้วยการฉายรังสีเทคนิค EEBH ผู้ป่วยควรได้รับการฝึกและทดลองกลั้นลมหายใจในขั้นตอน CT simulation โดยสามารถกลั้นลมหายใจออกได้ต่อเนื่องอย่างน้อย 15-20 วินาที และสามารถทำได้หลายรอบอย่างสม่ำเสมออย่างน้อย 3 ครั้ง ภายใต้การติดตามของระบบ RGSC เพื่อประเมินความเสถียรจากการทำเทคนิคนี้ หากผู้ป่วยมีโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจรุนแรง ภาวะหายใจลำบาก สมรรถภาพของปอดต่ำ มีภาวะวิตกกังวลสูงหรือไม่สามารถปฏิบัติตามคำสั่งได้อย่างต่อเนื่อง ควรพิจารณาใช้เทคนิคทางเลือกอื่น เช่น free breathing เป็นต้น

2. ขั้นตอนการเตรียมผู้ป่วยและการจำลองการรักษา (CT simulation)

การจำลองการรักษาด้วยเทคนิค EEBH ของผู้ป่วยมะเร็งปอด เริ่มจากการให้ข้อมูลและฝึกซ้อมกับผู้ป่วยเกี่ยวกับการหายใจแบบกลั้นลมหายใจออก ตามคำสั่งที่ว่า “หายใจเข้า หายใจออก กลั้นหายใจ” เพื่อสร้างความเข้าใจและความร่วมมือ โดยนักรังสีการแพทย์จะอธิบายจุดประสงค์ของการกลั้นลมหายใจออก ว่ามีความสำคัญต่อการลดการเคลื่อนไหวของรอยโรคและทำให้ฉายรังสีตรงตำแหน่งรอยโรคมากที่สุด พร้อมทั้งให้ผู้ป่วยทดลองฝึกกลั้นลมหายใจในท่าที่จะใช้จริงในวันที่ฉายรังสีภายในห้อง CT simulation

ผู้ป่วยจะถูกจัดให้อยู่ในท่านอนหงาย และยกแขนขึ้นเหนือศีรษะ ใช้อุปกรณ์ยึดตรึง (immobilization device) ที่เรียกว่า vacuum lock ดัง**ภาพที่ 3** สำหรับการจัดท่าของผู้ป่วยให้เหมือนเดิมทุกวันตลอดการฉายรังสี จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการหายใจของระบบ RGSC โดยวาง RGSC marker block บริเวณหน้าท้องหรือชายโครงของผู้ป่วย เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของ



ภาพที่ 3 Vacuum lock สำหรับใช้ในการช่วยจัดท่าผู้ป่วยฉายรังสี

ทรวงอกแบบเรียลไทม์จาก RGSC camera ที่ปลายเตียง CT และติดตั้งจอแสดงผล visual coaching device (VCD)[14,15] เพื่อให้ผู้ป่วยมองจอและควบคุมระดับการหายใจของตนเองให้ได้เท่าเดิมในทุกครั้งที่ทำซ้ำ ดัง**ภาพที่ 4**

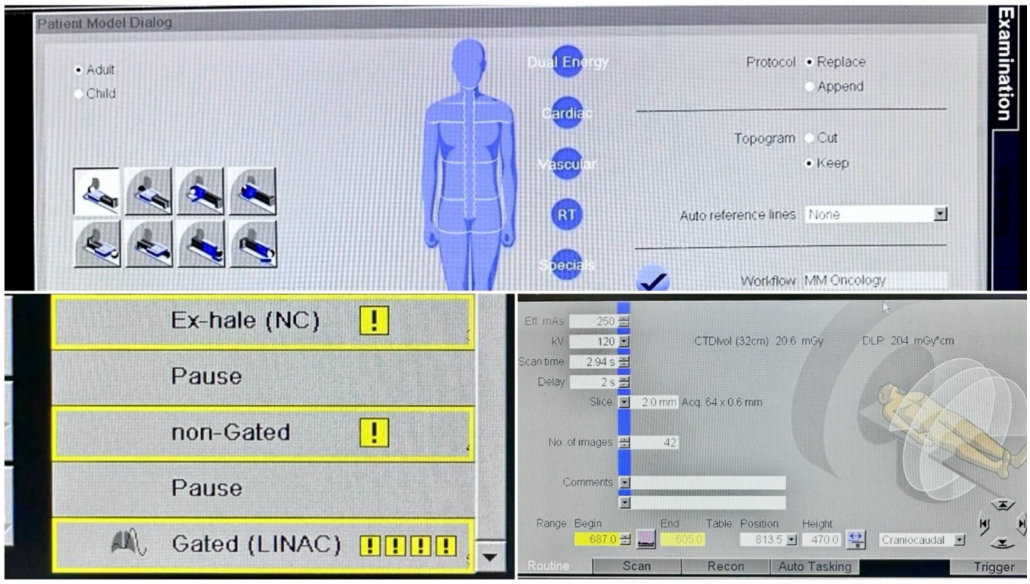
การสแกน CT จะทำทั้งในสภาวะที่ผู้ป่วยหายใจปกติ (free breathing series) และในสภาวะกลั้นลมหายใจออก (EEBH series) เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของตำแหน่งรอยโรคและอวัยวะข้างเคียง โดยทั่วไปแนะนำการสแกนด้วย slice thickness 2-3 มิลลิเมตร ดัง**ภาพที่ 5** เพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียดเพียงพอต่อการวางแผนการรักษา ทั้งนี้นักรังสีการแพทย์จะประเมินความสม่ำเสมอและความสามารถในการทำซ้ำของการกลั้นลมหายใจในแต่ละครั้ง ปกติตอนทำการสแกน CT ใน EEBH series จะทำการตัดซ้ำ ประมาณ 3 ครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ป่วยสามารถทำ EEBH ได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการวางแผนและการฉายรังสีจริง

3. การวางแผนการรักษา

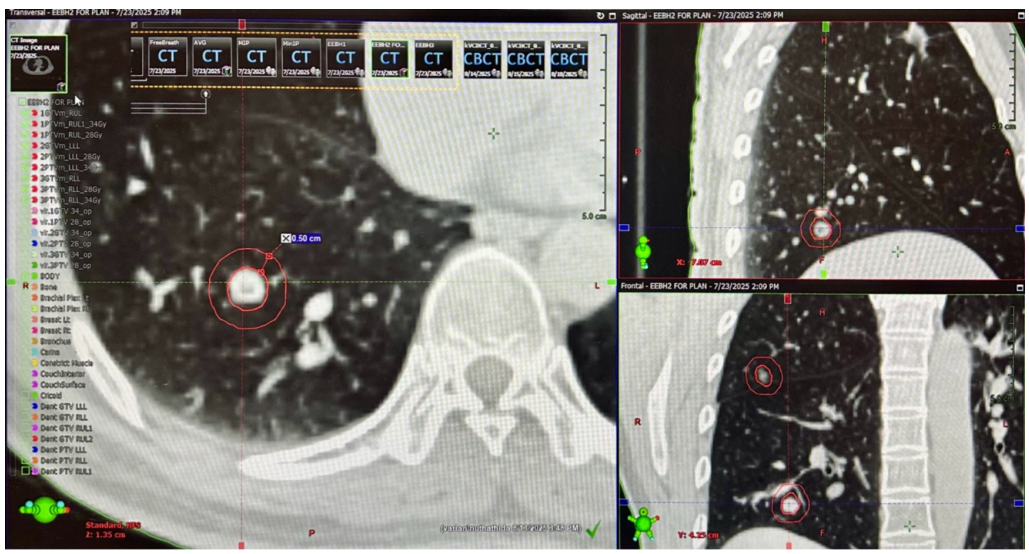
การวางแผนการฉายรังสีสำหรับผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ใช้เทคนิค EEBH จากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เพื่อคงความเสถียรของตำแหน่งระหว่างการฉายรังสี จากการอาศัยหลักการควบคุมการเคลื่อนไหวของปอด และลดความไม่แน่นอนจากการเคลื่อนไหว (motion uncertainty) เมื่อเทียบกับการรักษาในภาวะ free breathing (FB)[16,17] รวมถึงสามารถใช้ข้อมูลภาพดังกล่าวประกอบการพิจารณากำหนดตำแหน่งเป้าหมายการวางแผนฉายรังสี (planning target volume, PTV) รอบ ๆ ตำแหน่งก้อนก้อน (gross tumor volume, GTV) ประมาณ 5 มิลลิเมตร[18] ดัง**ภาพที่ 6** อย่างไรก็ตาม การกำหนดขอบเขตการรักษาควรอยู่บนพื้นฐานของการประเมินรายบุคคล โดยคำนึงถึงลักษณะรอยโรค ความเสถียรของการกลั้นลมหายใจ และบริบทของการใช้งานจริงในแต่ละสถาบัน[8]



ภาพที่ 4 (ภาพซ้าย) การจัดท่าผู้ป่วย และการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ RGSC ในขั้นตอน CT simulation (ภาพขวา) (4ก) RGSC camera (4ข) visual coaching device (4ค) RGSC marker block และตำแหน่งที่วางบริเวณหน้าท้องหรือชายโครงของผู้ป่วย



ภาพที่ 5 Protocol และ parameters การตั้งค่าของขั้นตอน CT simulation ของผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ใช้เทคนิค EEBH



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตการรักษา (PTV) จากภาพ CT EEBH ในภาพกำหนดประมาณ 5 มิลลิเมตร

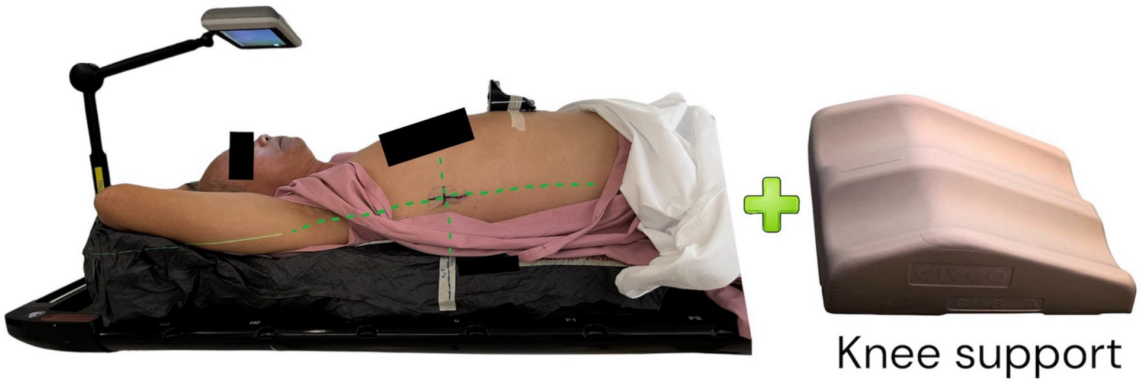
การวางแผนการรักษาที่เหมาะกับเทคนิคนี้ ได้แก่ แบบ SBRT และ VMAT เป็นเทคนิคที่ต้องอาศัยการกระจายรังสีที่ออกแบบเฉพาะเจาะจง ครอบคลุมเป้าหมายได้อย่างพอดีและสอดคล้องกับรูปร่างของรอยโรค (conformal dose distribution) โดย SBRT เหมาะสำหรับก้อนในปอดขนาดเล็กที่ไม่สามารถผ่าตัดได้ ขณะที่ VMAT เหมาะกับผู้ป่วยที่มีรอยโรคซับซ้อน, หลายตำแหน่ง หรือก้อนบริเวณต่อมน้ำเหลืองทรวงอก[19,20] ภายใต้การตรวจสอบตำแหน่ง (image guidance) อย่างเหมาะสม

4. ขั้นตอนการฉายรังสีและการตรวจสอบตำแหน่ง

การฉายรังสีผู้ป่วยด้วยเทคนิค EEBH เริ่มจากการจัดเตรียมอุปกรณ์ประกอบการรักษา โดยติดตั้งจอ VCD บริเวณหัวเตียงฉายรังสี เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถมองเห็นและใช้เป็นสัญญาณนำในการควบคุมการหายใจในระหว่างการรักษา ขณะเดียวกันมีการวางอุปกรณ์ยึดตรึงชนิด vacuum lock ซึ่งออกแบบเฉพาะสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย โดยเว้นระยะห่างจากจอ VCD อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการบดบังสายตาในระหว่างควบคุมการหายใจทั้งปกติและกลั้นลมหายใจออก

จัดท่าผู้ป่วยโดยให้นอนหงาย ยกแขนขึ้นเหนือศีรษะ วางแขนและลำตัวตามร่องบน vacuum lock รวมถึงปรับแนวลำตัวให้ตรงกับตำแหน่ง set up line ที่ขีดจากห้อง CT simulation จากนั้นขยับเตียงเข้าสู่ตำแหน่ง iso center ตามค่าที่ได้จากแผนการรักษา เพื่อให้ตำแหน่งของผู้ป่วยสอดคล้องกับการจำลองการรักษา เนื่องจากผู้ป่วยต้องนอนเป็นเวลานาน อาจเพิ่มอุปกรณ์รองเข่า (knee support) เพื่อลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อและความเมื่อยล้า รวมถึงช่วยให้นอนนิ่งได้สบายมากขึ้น ดัง**ภาพที่ 7**

เมื่อผู้ป่วยอยู่ในตำแหน่งที่พร้อมแล้ว จะติดตั้ง RGSC marker block บริเวณหน้าท้องในตำแหน่งเดียวกันกับที่ใช้ในห้อง CT simulation เพื่อให้ระบบ RGSC ตรวจจับสัญญาณการเคลื่อนไหวได้ตรงกับ reference เดิม จากนั้นตั้งค่า gating protocol parameters กำหนดให้ gating technique เป็น breath-hold gating พร้อมเปิดใช้งาน visual coaching instructions เพื่อแสดงระดับการหายใจบนหน้าจอให้ผู้ป่วยควบคุมได้ตามคำสั่ง ดัง**ภาพที่ 8** ต่อมาตรวจสอบกราฟการหายใจ โดยอ้างอิง



ภาพที่ 7 การจัดท่าผู้ป่วย และการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ RGSC ในขั้นตอนการฉายรังสี

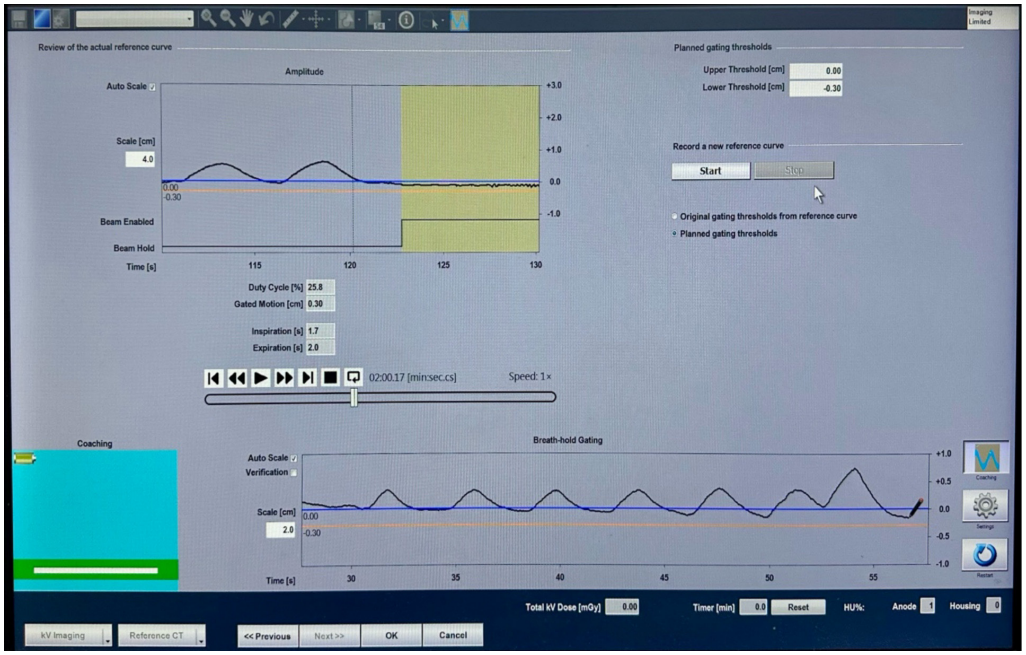


ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงการตั้งค่า gating protocol parameters

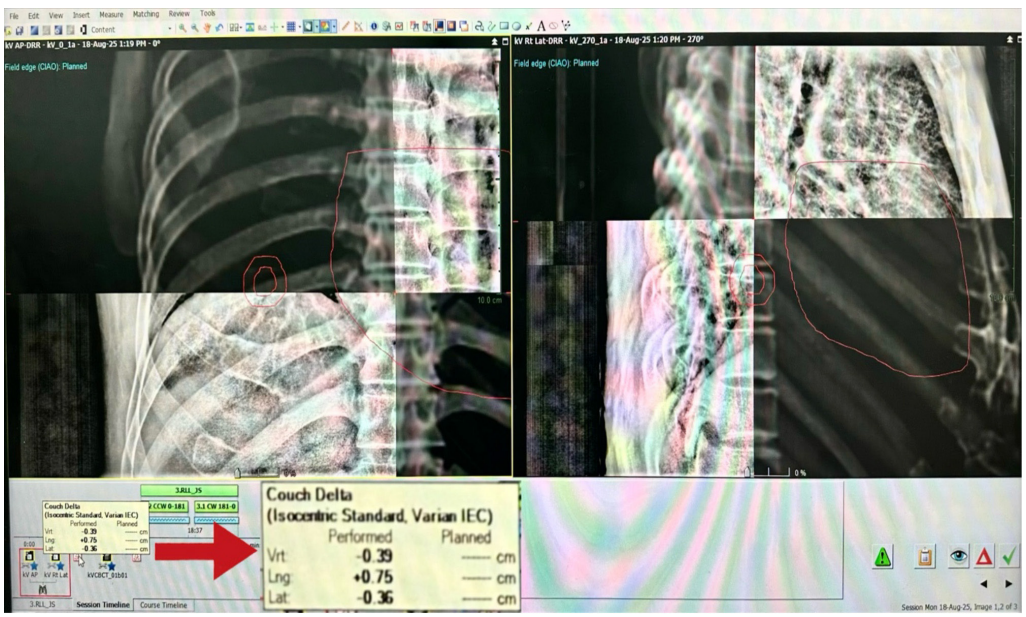
จาก reference breathing trace ที่บันทึกไว้ในขั้นตอน CT simulation ใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดช่วงระดับความลึกของการหายใจ (gating window) ในการควบคุมการทำงานของเครื่องฉายรังสี ดัง**ภาพที่ 9**[21]

สำหรับการฉายรังสีครั้งแรก (first fraction) จะทำการตรวจสอบตำแหน่งด้วยภาพ kV-kV pair เพื่อยืนยันตำแหน่งแนวกระดูก ตามหลัก bony landmark เป็นการตรวจสอบเบื้องต้น ดัง**ภาพที่ 10** จากนั้นจะทำการสร้างภาพ cone beam CT (CBCT) โดยการสร้างภาพทั้งสองแบบนี้ต้องทำในสภาวะ EEBH เพื่อยืนยันตำแหน่งของรอยโรค แนวกระดูก และอวัยวะปกติใกล้เคียงรอบข้าง ดัง**ภาพที่ 11** เมื่อเทียบภาพ CBCT กับภาพ CT simulation พบว่าตรงตำแหน่ง จะส่งค่าความต่างที่ได้ไปยังเตียง (apply couch shifts) เพื่อปรับตำแหน่งฉายรังสีให้ถูกต้องตามแผนการรักษา

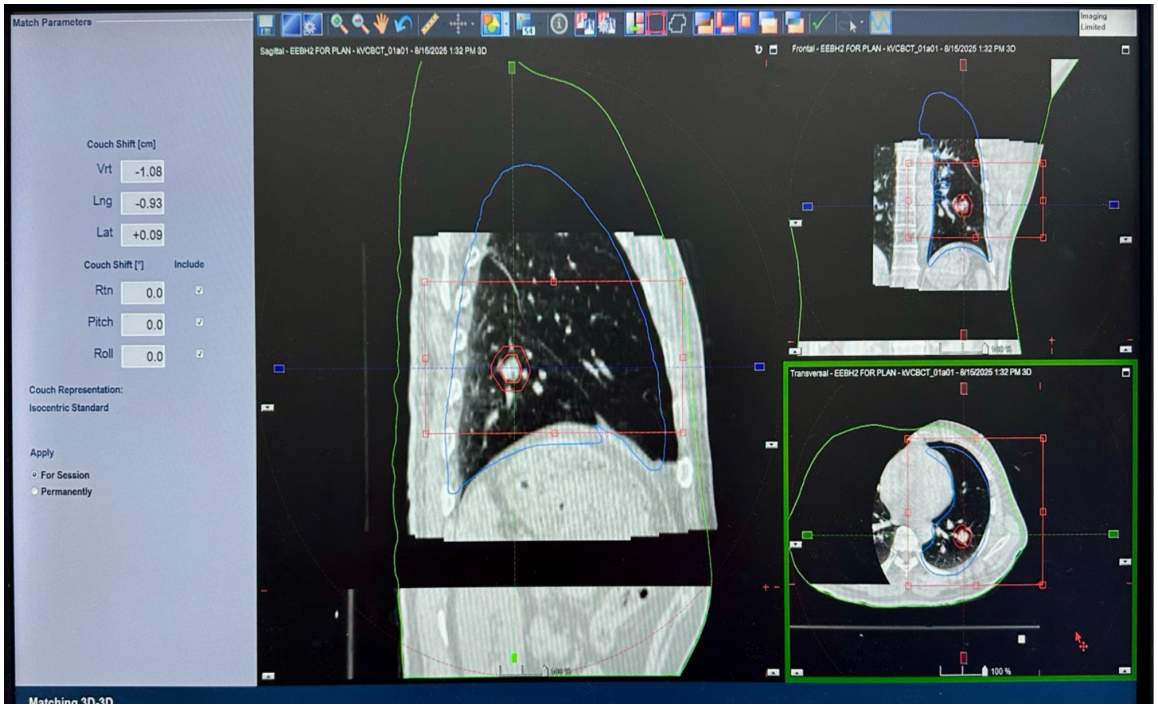
ในการควบคุมคุณภาพตำแหน่งระหว่างการฉายรังสี มีการตรวจสอบตำแหน่งด้วย CBCT ก่อนเริ่มการฉายรังสีในทุก fraction และทำการปรับตำแหน่งแบบ corrective ทุกครั้ง หลังจากการปรับตำแหน่งแล้ว กำหนดให้ตำแหน่งที่ได้ภายใน fraction เดียวกันมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ภายในช่วง ±3 มิลลิเมตร ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพและประเมินความถูกต้องของตำแหน่งหลังการปรับแก้ (post-correction positional accuracy) รวมถึงการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของ gating window ไม่เกิน ±1.5 มิลลิเมตรจากตำแหน่งอ้างอิง (reference position) ทั้งในทิศทางบนและล่าง ส่งผลให้ช่วงการฉายรังสีรวม (total gating window) มีความกว้างประมาณ 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 9 ตรวจสอบกราฟการหายใจจาก reference breathing trace ที่ใช้กำหนด gating window



ภาพที่ 10 แสดงการเทียบภาพ kV-kV ของผู้ป่วยในสภาวะ EEBH เพื่อยืนยันตำแหน่งแนวกระดูก



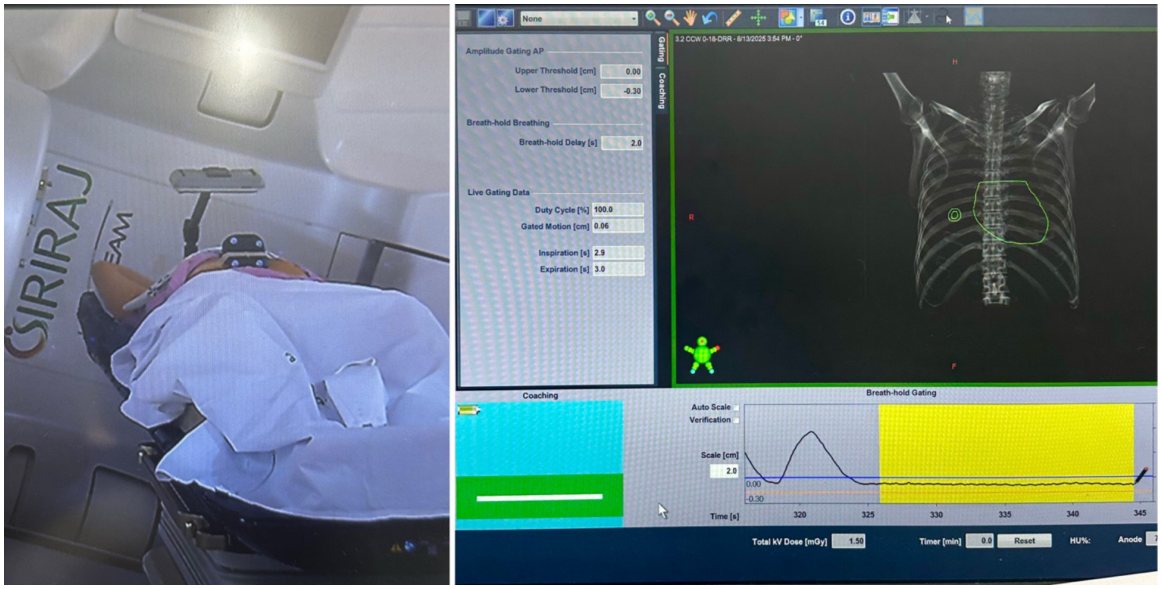
ภาพที่ 11 แสดงภาพ cone beam CT ของผู้ป่วยในสภาวะ EEBH เพื่อยืนยันตำแหน่งของรอยโรค

หลังจากนั้นจึงเริ่มกระบวนการฉายรังสีใน field ต่างๆ ตามแผนที่กำหนด โดยผู้ป่วยจะทำตามคำสั่ง “หายใจเข้า หายใจออก กลั้นหายใจ” ตามจังหวะที่กำหนด ขณะเดียวกันผู้ป่วยสามารถมองจอ VCD เพื่อจะควบคุมระดับการหายใจให้อยู่ในช่วงที่ตั้งค่าไว้ ระบบ RGSC จะสั่งให้เครื่องฉายรังสีเปิดลำรังสี (beam on) เฉพาะเมื่อสัญญาณการหายใจอยู่ใน gating window หากพบว่าผู้ป่วยหายใจหลุดออกนอกช่วง เครื่องจะหยุดฉายทันที (beam hold) เพื่อป้องกันการฉายรังสีผิดตำแหน่ง โดยทั่วไปการกลั้นหายใจออกขณะฉายจะไม่เกิน 20 วินาทีต่อครั้ง เพื่อลดความเหนื่อยและคงความสม่ำเสมอของการหายใจตลอดการรักษา ดัง**ภาพที่ 12**

ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงาน พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่สามารถกลั้นลมหายใจออกได้ต่อเนื่องประมาณ 15-20 วินาที สามารถทำซ้ำได้หลายครั้งภายในการฉายรังสีหนึ่งครั้ง (fraction) ความสามารถดังกล่าวมีความสำคัญต่อการคงความเสถียรของรอยโรคและลดการเคลื่อนไหวของปอด

อย่างไรก็ตาม พบว่ามีผู้ป่วยบางรายที่ไม่สามารถทำตามคำสั่งได้อย่างสม่ำเสมอ เกิดการหายใจไม่คงที่ ส่งผลให้ต้องหยุดพักระหว่างการฉายรังสีและทำให้ระยะเวลาการรักษาในแต่ละ fraction ยาวนานขึ้นเมื่อเทียบกับผู้ป่วยที่สามารถทำ EEBH ได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 12 การฉายรังสีผู้ป่วยมะเร็งปอดด้วยเทคนิค EEBH ร่วมกับระบบ RGSC และเครื่องฉายรังสี LINAC

การประเมินคุณภาพการรักษาจะดำเนินการผ่านการบันทึกสัญญาณการหายใจจากระบบ RGSC ร่วมกับการตรวจสอบตำแหน่งด้วย CBCT ในทุก fraction เพื่อยืนยัน reproducibility และรักษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของรอยโรค ผู้ป่วยที่สามารถทำ breath hold ได้อย่างเหมาะสม ค่าความคาดเคลื่อนตำแหน่งเฉลี่ยอยู่ที่ 2-3 มิลลิเมตร ในแนว หัว-เท้า (craniocaudal) และ หน้า-หลัง (anteroposterior)[22]

ในกรณีตรวจพบความคลาดเคลื่อนบ่อยครั้ง หรือผู้ป่วยไม่สามารถปฏิบัติตามเทคนิค EEBH ได้อย่างต่อเนื่อง อาจต้องพิจารณาปรับกระบวนการรักษาหรือเปลี่ยนไปใช้เทคนิคทางเลือกอื่น เช่น free breathing หรือ phase based gating เพื่อให้การรักษาดำเนินไปอย่างปลอดภัยและสอดคล้องกับสภาพของผู้ป่วย

ข้อควรระวัง

แม้เทคนิค EEBH จะช่วยสนับสนุนความแม่นยำของการฉายรังสี แต่ยังมีปัจจัยที่หลายประการที่ต้องพิจารณาในการนำไปใช้ในทางเวชปฏิบัติ โดยเฉพาะด้านความร่วมมือของผู้ป่วย การกลั้นหายใจซ้ำหลายครั้งในหนึ่ง fraction อาจทำให้ผู้ป่วยเกิดความเหนื่อยล้า (fatigue) และอาการเวียนศีรษะ (dizziness) ได้ โดยเฉพาะในผู้ที่มีสมรรถภาพปอดลดลงหรือมีโรคทางเดินหายใจร่วม

นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยบางรายอาจเกิดความวิตกกังวล (anxiety) เมื่อถูกจำกัดการหายใจตามสัญญาณของเครื่องมือ ทำให้ความร่วมมือลดลงและเพิ่มความเสี่ยงที่จะหยุดหายใจก่อนครบเวลาที่กำหนด[7,23] ในทางปฏิบัติไม่ใช่ผู้ป่วยทุกคนที่สามารถทำ EEBH ได้อย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีภาวะการรับรู้ช้าลง หากไม่ได้รับการฝึกซ้อมอย่างเพียงพอ อาจทำให้กระบวนการฉายรังสีใช้เวลานานกว่าปกติ

อีกทั้งการนอนในท่าเดิมเป็นเวลานานร่วมกับการกลั้นหายใจซ้ำๆ อาจทำให้เกิดความเกร็งหรือปวดกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อความสบายและความนิ่งของผู้ป่วยในแต่ละ fraction[23] ปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นข้อควรระวังที่นักรังสีการแพทย์ต้องให้ความสำคัญในการคัดเลือกผู้ป่วย ประเมินสมรรถภาพล่วงหน้า และให้การฝึกซ้อมจนผู้ป่วยสามารถทำได้อย่างมั่นใจ

การอภิปรายและการประยุกต์ใช้ในเวชปฏิบัติ

ในทางคลินิก การเลือกใช้เทคนิคการควบคุมการหายใจมิได้พิจารณาจากตำแหน่งของรอยโรคเพียงอย่างเดียว แต่ยังคำนึงถึงความสามารถในการควบคุมและความสม่ำเสมอของการหายใจในผู้ป่วยแต่ละราย โดยเทคนิค DIBH มักเหมาะกับรอยโรคบริเวณทรวงอกส่วนบนหรือกรณีที่ต้องการลดปริมาณรังสีต่อหัวใจ ขณะที่เทคนิค EEBH อาจมีความเหมาะสมมากกว่าในผู้ป่วยมะเร็งปอดส่วนล่างหรือใกล้กระบังลม เนื่องจากช่วงหายใจออกสุดมีความเสถียรและใกล้เคียงกับรูปแบบการหายใจตามธรรมชาติของผู้ป่วย ส่งผลให้สามารถควบคุมตำแหน่งรอยโรคได้อย่างสม่ำเสมอในการนำไปใช้จริง ทั้งนี้ ในทางเวชปฏิบัติ ผู้ป่วยจำนวนหนึ่งสามารถควบคุมการกลั้นลมหายใจออกได้ง่ายและสม่ำเสมอกว่าการกลั้นลมหายใจเข้า เนื่องจากต้องใช้แรงในการหายใจน้อยกว่าและก่อให้เกิดความเหนื่อยน้อยกว่าในบางกลุ่มผู้ป่วย ดังนั้น การเลือกใช้เทคนิคดังกล่าวจึงควรเป็นการพิจารณาเชิงรายบุคคล โดยมุ่งเน้นความเสถียรของตำแหน่งและความสามารถในการทำซ้ำของการหายใจ มากกว่าการยึดถือเทคนิคใดเทคนิคหนึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับผู้ป่วยทุกราย

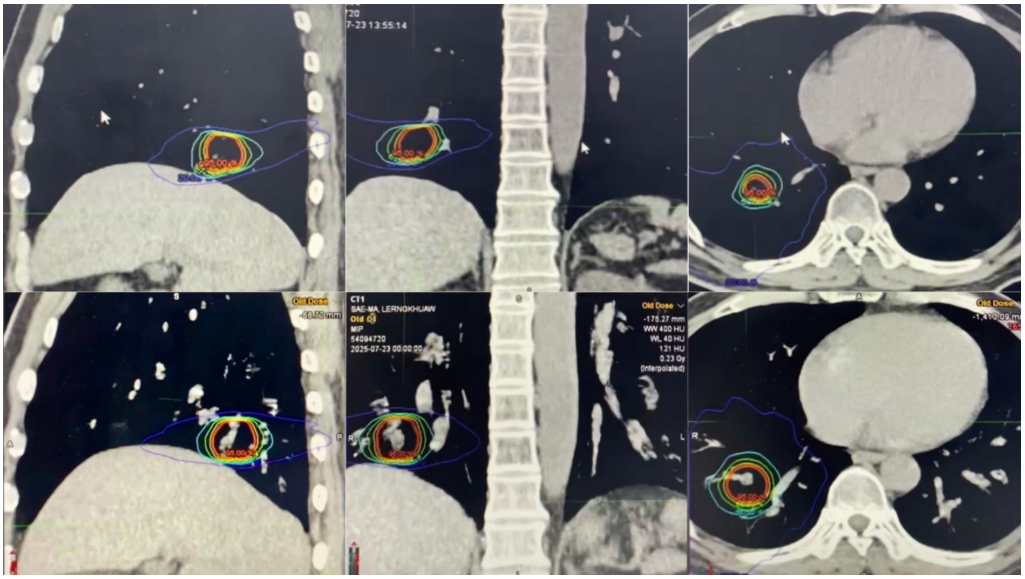
การกำหนด gating window ที่เหมาะสมเป็นองค์ประกอบสำคัญของการใช้เทคนิค respiratory gating จากการศึกษาที่พบก่อนหน้าระบุว่าช่วง phase ประมาณ 30-70% ของรอบการหายใจ เป็นช่วงที่การเคลื่อนไหวของปอดมีน้อยที่สุด มักถูกใช้เป็นจุดสมดุลระหว่างการจำกัดปริมาณรังสีต่อเนื้อเยื่อปกติและระยะเวลาของกระบวนการรักษาที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง[24] แนวคิดดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิค EEBH และระบบ RGSC เพื่อสนับสนุนการควบคุมรูปแบบการหายใจให้มีความสม่ำเสมอในผู้ป่วยแต่ละราย

การควบคุมการหายใจให้อยู่ในช่วงที่สม่ำเสมอมีผลต่อความเสถียรของตำแหน่งรอยโรคและความสัมพันธ์ทางกายวิภาคกับอวัยวะข้างเคียง ซึ่งเป็นปัจจัยต่อการกระจายปริมาณรังสีที่ได้จากการวางแผนการรักษา ดัง**ภาพที่ 13** แสดงตัวอย่างเชิงประกอบของการวางแผนการรักษาในสภาวะ free breathing และ EEBH เพื่ออธิบายแนวคิดของการควบคุมการเคลื่อนไหวจากการหายใจในบริบทการฉายรังสีรักษามะเร็งปอด[25]

ข้อสรุป

เทคนิค EEBH ร่วมกับระบบ RGSC เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการการเคลื่อนไหวจากการหายใจที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฉายรังสีรักษามะเร็งปอดได้ในผู้ป่วยที่เหมาะสม โดยมีบทบาทในการลดความไม่แน่นอนของตำแหน่งรอยโรคจากการเคลื่อนไหวของปอด และสนับสนุนความสม่ำเสมอของตำแหน่งการฉายรังสีตลอดกระบวนการรักษา

การนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้ในเวชปฏิบัติควรอยู่ภายใต้การคัดเลือกผู้ป่วยที่เหมาะสม การเตรียมความพร้อมผ่านการฝึกซ้อม และการติดตามตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอในแต่ละ fraction เพื่อคงคุณภาพและความปลอดภัยของการรักษา ทั้งนี้ การประยุกต์ใช้เทคนิค EEBH ร่วมกับเทคนิคการฉายรังสีขั้นสูง เช่น SBRT และ VMAT ควรพิจารณาตามบริบทและทรัพยากรของแต่ละสถาบัน



ภาพที่ 13 ตัวอย่างเชิงประกอบของการวางแผนการรักษาในสภาวะหายใจปกติ (ภาพแถวบน) และ EEBH (ภาพแถวล่าง)
หมายเหตุ: ภาพนี้นำเสนอเพื่ออธิบายแนวคิดเชิงกลไกของการควบคุมการเคลื่อนไหวจากการหายใจต่อความเสถียรของตำแหน่งรอยโรคและลักษณะการกระจายของปริมาณรังสี ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เปรียบเทียบในเชิงปริมาณระหว่างสองเทคนิค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์รังสีแพทย์ นักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์ และบุคลากรสหสาขาวิชาชีพในหน่วยงานรังสีรักษา ที่ให้คำแนะนำ สนับสนุน และแลกเปลี่ยนประสบการณ์ทางคลินิกอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำบทความฉบับนี้ รวมถึงขอขอบคุณผู้ป่วยทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติตามขั้นตอนการรักษา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สามารถนำเทคนิคการกลั้นลมหายใจออกร่วมกับระบบ respiratory gating for scanners มาประยุกต์ใช้ในเวชปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ ขอขอบคุณบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานด้านเทคนิค การจัดเตรียมอุปกรณ์ และการตรวจสอบคุณภาพการรักษา ที่มีส่วนช่วยให้กระบวนการฉายรังสีเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

1. Li C, Lei S, Ding L, Xu Y, Wu X, Wang H, et al. Global burden and trends of lung cancer incidence and mortality. Chin Med J (Engl). 2023;136: 1583-90.
2. Virani S, Bilheem S, Chansaard W, Chitapanarux I, Daoprasert K, Khuanchana S, et al. National and subnational population-based incidence of cancer in Thailand: Assessing cancers with the highest burdens. Cancer Epidemiol. 2017; 50:119-27.
3. Phacharoen U, Taseeruan W, Niyomthong P, Chattrapiban T. Trends in particulate matter levels and lung cancer incidence rate in phrae province, Northern Thailand: A 10-Year Retrospective Study. Phrae Med J Clin Sci. 2025;33:14-25.
4. ณิชา ซึงสนธิพร. การรักษาโรคมะเร็งปอดด้วยยา (Systemic therapy) [Internet]. กรุงเทพฯ: หน่วยมะเร็งวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์; 2023 Nov 14 [cited 2025 Aug 26]. Available from: https://kcmh.chulalongkornhospital.go.th/line/การรักษาโรคมะเร็งปอดด้/
5. Abdul Ghani MNH, Ng WL. Management of respiratory motion for lung radiotherapy: a review. J Xiangya Med. 2018;3:27.
6. Botticella A, Levy A, Auzac G, Chabert I, Berthold C, Le Pechoux C. Tumour motion management in lung cancer: a narrative review. Transl Lung Cancer Res. 2021;10:2011-7.
7. Nguanthean W, Wong S. Knowledge for radiotherapists about stereotactic body radiotherapy for lung lesions. J Thai Assn Radiat Oncol. 2022;28:O1-O13.
8. Guberina M, Santiago A, Pöttgen C, Eich HT, Kriz J, Husmann G, et al. Respiration-controlled radiotherapy in lung cancer: Systematic evaluation of the optimal application practice. Clin Transl Radiat Oncol. 2023;40:100628.
9. Mayhew C, Venkatasai J, Khan M, Leung B, Owczarczyk K, Ntentas G. Dosimetric and volumetric effects of end expiration breath hold radiotherapy for oesophageal cancer. Presented at: ESTRO 2023; 2023 May 15-19; Vienna, Austria.
10. Mayhew C, Venkatasai J, Khan M, Butterworth V, Owczarczyk K, Ntentas G. Effect of end expiration breath hold on target volumes and organ at risk doses for oesophageal cancer radiotherapy. Phys Imaging Radiat Oncol. 2025;33:100726.
11. Shi C, Tang X, Chan M. Evaluation of the new respiratory gating system. Precis Radiat Oncol. 2017;1:127-33.
12. Liu B, Shi C, Prakash M, Gonzalez B, Kassardjian A, Kim J, et al. Comparison of baseline drifts using three reflector blocks versus using a single reflector block for the calibration of wall-mounted Respiratory Gating for Scanner (RGSC) camera integrated with a CT. J Appl Clin Med Phys. 2023;24:e14199.

13. Oh SA, Yea JW, Kim SK. Statistical determination of the gating windows for respiratory gated radiotherapy using a visible guiding system. PLoS ONE. 2016; 11:e0156357.
14. Introducing RGSC 1.0 – Varian's new gating solution for CT scanners [Internet]. Vienna: Gesundheitsverbund; 2015 Mar 7 [cited 2025 Aug 28]. Available from: https://physik.gesundheitsverbund.at/rgsc/rgsc_intro.htm
15. Varian Medical Systems. Respiratory Gating for Scanners (RGSC) Product Planning Guide [Internet]. Palo Alto (CA): Varian Medical Systems; 2021 Feb [cited 2025 Aug 28]. Available from: https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/meps-fbase-prod-1.appspot.com/o/mft-items%2F66e0ff85-8a5f-4675-bc66-daab842a9010%2Fcutsheets%2FVarian-1730378598293.pdf?alt=media&token=6f39ad15-3aac-498e-a02b-582f5b433810
16. Timmerman R, Paulus R, Galvin J, Michalski J, Straube W, Bradley J, et al. Stereotactic Body Radiation Therapy for Inoperable Early-Stage Lung Cancer. JAMA. 2010;303:1070-6.
17. Guckenberger M, Wilbert J, Krieger T, Richter A, Baier K, Meyer J, et al. Motion management in stereotactic body radiotherapy for pulmonary tumors — Review of procedures and clinical evidence. Radiother Oncol. 2012;102: 168-74.
18. Guckenberger M, Andratschke N, Dieckmann K, Hoogeman MS, Hoyer M, Hurkmans C, et al. ESTRO ACROP consensus guideline on implementation and practice of stereotactic body radiotherapy for peripherally located early stage non-small cell lung cancer. Radiother Oncol. 2017;124: 11-7.
19. Uttumporn P, Plianaram S, Pongprapan W, Thanunphuwasit U, Yamchaisarn C, Pongpaiboon F, et al. Stereotactic Body Radiotherapy in lung cancer and lung metastases patient at Siriraj hospital. J Thai Assn Radiat Oncol. 2022;28: 56-69.
20. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, Emery RS, Forster KM, Jiang SB, et al. The management of respiratory motion in radiation oncology: Report of AAPM Task Group 76. Med Phys. 2006;33: 3874-900.
21. Varian Medical Systems, Inc. Gating Files Workflow Workbook: RGSC and RPM with ARIA, Clinac, and TrueBeam Platform. Palo Alto (CA): Varian Medical Systems; 2018.

22. Farrugia B, Brown K, Knight K, Wright C. A systematic review of tumour position reproducibility and stability in breath-hold for radiation therapy of the upper abdomen. Phys Imaging Radiat Oncol. 2025;34:100751.
23. Koch S, Bremer M, Lettmaier S, Strober R, Semrau S, Weissmann T, et al. Patient compliance in breath-hold based radiation therapy. Strahlenther Onkol. 2020;196: 640-7.
24. Kittiva N, Khamfongkhruea C, Chamchod S, Paduka S, Liamsuwan T. Optimal gating window for respiratory gated pencil beam scanning proton therapy for lung cancer: a pilot study. J Thai Assn Radiat Oncol. 2021;27: R60-R75.
25. Yang S, Su B, Liu H. Quantitative evaluation of accumulated and planned dose deviations in patients undergoing gated and non-gated lung stereotactic body radiation therapy patients: a retrospective analysis. Transl Lung Cancer Res. 2024;13:3616-28.