ประสบการณ์การประยุกต์ใช้ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย ยี่ห้อ AlignRT สำหรับจัดตำแหน่งฉายรังสี และการประกันคุณภาพ

Marker-less patient setup applications of surface-guided radiotherapy and quality assurance: An institutional experience

สรจรส อุณห์ศิริ, ศักดา กิ่งแก้ว, มนัญชยา วิมลโนช, พันทิวา อุณห์ศิริ
สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ฝ่ายรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงาน
พันทิวา อุณห์ศิริ
สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ฝ่ายรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย
1873 ถนน พระราม 4 เขตปทุมวัน แขวงปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
อีเมล: nim_1000d@hotmail.com

Sornjarod Oonsiri, Sakda Kingkaew, Mananchaya Vimolnoch, Puntiwa Oonsiri
Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society

Corresponding author
Puntiwa Oonsiri
Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society
1873 Rama IV Road, Pratumwan, Bangkok, 10330
Email: nim_1000d@hotmail.com

Submitted: April 1, 2026
Revised: May 18, 2026
Accepted: June 16, 2026

บทคัดย่อ

ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย (surface-guided radiotherapy: SGRT) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานรังสีรักษามากขึ้น สามารถใช้เพื่อจัดตำแหน่งผู้ป่วยและติดตามการเคลื่อนไหวของอวัยวะ โดยสามารถหยุดให้รังสีได้ทันทีหากการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่สนใจคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่วางแผนการรักษาไว้ อีกทั้งการประกันคุณภาพของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยเป็นกระบวนการสำคัญเพื่อความสร้างมั่นใจในการรักษาผู้ป่วยให้มีความถูกต้อง สามารถแบ่งออกได้เป็นการประกันคุณภาพแบบประจำวัน ประจำเดือน และประจำปี บทความนี้นำเสนอประสบการณ์การประยุกต์ใช้กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยสำหรับการจัดตำแหน่งผู้ป่วยฉายรังสี และการทำการประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยของหน่วยงาน เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้อ่านในการประยุกต์ใช้และพัฒนางานด้านรังสีรักษาต่อไป

คำสำคัญ: การจัดตำแหน่งฉายรังสี, ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย, การประกันคุณภาพ

Abstract

Surface-guided radiotherapy (SGRT) has been increasingly implemented in modern radiation therapy practice. It can be utilized for patient positioning and real-time monitoring of organ motion during treatment. Furthermore, the system enables automatic beam interruption when the motion of the target or organ of interest deviates from the planned treatment position. Therefore, quality assurance (QA) of SGRT systems is essential to ensure treatment accuracy and patient safety. SGRT QA can generally be categorized into three levels: daily, monthly, and annual procedures. This article presents our institutional experience in the clinical application of SGRT for patient setup in radiation therapy, as well as the implementation of quality assurance procedures for the SGRT system. The aim is to provide practical guidance for the implementation and further development of SGRT in radiotherapy practice.

Keywords: patient setup, surface-guided radiotherapy, quality assurance

J Thai Assoc Radiat Oncol 2026; 32(1): O61 - O78

บทนำ

ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย (surface-guided radiotherapy, SGRT) เป็นหนึ่งในระบบตรวจสอบตำแหน่งก่อนการฉายรังสีด้วยระบบภาพนำวิถี (image-guided radiotherapy, IGRT) ประเภทที่ไม่ใช้รังสี[1] ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยยี่ห้อ AlignRT (Vision RT, London, UK) เป็นระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยที่ทำการสร้างภาพผิวหนังผู้ป่วยในลักษณะ 3 มิติ ณ เวลาใดๆ ด้วยแสง (optical image) โดยไม่เป็นการเพิ่มปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับแต่อย่างใด สามารถดูความคลาดเคลื่อนของตัวผู้ป่วยก่อนการฉายรังสี (inter-fraction motion) และระหว่างการฉายรังสี (intra-fraction motion)[2] รวมถึงใช้ติดตามจังหวะการหายใจผู้ป่วย ซึ่งสามารถควบคุมการให้รังสีเมื่อระดับการหายใจของผู้ป่วยเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนามาประยุกต์ใช้ในการจัดท่าผู้ป่วยในงานด้านรังสีรักษามากขึ้น[3]

กระบวนการของการฉายรังสีเป็นการะบวนการต่อเนื่อง เริ่มจากการจำลองการรักษาซึ่งเป็นขั้นตอนแรกเพื่อเลือกอุปกรณ์ยึดตรึงผู้ป่วยที่เหมาะสมกับสรีระของผู้ป่วย และผู้ป่วยสามารถอยู่ในท่าเดิมนี้ได้ในทุกวันตลอดระยะเวลาของการรักษาด้วยรังสี จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวางแผนการรักษาต่อไป เพื่อความแม่นยำและสะดวกในการจัดท่าผู้ป่วยในการฉายรังสีให้สอดคล้องและตรงกับการจำลองการรักษา นักรังสีการแพทย์จึงทำการขีดขอบเขตลำรังสีและเส้นอ้างอิงบนตัวผู้ป่วยด้วยหมึกที่ติดทน และไม่สามารถลบออกได้ง่ายเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการจัดท่าผู้ป่วยด้วยระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีต่อไป น้ำหมึกที่ใช้ขีดเส้นบนตัวผู้ป่วยมาอย่างยาวนานนั้นคือเจนเชียลไวโอเลตผสมซิลเวอร์โบรไมด์ในสัดส่วนที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามการขีดเส้นบนตัวผู้ป่วยนี้ส่งผลต่อความสวยงามของผิวหนังและสภาวะจิตใจผู้ป่วย[4,5] ผู้ป่วยบางรายอาจเกิดอาการแพ้ เป็นปื้นผื่นแดง และอาจเพิ่มโอกาสในการติดเชื้อแก่ผู้ป่วยในกรณีที่รอยโรคลุกลามเป็นแผลแฉะ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการใช้กล้องตรวจจับภาพพื้นผิวหนังผู้ป่วยเพื่อช่วยในการจัดตำแหน่งผู้ป่วยแทนการขีดเส้นบนตัวผู้ป่วย สามารถลดการเกิดอาการแทรกซ้อนจากเส้นขีดบนตัวผู้ป่วยในระหว่างการรักษาด้วยรังสี นอกจากนี้ผู้ป่วยไม่ต้องกังวลในการพยายามรักษาเส้นที่ขีดบนตัวในช่วงกระบวนการฉายรังสี สามารถทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การออกกำลังกายหรือกิจวัตรประจำวันเช่น ทาโลชั่น บริเวณที่ทำการฉายรังสีได้ตามความเหมาะสมและคำแนะนำแพทย์

บทความนี้กล่าวถึงรายละเอียดคุณลักษณะระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยยี่ห้อ AlignRT รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการจัดตำแหน่งผู้ป่วยเพื่อการรักษาด้วยรังสีบริเวณต่างๆ จากประสบการณ์ของหน่วยงานและการประกันคุณภาพ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องแก่หน่วยงานรังสีรักษาสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพิจาณาใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1. หลักการทำงานเบื้องต้น[6]

เทคโนโลยีของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยยี่ห้อ AlignRT พื้นฐานใช้กล้องวิดีโอเรียกว่า stereovision ร่วมกับรูปแบบลวดลาย (pattern) ส่งผ่านไปยังผิวหนังผู้ป่วย ทำการเก็บข้อมูลภาพ 2 มิติ จากกล้องจับสัญญาณภาพที่เรียกว่า pod อย่างน้อย 2 ตัว ด้วยความเร็วสูง ซึ่งติดที่เพดานห้องฉายรังสีเพื่อสร้างข้อมูลภาพผิวหนังผู้ป่วยเป็นภาพ 3 มิติ จากวัตถุที่มองเห็น ในแต่ละ pod จะประกอบด้วยกล้องส่งสัญญาณรูปแบบลวดลาย และกล้องรับสัญญาณสะท้อนกลับรูปแบบลวดลาย โดยกล้องนี้สามารถเก็บสัญญาณข้อมูลเป็นภาพเดี่ยว (single frame) หรือแบบต่อเนื่องด้วยอัตราความเร็ว 7.5 ภาพต่อวินาที[7]

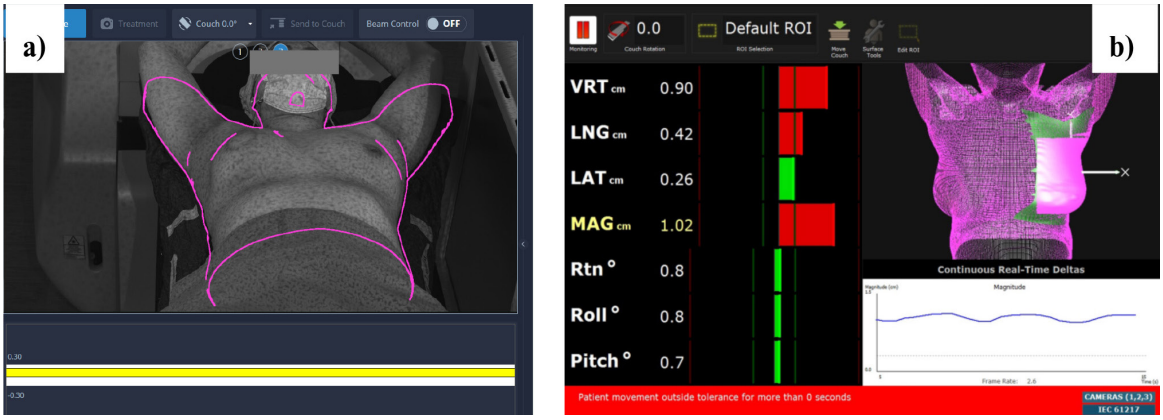
ระบบซอฟแวร์จะทำการจับคู่ภาพเหมือนแบบ 3 มิติ ระหว่างภาพพื้นผิวผู้ป่วยในวันฉายรังสีเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิงเพื่อคำนวณหาค่าความแตกต่างของการเลื่อนเตียงในแนวแกน (translation) ด้านซ้าย-ขวา หน้า-หลัง และบน-ล่าง รวมทั้งมุมการหมุน (rotation) สำหรับแก้ค่าเตียงเพื่อความถูกต้องของตำแหน่งการฉายรังสีในผู้ป่วย ระบบสามารถตรวจค่าความถูกต้องของแนวการเลื่อนเตียงในแนวแกนได้น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร และในแนวการหมุนน้อยกว่า 1 องศา[8] ภาพพื้นผิวหนังผู้ป่วยอ้างอิงได้จากข้อมูลภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่ส่งออกมาจากเครื่องวางแผนการรักษาเข้ามายังระบบซอฟแวร์ AlignRT หรืออาจได้มาจากการเก็บข้อมูลภาพพื้นผิวหนังผู้ป่วยในตำแหน่งที่ถูกต้องของวันนั้นเลยก็ได้ ระบบ AlignRT สามารถส่งข้อมูลความแตกต่างของข้อมูลระหว่างภาพพื้นผิวทั้งสองไปยังระบบควบคุมการเคลื่อนที่เตียงฉายรังสีเพื่อเลื่อนเตียงไปในตำแหน่งที่ถูกต้องจากห้องควบคุมได้อย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ในระหว่างการฉายรังสีระบบสามารถหยุดให้ลำรังสีได้ทันทีหากผู้ป่วยมีการขยับตัวและตำแหน่งของผู้ป่วยคลาดเคลื่อนเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ คือระยะเลื่อนในแนวแกนมากกว่า 3 มิลลิเมตรหรือแนวการหมุนมากกว่า 3 องศา โดยขอบเขตนี้สามารถปรับได้ตามความเหมาะสมของแต่ละหน่วยงาน

การเพิ่มจำนวนกล้องภายในห้องฉายรังสีสามารถเพิ่มขอบเขตการมองเห็นของภาพ (field of views, FOV) จำนวนกล้องที่ติดภายในห้องฉายรังสีเพิ่มขึ้นจะช่วยลดปัญหาของข้อมูลภาพขาดหายเนื่องจากถูกหัวเครื่องฉายรังสี ระบบภาพนำวิถี หรือตัวผู้ป่วย บดบังสัญญาณข้อมูล โดยทั่วไปห้องฉายรังสีควรมีระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยเพื่อจับสัญญาณภาพอย่างน้อย 3 ตัว คือ บริเวณด้านปลายเท้า ข้างซ้าย และขวา ของผู้ป่วย เพื่อจะสามารถเก็บข้อมูลผิวหนังผู้ป่วยได้ครบทุกมุมการหมุน ณ ตำแหน่งของจุดหมุนในการรักษา อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพพื้นผิวหนังที่ไม่สม่ำเสมอ (irregular surface) จึงเพิ่มความถูกต้องในการ registration ได้ นอกจากนี้อาจมีการประยุกต์ใช้ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยเป็นทางเลือกเสริมเพื่อจับจังหวะการหายใจผู้ป่วยตั้งแต่กระบวนการจำลองการรักษาด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ก็เป็นได้

2. ประสบการณ์การประยุกต์กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยในการจัดท่าผู้ป่วย

สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ได้นำเทคโนโลยีกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยมาประยุกต์ใช้ในการจัดท่าผู้ป่วยแทนการขีดเส้นบนตัวผู้ป่วยอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2568 เนื่องจากระบบซอฟแวร์ของ AlignRT มีการพัฒนาขึ้นมาก โดยนักรังสีการแพทย์สามารถมองเห็นขอบเขตของผิวหนังผู้ป่วยจากภาพอ้างอิงที่ซ้อนทับกับขอบเขตผิวหนังผู้ป่วยจริงผ่านกล้องวิดีโอแบบเรียลไทม์ พร้อมค่าแสดงความคลาดเคลื่อนทั้งในแนวแกนการเลื่อนเตียงและการหมุนเป็นแถบสีที่ชัดเจนคือแถบสีแดงเมื่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วยมีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ยอมรับคือ 3 มิลลิเมตรหรือ 3 องศา เพิ่มความสะดวกสบายและลดความกังวลแก่ผู้ป่วย ในขณะที่ภาระงานในการเติมเส้นหมึกบนตัวผู้ป่วยลดลง ตัวอย่างจอแสดงผลการจัดท่าผู้ป่วยด้วยระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย แสดงดัง**ภาพที่ 1**

การฉายรังสีบริเวณเต้านมถือว่าเป็นกลุ่มผู้ป่วยหลักที่ได้ประยุกต์ใช้กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยในการจัดตำแหน่งแทนการใช้เส้นขีดบนตัวผู้ป่วยร่วมกับระบบเลเซอร์ จึงสามารถตรวจสอบตำแหน่งผู้ป่วยก่อนการฉายรังสี และระหว่างการฉายรังสีได้ด้วย เช่น เทคนิคการหายใจเข้าลึกสุดและกลั้นใจนิ่ง[9] วิธีนี้จึงเหมาะกับบริเวณรอยโรคที่อยู่ใกล้ผิวเนื่องจากตำแหน่งของรอยโรคเคลื่อนที่สัมพันธ์กับพื้นผิวหนังผู้ป่วย โดยมีการศึกษายืนยันว่าการจัดตำแหน่งด้วยระบบกล้องจับพื้นผิวหนัง



ภาพที่ 1 a) ขอบเขตของผิวหนังผู้ป่วยจากภาพอ้างอิง (เส้นสีชมพู) ซ้อนทับกับขอบเขตผิวหนังผู้ป่วยจริง และ b)กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในการจัดตำแหน่งผู้ป่วย แถบสีแดงหมายถึงความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ผู้ป่วยให้ความถูกต้องไม่ต่างจากการจัดด้วยเส้นและระบบเลเซอร์อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งลดระยะเวลาของกระบวนการฉายรังสีลงร้อยละ 27[5] รวมถึงสามารถลดจำนวนครั้งของการสร้างภาพด้วยระบบภาพนำวิถีได้[10]

นอกจากนั้นการฉายรังสีส่วนต่างๆของร่างกายได้แก่ ช่องอก ช้องท้อง อุ้งเชิงกราน กระดูกระยางค์ หรือส่วนอื่นๆ ก็สามารถประยุกต์ใช้กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยในการจัดตำแหน่งแทนการใช้เส้นขีดบนตัวผู้ป่วยร่วมกับระบบเลเซอร์ได้เช่นเดียวกัน โดยการกำหนดขอบเขตที่สนใจ (region of interest, ROI) เพื่อใช้ในการ registration ระหว่างภาพพื้นผิวหนังอ้างอิงและภาพพื้นผิวหนังจริงก็จะแตกต่างกันไป ตัวอย่างการกำหนด ROI ของแต่ละส่วนของร่างกาย แสดงดัง**ตารางที่** 1 และ **ภาพที่** 2

3. ข้อจำกัดของการใช้กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย AlignRT ในการจัดท่าผู้ป่วย

เนื่องจากเป็นการจับสัญญาณภาพพื้นผิวหนังผู้ป่วยโดยเฉพาะ ดังนั้นความสัมพันธ์ของภาพพื้นผิวกับรอยโรคที่อยู่ลึกใต้ผิวยังคงต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งก่อนฉายรังสีด้วยการสร้างภาพทางรังสีทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ แต่อาจจะลดจำนวนครั้งของการสร้างภาพทางรังสีในแต่ละครั้งการฉายรังสีลงหรือลดความถี่ในตรวจสอบตำแหน่งก่อนฉายรังสีด้วยการสร้างภาพทางรังสีให้อยู่ในดุลยพินิจของแต่ละหน่วยงาน[10] ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบให้มั่นใจก่อน

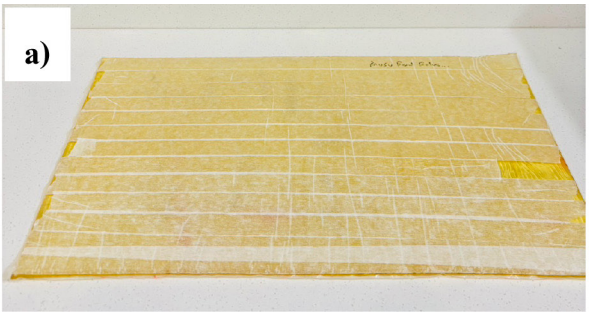
ในกรณีที่ต้องวาง bolus สำหรับการฉายรังสี เนื่องจาก bolus ให้สัญญาณภาพพื้นผิวสะท้อนต่ำ ทำให้การจับสัญญาณภาพไม่เพียงพอในการใช้เพื่อประเมินตำแหน่งในการรักษา ดังนั้นอาจต้องวางกระดาษสีพื้นที่ไม่มีความมันวางบนผิว bolus หรือใช้กระดาษกาวพื้นสีขาวติดลงบนแผ่น bolus เพื่อเพิ่มความไวในการจับสัญญาณภาพพื้นผิวได้มากขึ้นได้ การจัดท่าผู้ป่วยร่วมกับการใช้ bolus แสดงดัง**ภาพที่** 3

ตารางที่ 1 การกำหนดขอบเขตที่สนใจในการประยุกต์ใช้กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยในการจัดตำแหน่งผู้ป่วยแทนการใช้เส้นขีดบนตัวผู้ป่วยร่วมกับระบบเลเซอร์

บริเวณฉายรังสี	ข้อสังเกต
เต้านม	- เต้านมข้างที่ฉายรังสีโดยไม่รวมแขน รักแร้ และช่องท้อง - ใต้ราวนมด้านตรงข้ามเพื่อลดผลกระทบของกล้องถูกแกนทรีบดบัง
ช่องอก	- sternum และหัวกระดูกไหปลาร้า - แถบด้านล่างใต้ราวนมทั้งสองข้าง
ช่องท้อง	- sternum - แถบด้านล่างใต้ราวนมทั้งสองข้างหรือส่วนที่คงที่ เช่น กระดูกซี่โครง
อุ้งเชิงกราน	- กระดูกสะโพกทั้งด้านหน้าและด้านข้าง - ไม่รวมช่องท้องเนื่องจากพื้นผิวไม่คงที่



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตที่สนใจบริเวณต่างๆของร่างกายได้แก่ a) เต้านม, b) ช่องอก, c) ช่องท้อง และ d) อุ้งเชิงกราน





ภาพที่ 3 a) การใช้เทปกาวแปะบนผิว bolus และ b) วางกระดาษทิชชู่บนผิว bolus เพื่อเพิ่มความไวในการจับสัญญาณภาพพื้นผิวมากขึ้น

4. การประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย

ระบบการตรวจสอบตำแหน่งผู้ป่วยเป็นกระบวนการที่ความสำคัญมากในการฉายรังสี ซึ่งการฉายรังสีผิดตำแหน่งนั้นอาจก่อให้เกิดอันตรายหรือสร้างความเสียหายต่อผู้ป่วยได้มากกว่าการให้ปริมาณรังสีผิด[6] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทำการประกันคุณภาพระบบการตรวจสอบตำแหน่งของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยเช่นเดียวกับการประกันคุณภาพด้านปริมาณรังสีอย่างมีแบบแผนเช่นกัน โดยการประกันคุณภาพนั้นตรวจสอบเกี่ยวกับความปลอดภัย ความถูกต้องและแม่นยำ ความเร็วในการตรวจจับสัญญาณ (sensitivity) ความน่าเชื่อถือในการใช้จัดท่าผู้ป่วยตามรายงาน AAPM TG-147[7] และ AAPM TG-302[11] ได้แบ่งการประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ แบบประจำวัน ประจำเดือน และประจำปี

4.1 การประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยแบบประจำวัน

ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการทำการประกันคุณภาพส่วนนี้ได้แก่ นักรังสีการแพทย์ที่ผ่านการฝึกอบรมหรือตัวแทนนักรังสีการแพทย์ที่ได้รับการมอบหมายให้รับผิดชอบในการประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยแบบประจำวัน อย่างไรก็ตามนักฟิสิกส์การแพทย์เป็นผู้ตรวจสอบผลการประกันคุณภาพในแต่ละวัน หากผลการประกันคุณภาพในหัวข้อใดข้อหนึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด นักฟิสิกส์การแพทย์ต้องหาแนวทางในการแก้ไขก่อนการใช้งานทางคลินิกต่อไป หัวข้อในการประกันคุณภาพแบบประจำวันได้แก่

- ระบบความปลอดภัย (safety) เป็นการตรวจดูระบบกล้องจับสัญญาณว่ายังคงฝังแน่นติดบนฝ้าเพดานหรือผนังห้องด้วยตาเปล่า และทำการตรวจสอบขอบเขตการมองเห็นของกล้องตรวจจับสัญญาณให้มั่นใจว่าไม่มีสิ่งใดเข้ามาบดบัง หรือขัดขวางการรับสัญญาณข้อมูลในระหว่างการใช้งาน

- การระบุตำแหน่งแบบคงที่ (static localization) เป็นการตรวจสอบความสอดคล้องกันของจุดหมุนของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยกับระบบจุดหมุนเครื่องฉายรังสี (treatment machine isocenter) ซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบในวันที่มีการใช้งานของระบบหรือในช่วง warm-up เครื่องฉายรังสีประจำวัน สามารถทำได้โดยจัดหุ่นจำลอง (phantom) ด้วยระบบเลเซอร์ของเครื่องฉายรังสีให้อยู่ในตำแหน่งจุดหมุนของ

เครื่องฉายรังสี เปรียบเทียบกับค่าการระบุตำแหน่งจากระบบซอฟต์แวร์ของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย โดยกำหนดให้การระบุตำแหน่งยอมรับได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตร ถ้าหากระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยนี้ประยุกต์ใช้งานทางคลินิกเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของอวัยวะผู้ป่วยร่วมด้วย จำเป็นต้องตรวจสอบความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวผู้ป่วยโดยการเลื่อนตำแหน่งหุ่นจำลองไปในตำแหน่งที่ทราบระยะแน่นอน เช่น 5 เซนติเมตร แล้วตรวจสอบว่าระบบสามารถรายงานตำแหน่งสอดคล้องกับระยะที่เลื่อนได้ กำหนดให้การระบุตำแหน่งยอมรับได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับการระบุตำแหน่ง ณ จุดหมุน

- เอกสาร ควรจดบันทึกข้อมูลผลการประกันคุณภาพแบบประจำวันและให้ผู้ปฏิบัติงานลงนาม และเก็บข้อมูลเป็นแฟ้มเอกสารแบบอิเล็กทรอนิกส์อยู่กับเครื่อง หรือจัดทำระบบที่สามารถจดบันทึกการทำกิจกรรม (log activity) ที่ชัดเจน

4.2 ประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยแบบประจำเดือน

- ระบบความปลอดภัย ในกรณีที่มีการใช้กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยเพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของอวัยวะผู้ป่วย จำเป็นต้องตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างการหยุดให้รังสีของเครื่องฉายรังสีกับระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย เพื่อตรวจสอบระบบควบคุมการให้รังสีเมื่อตำแหน่งผู้ป่วยคลาดเคลื่อนออกนอกเกณฑ์กำหนด สามารถทำได้โดยใช้หุ่นจำลองที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (motion phantom) หรือควบคุมด้วยระบบเตียงที่สามารถเคลื่อนที่ได้จากห้องควบคุม กำหนดให้มีการเคลื่อนที่ของหุ่นจำลองออกนอกขอบเขตที่กำหนด 1-5 เซนติเมตร[7] เพื่อดูว่าเครื่องฉายรังสียังสามารถหยุดให้รังสีได้แบบอัตโนมัติ

- การระบุตำแหน่งแบบคงที่ ก่อนตรวจสอบความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย จำเป็นจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของระบบจุดหมุนของเครื่องฉายรังสีตามรายงาน AAPM TG-40[12] และ AAPM TG-142[13] รวมถึงระบบเลเซอร์และระบบกลไกอื่นๆของเครื่องฉายรังสีที่เกี่ยวข้องก่อน เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิงระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย โดยทำการจัดตำแหน่งหุ่นจำลอง (ที่มีวัตถุขนาดเล็กฝังอยู่) เช่นเดียวกับประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยแบบประจำวัน แต่ต้องทำการถ่ายภาพทางรังสีได้แก่ ฟิล์ม หรือ electronic portal imaging device (EPID) ประกอบ เพื่อดูตำแหน่งของวัตถุในหุ่นจำลองเทียบกับจุดหมุนของลำรังสีรังสี โดยรวมแล้วการตรวจสอบความถูกต้องในการระบุตำแหน่งนี้สามารถครอบคลุมทั้งหมดด้วย end-to-end target test คือเริ่มตั้งแต่ตัดภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองที่มีวัตถุขนาดเล็กฝังอยู่ ส่งข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา โดยกำหนดจุดหมุนอยู่ที่ตำแหน่งของวัตถุในหุ่นจำลอง จากนั้นส่งข้อมูลแผนการรักษาไปยังเครื่องฉายรังสี ทำการจัดตำแหน่งหุ่นจำลองด้วยระบบกล้องจับภาพพื้นผิว เลื่อนเตียงให้สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดหมุน สุดท้ายคือทำการเช็คความถูกต้องของจุดหมุนด้วยการถ่ายภาพทางรังสี กำหนดให้การระบุตำแหน่งยอมรับได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตร สำหรับการฉายรังสีด้วยปริมาณรังสีตามปกติ (standard dose fractionations) และไม่เกิน ±1 มิลลิเมตร สำหรับการฉายรังสีด้วยเทคนิครังสีศัลยกรรมร่วมพิกัด (stereotactic Radiosurgery: SRS) รังสีร่วมพิกัด (stereotactic radiation therapy, SRT) หรือรังสีร่วมพิกัดบริเวณลำตัว (stereotactic body radiation therapy, SBRT)

- การระบุตำแหน่งแบบเคลื่อนที่ (dynamic localization accuracy) ทำการเลื่อนตำแหน่งเตียงด้วยระบบอัตโนมัติหรือระบบกลไกไปในระยะที่ทราบค่า เปรียบเทียบกับค่าที่ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังรายงานผล

4.3 ประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยแบบประจำปี

เป็นการตรวจสอบระบบเพิ่มเติมจากประกันคุณภาพแบบประจำวันและประจำเดือน โดยอยู่ภายใต้การดูแลของนักฟิสิกส์การแพทย์ที่ผ่านการฝึกอบรม

- ระบบความปลอดภัย ทำการตรวจสอบระบบจ่ายไฟสำรอง (backup power) หรือการทำงานของแบตเตอรี่ รวมถึงปุ่มฉุกเฉินทั้งหมดของระบบ จำเป็นต้องตรวจสอบปีละครั้ง

- ความเสถียรของระบบ (system integrity) หากกล้องจับสัญญาณมีการปรับ เช่น ขยายภาพ ปรับความคมชัดของภาพหรืออื่นๆ จะต้องสำรวจดูระบบกล้องว่ายังคงมีความเสถียรเช่นเดิมเหมือนวันที่ทำ commissioning แต่ถ้าหากกล้องถูกติดตั้งในตำแหน่งที่มีการรบกวนของสัญญาณมากจากการเคลื่อนไหวหรือมีการเปิด-ปิด ระบบกล้องเป็นประจำ ก็ต้องทำการตรวจสอบด้วยความถี่มากขึ้นได้

- ความคงที่ของกล้องจับสัญญาณ (camera stability) ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งกล้อง (camera drift) สามารถทำได้เช่นเดียวกับในกระบวนการ commissioning คือการวางวัตถุในขอบเขตการมองเห็นของกล้อง ปิดและเปิดระบบกล้องทันทีแล้วทำการจับสัญญาณข้อมูลภาพที่เวลาต่างๆกัน โดยรายงาน AAPM TG-147[7] แสดงให้เห็นว่าระบบกล้องอินฟราเรดนั้นมีความคลาดเคลื่อนในการจับสัญญาณมากกว่า 4 มิลลิเมตร ในช่วงเวลา 80 นาทีแรกของการเปิดกล้องใช้งาน ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยหากทำการสอบเทียบความถูกต้องของตำแหน่งในช่วงที่กล้องกำลัง warm-up ส่วนความแม่นยำในการจับสัญญาณเป็นการอ่านค่าตำแหน่งของวัตถุที่ตำแหน่งเดิมซ้ำๆกันที่ระยะห่างเวลาเท่ากันภายหลังที่กล้องเปิดใช้งานและมีเสถียรภาพแล้ว โดยระยะเวลาขึ้นอยู่กับชนิดของกล้องแต่ควรตรวจสอบที่ตำแหน่งต่างๆก่อนการใช้งานทางคลินิก

- ความถูกต้องของตำแหน่ง (positioning accuracy) เพื่อทดสอบความถูกต้องของระบบการจัดตำแหน่งผู้ป่วยด้วยระบบอัตโนมัติ (autocorrect) โดยตรวจสอบตำแหน่งหุ่นจำลองที่เลื่อนไปในระยะที่ทราบค่าชัดเจน เปรียบเทียบกับค่ากับระบบกล้องจับผิวหนังผู้ป่วยตรวจจับได้ ทั้งในแนวแกนเลื่อนและแนวการหมุน

- ประเมินความสามารถในการจับจังหวะ (evaluating of gating or tracking capabilities) ทำการเลื่อนหุ่นจำลองที่สามารถเคลื่อนไหวไปในระยะที่กำหนด เพื่อประเมินการทำงานระบบเครื่องฉายรังสีสามารถหยุดให้รังสีทันทีเมื่อสัญญาณภาพพื้นผิวที่ได้อยู่นอกขอบเขตที่กำหนด

- การส่งสัญญาณ (data transfer) ตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างระบบเครื่องวางแผนการรักษา รวมถึงระบบบันทึกและตรวจสอบ (record and verify) ซึ่งควรเป็นข้อมูลผู้ป่วยชุดทดสอบเพื่อใช้ในการประกันคุณภาพทุกปี โดยกำหนดให้มีอย่างน้อย 2 ชุด เช่น ทิศทางหัวเข้านอนหงาย (head first supine) และ ทิศทางหัวเข้าแบบนอนคว่ำ (head first prone) เป็นต้น

5. ข้อควรคำนึงเกี่ยวกับการประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย[11]

5.1 ภาพพื้นผิวอ้างอิง (reference surface selection)

ภาพพื้นผิวอ้างอิงสามารถได้มาจากข้อมูล DICOM ของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จากเครื่องวางแผนการรักษาซึ่งได้มาจากกระบวนการจำลองการรักษา หรือได้มาจากการเก็บข้อมูลภาพพื้นผิวอ้างอิงจากระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย นักฟิสิกส์การแพทย์ผู้ผ่านการฝึกอบรมมีหน้าที่ประเมินผลกระทบของชนิดของภาพพื้นผิวอ้างอิงที่มีต่อ ระยะเวลาหน่วง (latency time) ตำแหน่งความถูกต้อง รวมถึง end-to-end test

ตารางที่ 2 สรุปการประกันคุณภาพสำหรับระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยและเกณฑ์ยอมรับ

	การตรวจสอบ	วิธีการ	เกณฑ์ยอมรับ
การประกันคุณภาพประจำวัน	ระบบความปลอดภัย	• ตรวจสอบตำแหน่งและการยึดกล้องฝังแน่นกับเพดาน • ไม่มีอุปกรณ์ในเข้ามาบดบังขอบเขตการมองเห็นของกล้องจับสัญญาณ	ผ่าน
	การระบุตำแหน่งแบบคงที่	• วางหุ่นจำลองที่ตำแหน่งจุดหมุน และตรวจสอบการตรวจจับการเคลื่อนที่ของหุ่นจำลองจากตำแหน่งจุดหมุน	± 2 มิลลิเมตร
ประจำเดือน (ทำเพิ่มขึ้นจากแบบประจำวัน)	ระบบความปลอดภัย	• ตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างการหยุดให้รังสีกับระบบการจับจังหวะการหายใจด้วยกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย • ตรวจสอบการเชื่อมต่อกับระบบการเคลื่อนที่ของเตียง	ผ่าน
	การระบุตำแหน่งแบบคงที่	• เพื่อดูตำแหน่งของวัตถุในหุ่นจำลองเพื่อประกอบการแปลผลของระยะหุ่นจำลองที่เคลื่อนที่ไป	± 2 มิลลิเมตร (± 1 มิลลิเมตร สำหรับ SRS/SBRT)
	การระบุตำแหน่งแบบเคลื่อนที่	• ทำการเลื่อนตำแหน่งเตียงด้วยระบบอัตโนมัติหรือด้วยระบบกลไกไปในระยะที่ทราบค่า เปรียบเทียบกับที่ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังรายงานผล	± 2 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่าตามเกณฑ์ที่บริษัทยอมรับ
ประจำปี (ทำเพิ่มขึ้นจากแบบประจำเดือน)	ระบบความปลอดภัย	• ทดสอบการทำงานของปุ่มหยุดการทำงานแบบฉุกเฉิน (emergency-off switches) • ทดสอบการทำงานของระบบสำรองไฟ • ตรวจสอบตำแหน่งและการยึดกล้องฝังแน่นกับเพดาน	ผ่าน
	ความเที่ยงตรงของระบบ	• ตรวจสอบการตั้งค่าของระบบกล้อง (ถ้าทำได้)	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม

	การตรวจสอบ	วิธีการ	เกณฑ์ยอมรับ
ประจำปี (ทำเพิ่มขึ้นจากแบบประจำเดือน)	เสถียรภาพของระบบกล้อง	• การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะที่อ่านได้ในเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง (drift measurement) • ความแม่นยำของการทำซ้ำ	• น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร (ในเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง) • น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร
	การระบุตำแหน่งแบบคงที่ (extensive)	• end-to-end tests (ตั้งแต่การเก็บข้อมูลจนกระทั่งการระบุตำแหน่ง)	± 2 มิลลิเมตร ณ จุดหมุน (± 1 มิลลิเมตร สำหรับ SRS/SBRT)
		• ตรวจสอบการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนและการหมุน ในระยะที่ใช้งานทางคลินิก	± 2 มิลลิเมตร ณ จุดหมุน
	Dynamic (gating system)	• ใช้หุ่นจำลองที่เคลื่อนไหวได้เพื่อตรวจสอบระบบการจับจังหวะ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณรังสี	น้อยกว่า 2%
	การส่งข้อมูล	• ตรวจสอบการส่งต่อข้อมูลในทุกระบบที่เกี่ยวข้อง	ทำงานได้

ณ ตอนทำ commissioning รวมถึงขณะที่มีการอัพเกรดซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความถูกต้องในการใช้ภาพพื้นผิวอ้างอิงผู้ป่วยจากข้อมูล DICOM ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ที่ส่งผ่านมาทางระบบเครื่องวางแผนการรักษา[14] ได้แก่

- ขนาดของ CT voxel และความถูกต้องในการส่งข้อมูลของระบบจุดหมุน (coordinate system) ของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สำหรับการจำลองการรักษาและระบบจุดหมุนของระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย[15]

- ความเร็วในการเก็บข้อมูลภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์และจังหวะในการหายใจ

- การระบุค่า Hounsfield units (HU) threshold ในการหาพื้นผิวหนังผู้ป่วยแบบอัตโนมัติจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ สามารถตรวจสอบโดยกำหนด HU threshold ที่แตกต่างกันเพื่อสร้างภาพพื้นผิว DICOM ของหุ่นจำลองที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับภาพพื้นผิวที่ได้จากระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย ค่า HU ที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเป็นค่าที่เหมาะสมในการใช้สร้างภาพพื้นผิว DICOM

ดังนั้นเก็บข้อมูลภาพพื้นผิวอ้างอิงจากระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยดูเหมือนจะให้ภาพพื้นผิวอ้างอิงที่ถูกต้องกว่าทั้งในเรื่องข้อมูลโครงสร้าง ความละเอียดของข้อมูลภาพที่สอดคล้องกันกับข้อมูลผู้ป่วยจริง[16] ทั้งนี้ทั้งนั้นการประยุกต์ใช้งานทางคลินิกจากระบบ DICOM หรือการสร้างภาพพื้นผิวผู้ป่วยด้วยกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย สามารถตรวจสอบด้วยการทำ

end-to-end test โดยเกณฑ์ยอมรับความแตกต่างของภาพพื้นผิวจากระบบ DICOM เปรียบเทียบกับการสร้างภาพพื้นผิวผู้ป่วยด้วยกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยไม่ควรต่างกันเกิน 1 มิลลิเมตร[11]

5.2 การเลือกบริเวณที่สนใจ (region-of-interest selection)

บริเวณที่สนใจในการทำ QA ควรสัมพันธ์กับงานทางคลินิก เช่น ขนาด รูปร่าง ตำแหน่ง ซึ่งมีผลต่อการจับสัญญาณภาพพื้นผิว กล่าวคือหุ่นจำลองที่ใช้ในการทำการประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยควรมีลักษณะพื้นผิวใกล้เคียงกับงานทางคลินิกด้วย ขนาดและรูปร่างของ ROI ที่เหมาะสมจะทำการประเมินมาตั้งแต่กระบวนการ commissioning เพื่อดูผลกระทบของ ROI ที่มีต่อระยะเวลาหน่วง ความถูกต้องของตำแหน่ง และ end-to-end workflow เนื่องจาก ROI ส่งผลต่อความถูกต้องในการจับสัญญาณของกล้องจับพื้นผิว นักฟิสิกส์การแพทย์เป็นผู้รับผิดชอบในการทำประกันคุณภาพเกี่ยวกับ ROI ทุก ๆ ปี โดยข้อดีและข้อเสียในการเลือกพื้นผิวอ้างอิงและขนาด ROI แสดงดัง**ตารางที่ 3**

6. ประสบการณ์การประกันคุณภาพ

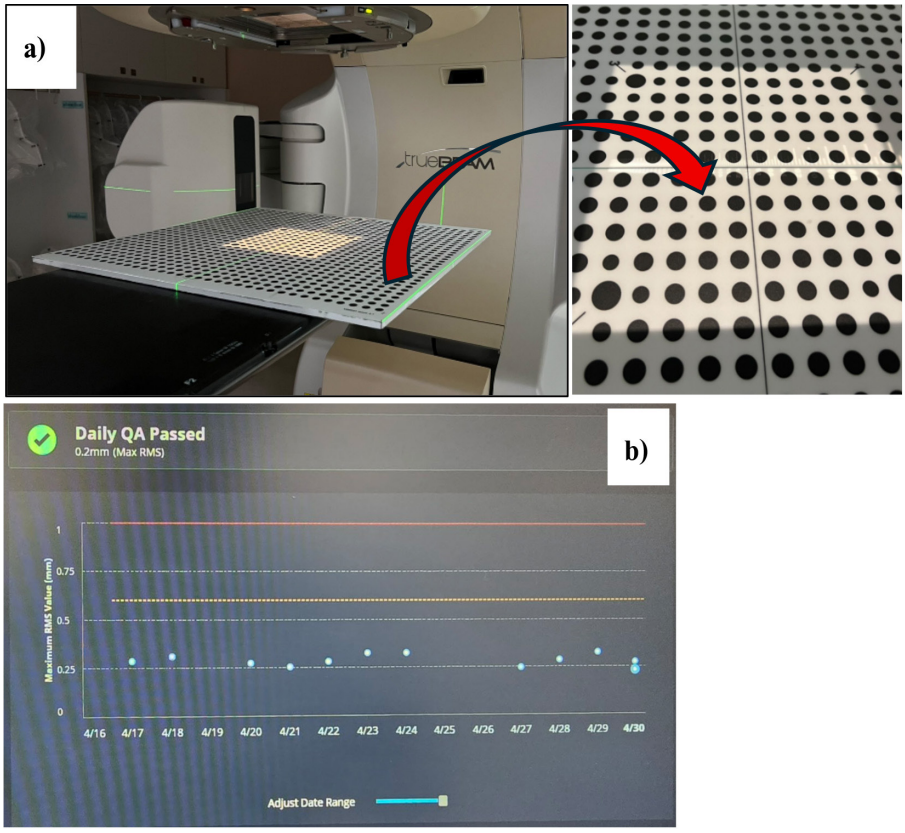
สาขารังสีรักษาและมะเร็งวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ได้มีการติดตั้งระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย ยี่ห้อ AlignRT เข้ากับเครื่องฉายรังสี ยี่ห้อ Varian รุ่น TruBeam ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจับสัญญาณภาพพื้นผิวมาก่อนหน้านี้[17] นอกจากการทำประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิวตามที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ระบบ AlignRT จะบังคับให้ทำการประกันคุณภาพของระบบกล้องจับพื้นผิวซึ่งประกอบด้วย calibration plate เพื่อใช้ในการทำประกันคุณภาพแบบประจำวัน โดยกำหนดระยะเวลาการทำซ้ำทุก 24 ชั่วโมง โดยมีวัตถุประสงค์ในการสอบเทียบสามารถสอบเทียบทั้งแบบ extrinsic และ intrinsic โดยใช้ระบบจุดหมุนของเครื่องฉายรังสีเป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณความคลาดเคลื่อนตำแหน่งผู้ป่วย

- Intrinsic calibration เป็นการตรวจสอบการทำงานภายในของระบบกล้องจับสัญญาณ เช่น ความยาวโฟกัสของเลนส์และการแก้ไขความบิดเบี้ยวแบบรัศมี (radial distortion)
- Extrinsic calibration เป็นการตรวจสอบเทียบกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายนอก เช่น จุดหมุนของเครื่องฉายรังสี

โดยตำแหน่งและทิศทาง (orientation) ของกล้องแต่ละตัวจะถูกคำนวณโดยอ้างอิงกับจุดศูนย์กลางและทิศทางการวางของแผ่น calibration อย่างไรก็ตาม การทำประกันคุณภาพระบบกล้องจับพื้นผิว Align RT นี้เป็นเพียงการตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่ากล้องแต่ละตัวอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและสัมพันธ์กัน โดยเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของระบบออกมาเป็นค่า RMS (root mean square) กับวันก่อนหน้า โดยค่าระดับการเตือน (warning threshold) และเกณฑ์ยอมรับคือ 0.6 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ วิธีการคือจัดตำแหน่งให้แนวกึ่งกลาง calibration plate สอดคล้องกับระบบเลเซอร์และ cross wire ของเครื่องฉายรังสี จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบกล้องจับพื้นผิว เปรียบเทียบกับระบบจุดหมุนเครื่องฉายรังสี แสดงเป็นกราฟวิเคราะห์ผลค่า RMS ของแต่ละวันที่ทำการประกันคุณภาพ ตัวอย่างการจัดตำแหน่ง calibration plate และการแสดงผลค่า RMS แสดงดัง**ภาพที่ 4**

ตารางที่ 3 ข้อดี และข้อเสียในการเลือกพื้นผิวอ้างอิง และขนาดของบริเวณที่สนใจ[11]

		ข้อดี	ข้อเสีย
ชนิดของภาพพื้นผิวอ้างอิง	DICOM	• แทนตำแหน่งตามแผนการรักษาที่ได้จาก CT สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงจากแผนได้ (systematic and random error)	• การแปลงค่า HU เป็นภาพพื้นผิวอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของภาพพื้นผิว • อาจมีภาพสิ่งแปลกปลอมจากวัตถุบนผิวผู้ป่วยขณะทำ CT simulation • คุณภาพของภาพพื้นผิวอาจลดลงจากการเคลื่อนไหวขณะหายใจ • ขอบเขตการมองเห็นจำกัดอยู่เฉพาะข้อมูลที่ได้จากภาพ CT
	กล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วย	• ขอบเขตการมองเห็นกว้าง • สามารถบันทึกตามช่วงการหายใจที่กำหนดไว้ได้	• ตำแหน่งอาจจะไม่ตรงกับ CT simulation อย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิด systematic bias
ขนาดขอบเขตที่สนใจ	ขนาดใหญ่	• แสดงลักษณะการจัดท่าโดยรวมของผู้ป่วย • ครอบคลุมพื้นผิวโดยรวมเพียงพอในการ registration ภาพ • ไม่ไวต่อการถูกบดบังของกล้องจับสัญญาณภาพพื้นผิว	• อัตราการติดตามสัญญาณ (monitoring rate) ช้ากว่าขอบเขตสนใจขนาดเล็ก • ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสรีระ
	ขนาดเล็ก	• มีแนวโน้มแทนพื้นที่บริเวณที่ทำการรักษา • อัตราการติดตามสัญญาณไวกว่าขอบเขตสนใจขนาดใหญ่ • ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสรีระ	• อาจครอบคลุมพื้นผิวไม่เพียงพอส่งผลให้ความถูกต้องในการ registration ภาพ • ไวต่อการถูกบดบังของกล้องจับสัญญาณภาพพื้นผิว



ภาพที่ 4 a) การจัดตำแหน่ง calibration plate และ b) ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน RMS ในแต่ละวัน

ข้อสรุป

ระบบกล้องจับพื้นผิวหนังผู้ป่วยนอกจากจะใช้ตรวจจับจังหวะการหายใจของผู้ป่วยระหว่างการฉายรังสีแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการช่วยจัดท่าผู้ป่วยแทนการใช้เส้นขีดบนตัวผู้ป่วยร่วมกับระบบเลเซอร์เพื่อความถูกต้องในการฉายรังสีแก่ผู้ป่วย ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำการประกันคุณภาพของระบบกล้องให้อยู่ในมาตรฐานเพื่อจะสามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

1. ทวีป แสงแห่งธรรม. ระบบภาพในงานรังสีรักษา. J Thai Assn of Radiat Oncol. 2016; 22:16-23.
2. ทวีป แสงแห่งธรรม. ระบบภาพในงานรังสีรักษา ใน: ศิวลี สุริยาปี, ทวีป แสงแห่งธรรม, พันทิวา อุณห์ศิริ, บรรณาธิการ ฟิสิกส์ทางรังสีรักษา พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อิมเมนซ เกรซ; 2563. หน้า 173-188.
3. Freislederer P, Batista V, Öllers M, Buschmann M, Steiner E, Kügele M, et al. ESTRO-ACROP guideline on surface guided radiation therapy. Radiother Oncol. 2022;173:188-96.
4. Asada H, Takahashi Y, Ono Y, Kishi N, Matsuo Y, Mizowaki T, et al. Emotional experiences of skin markings among patients undergoing radiotherapy and related factors: a questionnaire-based cross-sectional study. Patient Prefer Adherence. 2022:1359-69.
5. Oonsiri P, Oonsiri S, Kingkaew S, Vimolnoch M, Kumkhwao J, Duangsuphan P, et al. Patient and staff perspective toward marker-less patient setup accuracy in breast radiotherapy. J Appl Clin Med Phys. 2026;27:e70452.
6. Darréon J, Massabeau C, Geffroy C, Maroun P, Simon L. Surface-guided radiotherapy overview: technical aspects and clinical applications. Cancer Radiother. 2023;27:504-10.
7. Willoughby T, Lehmann J, Bencomo JA, Jani SK, Santanam L, Sethi A, et al. Quality assurance for nonradiographic radiotherapy localization and positioning systems: report of Task Group 147. Med Phys. 2012;39:1728-47.
8. Bert C, Metheany KG, Doppke K, Chen GT. A phantom evaluation of a stereo-vision surface imaging system for radiotherapy patient setup. Med Phys. 2005;32:2753-62.
9. Oonsiri P, Wisetrinthong M, Chitnok M, Saksornchai K, Suriyapee S. An effective patient training for deep inspiration breath hold technique of left-sided breast on computed tomography simulation procedure at King Chulalongkorn Memorial Hospital. Radiat Oncol J. 2019;37:201.
10. Sauer T-O, Ott OJ, Lahmer G, Fietkau R, Bert C. Prerequisites for the clinical implementation of a markerless SGRT-only workflow for the treatment of breast cancer patients. Strahlenther Onkol. 2023;199:22-9.
11. Al-Hallaq HA, Cerviño L, Gutierrez AN, Havnen-Smith A, Higgins SA, Kügele M, et al. AAPM task group report 302: surface-guided radiotherapy. Med Phys. 2022;49:e82-e112.

12. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, Hanson WF, Leibel S, Morton RJ, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM radiation therapy committee task group 40. Med Phys. 1994;21:581-618.
13. Hanley J, Dresser S, Simon W, Flynn R, Klein EE, Letourneau D, et al. AAPM Task Group 198 Report: An implementation guide for TG 142 quality assurance of medical accelerators. Med Phys. 2021;48:e830-e85.
14. Xiao A, Crosby J, Malin M, Kang H, Washington M, Hasan Y, et al. Single-institution report of setup margins of voluntary deep-inspiration breath-hold (DIBH) whole breast radiotherapy implemented with real-time surface imaging. J Appl Clin Med Phys.2018;19: 205-13.
15. Pallotta S, Simontacchi G, Marrazzo L, Ceroti M, Paiar F, Biti G, et al. Accuracy of a 3D laser/camera surface imaging system for setup verification of the pelvic and thoracic regions in radiotherapy treatments. Med Phys. 2013;40:011710.
16. Moser T, Habl G, Uhl M, Schubert K, Sroka-Perez G, Debus J, et al. Clinical evaluation of a laser surface scanning system in 120 patients for improving daily setup accuracy in fractionated radiation therapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2013;85:846-53.
17. เมทินี วิเศษรินทอง และ จารึก ก้านเพ็ชร. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบภาพพื้นผิวสามมิติแบบตรวจจับตลอดเวลาสำหรับจัดท่าผู้ป่วยฉายรังสี. J Thai Assn of Radiat Oncol. 2024;30:76-90.