

การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนการจัดท่าฉายรังสีผู้ป่วยมะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอระหว่างกลุ่มผู้ป่วยที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟัน

อนัตตา เครือวงษา

ชาญวิทย์ มากะ

ชั้นทอง ไชยมงคล

จิราภรณ์ มั่นน้อย

รัชดาภรณ์ ประเสริฐสม

บทคัดย่อ ในปัจจุบันการใช้อุปกรณ์ยึดตรึงผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอในการฉายรังสีด้วยเทคนิค 3 มิติขั้นสูง (เทคนิคแปรความเข้มเชิงปริมาตร; Volumetric Modulated Arc Therapy: VMAT) นั้นมีความสำคัญมาก เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของตำแหน่งฉายรังสีทั้งขณะฉายรังสีและในทุก ๆ วันจนครบแผนการรักษาที่กำหนด ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์ยึดตรึงเป็นปัจจัยสำคัญในการฉายรังสี โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนการจัดท่าผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอจากการใช้อุปกรณ์ยึดตรึง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันและอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน) และกลุ่มที่ 2 (อุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน) ศึกษาในผู้ป่วยฉายรังสีด้วยเทคนิค VMAT โดยตรวจสอบตำแหน่งการฉายรังสีด้วยวิธีเอกซเรย์ภาพนำวิถี 3 มิติ (X-Ray Cone Beam Computed Tomography: CBCT) การศึกษานี้มีกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอกกลุ่มละ 15 ราย โดยทำ CBCT ทั้งหมด 112 และ 119 ภาพ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับภาพอ้างอิง (Digital Reconstructed Radiography: DRR) จากแผนการรักษา โดยศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนในแนวระนาบ (X, Y และ Z) และแกนหมุน (sagittal coronal และ transverse) และจำนวนครั้งของการจัดท่าผู้ป่วยการฉายรังสีซ้ำ เปรียบเทียบข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มอุปกรณ์ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการจัดท่าฉายรังสีซ้ำในผู้ป่วยกลุ่มที่ 1 เท่ากับร้อยละ 25.9 และกลุ่มที่ 2 เท่ากับร้อยละ 48.7 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) และอัตราการจัดท่าฉายรังสีซ้ำในแนว sagittal เท่ากับ 5.4 เปอร์เซ็นต์ และ 25.2 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.001$) และอัตราส่วนของการจัดท่าฉายรังสีซ้ำโดยเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม (incidence rate ratio of re-positioning) เท่ากับ 0.5 ($P = 0.023$) ดังนั้น การใช้อุปกรณ์ยึดตรึงผู้ป่วยโรคมะเร็งศีรษะและลำคอในการฉายรังสีด้วยเทคนิค VMAT ด้วยอุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันร่วมกับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน ช่วยลดการจัดท่าฉายรังสีซ้ำได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในแนวศีรษะ-เท้าสามารถลดอัตราการจัดท่าฉายรังสีซ้ำได้ถึง 5 เท่า และลดระยะเวลาในการฉายรังสีแต่ละวัน ที่สำคัญลดการได้รับปริมาณรังสีโดยไม่จำเป็นของผู้ป่วยในการทำ CBCT ซ้ำ และลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ยึดตรึงของหน่วยงาน (วารสารโรคมะเร็ง 2568;45:1-13)

คำสำคัญ: อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟัน การจัดท่าผู้ป่วยการฉายรังสีซ้ำ

Comparison of Radiotherapy Positioning Deviations in Head and Neck Cancer Patients With and Without the Use of Dental Impression Fixation Devices

By Anatta Khrueawongsa, Chanwit Maka, Khanthong Chaimongkol, Jiraporn Manno, Rachadaporn Prasertsom

Radiation Oncology Department, National Cancer Institute, Bangkok, Thailand.

Abstract At present, the use of advanced 3D techniques to fix head and neck cancer patients undergoing radiation therapy treatment (Volumetric Modulated Arc Therapy: VMAT) is very important for the accuracy and precision of the radiation location both during the radiation treatment and every day until the prescribed treatment plan is complete. Objectives of the study for choosing to use of fixation device is an important factor. Therefore, a comparison of the positioning errors of head and neck cancer patients from the use of 2 groups of fixation devices: Group 1 (Tooth impression device + standard headrest) and Group 2 (Standard headrest). Study of patients irradiated with the VMAT technique by examining the location of the irradiation using 3D X-Ray cone beam computed tomography (CBCT). This study had a sample groups of head and cancer patients 15 patients per group, with a total of 112 and 119 CBCT images, respectively, for compare with reference image (Digital Reconstructed Radiography: DRR) from the treatment plan. The horizontal plane (X, Y, and Z) and rotational plane (sagittal, coronal, and transverse) tolerance and the number of repeated irradiation setup was assessed. All data for the two fixation groups were compared. The results of the study found that the rates of re-irradiation setup in patients in group 1 was 25.9 percent and group 2 was 48.7 percent, which were significantly different ($P<0.001$) and the rates of re-irradiation patient setup in the sagittal direction were 5.4 percent and 25.2 percent ($P<0.001$) and the ratio of re-irradiation setup comparing the two groups was 0.5 ($P=0.023$). Summary of the use of fixation devices for head and neck cancer patients undergoing radiation therapy using the VMAT technique with a dental impression set together with standard fixation devices help to reduce re-irradiation patient setup with statistical significance, especially in the head-foot direction can reduce the rate of re-irradiation positions up to 5 times and reduce the total time spent on radiation treatment each day.

Importantly, it reduces the patient's exposure to unnecessary radiation doses for repeat CBCT procedures and reduces the cost of purchasing fixation equipment. (Thai Cancer J 2025;45:1-13)

Keyword: tooth impression device, re-irradiation patient setup

บทนำ

โรคมะเร็งเป็นปัญหาทางสาธารณสุขของโลกและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากสถิติองค์การอนามัยโลก พบว่าในปี พ.ศ. 2564 มีผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งจำนวนกว่า 10 ล้านคนต่อปี¹ จากสถิติผู้ป่วยโรคมะเร็งในประเทศไทยยังพบว่ามะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับหนึ่งในปี 2563-2564 เพิ่มขึ้นจาก 117.60 เป็น 125.50 ต่อแสนประชากร จำแนกตามกลุ่มโรคมะเร็ง 5 อันดับแรก ได้แก่ ตับ ปอด เม็ดเลือดขาว เต้านม และปากมดลูก² จากการสืบค้นทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล (Hospital-Based Cancer Registry) สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ ซึ่งข้อมูลผู้ป่วยโรคมะเร็งรายใหม่ที่เข้ามารับบริการตรวจวินิจฉัย และรักษาที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติในระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม ซึ่งจากรายงานทะเบียนมะเร็งทำให้ทราบข้อมูลสถิติการเกิดโรค การวินิจฉัย การรักษา การแพร่กระจาย และแนวโน้มการเกิดโรค เป็นต้น ซึ่งเปรียบเสมือน กระบอกที่สะท้อนให้เราคิดแผนงาน หรือโครงการรณรงค์ป้องกันโรคมะเร็ง ตลอดจนสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการวางแผนการบริหารโรงพยาบาล และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยด้านโรคมะเร็งระดับโรงพยาบาล ทั้งยังเผยแพร่ให้กับผู้สนใจทั่วไปนำไปใช้ประโยชน์อีกต่อไปด้วย สถิติย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 - 2566 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โรคมะเร็งที่พบมาก 10 อันดับแรกของผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ในสถาบันมะเร็งแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2564 พบว่า มะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอรายใหม่พบมากเป็นอันดับ 6, 7, 8 และ 9 ในเพศชาย และพบมากเป็นอันดับ 6, 7, 8 และ 10 ในเพศหญิง³ โรคมะเร็งที่พบมาก 10 อันดับแรกของผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ในสถาบันมะเร็งแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2565 พบว่ามะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอรายใหม่พบมากเป็นอันดับ 4, 7 และ 10 ในเพศชาย และพบมากเป็นอันดับ 10 ในเพศหญิง⁴ โรคมะเร็งที่พบมาก 10 อันดับแรกของผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ในสถาบันมะเร็งแห่งชาติ พ.ศ. 2566 พบว่ามะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอรายใหม่พบมากเป็นอันดับ 5, 7 และ 10 ในเพศชาย และพบมากเป็นอันดับ 8 และ 10 ในเพศหญิง⁵

จากสถิติจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ที่ได้รับการรักษาที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติ 3 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 - 2566 พบว่าผู้ป่วยมะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอจะพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิงและพบในอันดับท้าย ๆ ใน 10 อันดับแรก การรักษา มะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอด้วยเทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้มหมุนรอบตัวผู้ป่วย (VMAT) เป็นเทคนิคที่พัฒนาจากการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม (IMRT) เนื่องจาก IMRT มีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาฉายรังสีที่นาน ทำให้ผู้ป่วยไม่สะดวก เทคนิค VMAT ใช้การปรับความเข้มรังสีและอัตราปริมาณรังสีที่ออกมาต่อหน่วยเวลา รวมถึงความเร็วของหัวเครื่องฉายรังสี (gantry) เพื่อลดระยะเวลาฉายรังสีและปรับปริมาณรังสีให้ครอบคลุมเฉพาะก้อนมะเร็งได้เพิ่มขึ้น⁶ ก่อนการฉายรังสีต้องมั่นใจว่าตำแหน่งที่จะฉายรังสีอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง สามารถตรวจสอบโดยการถ่ายภาพทางรังสีก่อนการฉายรังสี

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งการฉายรังสีหรือที่เรียกว่าระบบภาพนำวิถี (image-guided radiotherapy: IGRT)⁷ โดยทางสมาคมนักฟิสิกส์การแพทย์อเมริกา (the American association of physicist in medicine: AAPM)⁸ ได้แบ่งระบบภาพทางรังสีในงานรังสีรักษาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ระบบภาพที่ใช้สำหรับวางแผนการรักษา และระบบภาพที่ใช้สำหรับการตรวจสอบตำแหน่งการฉายรังสี

แนวทางปฏิบัติที่ทางกลุ่มงานรังสีรักษา สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ได้จัดทำขึ้นสำหรับแนวทางการฉายรังสีในผู้ป่วยโรคมะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอ (head and neck protocol) อุปกรณ์ยึดตรึง (immobilization) ที่ใช้ในปัจจุบัน สำหรับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน (standard headrest) ประกอบด้วย หน้ากากชนิดคลุมศีรษะและไหล่ (head and shoulder mask) หมอนรองศีรษะมาตรฐาน (standard head support) แผ่นฐานรองหน้ากาก (optex) และหมอนพุงศีรษะส่วนบุคคล (custom head cushion)

การจัดท่าการฉายรังสีในแต่ละวัน สิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ ค่าความคลาดเคลื่อนในทิศทางแนวหมุน 6 ทิศทาง (translation correction + rotation correction) ประกอบไปด้วย ทิศทางการแนวระนาบ (translation correction) แนวซ้าย-ขวา (lateral direction: X) แนวศีรษะ-ปลายเท้า (longitudinal direction: Y) และแนวหน้า-หลัง (vertical direction: Z) และทิศทางการหมุนแนวศีรษะ-ปลายเท้า หรือ pitch (sagittal view) แนวซ้าย-ขวา หรือ yaw (coronal view) และแนวหน้า-หลัง หรือ roll (transverse view)⁹ การจัดท่าการฉายรังสีในแต่ละวันพบว่า ความคลาดเคลื่อนในทิศทางแนวหมุนจะส่งผลโดยตรงต่อการฉายรังสีของผู้ป่วยโดยเฉพาะค่าที่เกินแนวทางการฉายรังสีบริเวณศีรษะและลำคอ ที่แต่ละหน่วยงานกำหนด (กลุ่มงานรังสีรักษา สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กำหนดไว้ไม่เกิน 2 องศา) เป็นสาเหตุให้ต้องเข้าไปจัดท่าฉายรังสีซ้ำ แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐานที่ใช้อยู่ยังมีข้อจำกัดต่อการจัดท่าการฉายรังสีในผู้ป่วยโรคมะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอ ผู้วิจัยเล็งเห็นปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาอุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟัน (tooth impression device or mouth bite) มาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐานพบว่า สามารถแก้ปัญหานี้ได้ดี แต่อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันที่มีขายราคาค่อนข้างสูง (ชุดละ 3,000 บาท) ไม่สามารถเบิกค่าใช้จ่ายตามสิทธิของผู้ป่วยได้ และยังเป็นอุปกรณ์สิ้นเปลืองใช้ได้เฉพาะคน ทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ดังกล่าว

วัสดุและวิธีการ

1. การเลือกกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

1.1 กลุ่มทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยวิธีการเก็บข้อมูลแบบย้อนหลัง ซึ่งผ่านการพิจารณาจริยธรรมจากคณะกรรมการวิจัย สถาบันมะเร็งแห่งชาติ เลขที่ 026/2567 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยกลุ่มผู้ป่วยสำหรับการศึกษานี้ คือ กลุ่มผู้ป่วยโรคมะเร็งศีรษะและลำคอที่ได้รับการวางแผนการรักษาด้วยเทคนิค VMAT และได้รับการตรวจสอบตำแหน่งการฉายรังสีด้วยวิธี CBCT ที่มารับการฉายรังสี ณ กลุ่มงานรังสีรักษา สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2566

1.2 เกณฑ์การคัดเลือกผู้ป่วย

อาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัย (inclusion criteria) เป็นผู้ป่วยโรคมะเร็งศีรษะและลำคอ ผู้ป่วยได้รับการประเมินการรักษาจากรังสีแพทย์หวังผลเพื่อให้หายขาดจากโรคมะเร็ง (curative) ได้รับการประเมินการรักษาด้วยเทคนิค VMAT และได้รับการตรวจสอบตำแหน่งการฉายรังสีด้วยวิธี CBCT

1.3 เกณฑ์การคัดออก

อาสาสมัครที่ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัย (exclusion criteria) เป็นผู้ป่วยที่ไม่มีข้อมูลของการฉายรังสี และผู้ป่วยที่ไม่ได้รับการประเมินการรักษาด้วยเทคนิค VMAT

2. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

คำนวณจำนวนการตรวจสอบตำแหน่งก่อนการฉายรังสี (sample size) จากโปรแกรม STATA version 12 โดยใช้สูตร Estimated sample sizes for two-sample comparison of survivor functions โดยทดสอบแบบ two-sided กำหนดค่า $\alpha = 0.0500$, $\text{power} = 0.80$ สมมติฐานจากการทำ pilot study ได้ความถี่ของการจัดทำฉายรังสีซ้ำ หากใช้อุปกรณ์ยึดตั้งมาตรฐานเท่ากับ 0.5 (h1) และความถี่ของการจัดทำฉายรังสีซ้ำหากใช้ชุดอุปกรณ์พิมพ์ฟันที่พัฒนาขึ้นมารวมกับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน เท่ากับ 0.25 (h2)

$$N1 = 37$$

$$N2 = 37$$

คำนวณจำนวนการตรวจสอบตำแหน่งก่อนการฉายรังสีที่ต้องใช้ของทั้งสองกลุ่มคือ กลุ่มละ 37 ครั้ง

3. การเตรียมอุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟัน

3.1 วัสดุสำหรับพิมพ์ฟัน

ได้จากเนื้อหน้ากาก ที่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) คือเป็นพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามอุณหภูมิ เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลแบบโซ่ตรง เป็นสายยาว และมีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด แต่หากอุณหภูมิลดลงจะกลับไปแข็งตัวตามเดิม เทอร์โมพลาสติกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน นำไปอบหรือต้มที่อุณหภูมิ 70 - 75 องศาเซลเซียสเพื่อทำให้ نرم โดยไม่ทำให้สูญเสียคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

3.2 วัสดุสำหรับแกนยึดพิมพ์ฟันเข้ากับหน้ากาก

เลือกใช้เฟรมขอบของหน้ากากอู้งเชิงกรานที่ใช้แล้ว นำมาลอกหน้ากากออกจะได้เฟรมสำหรับทำแกนยึดพิมพ์ฟัน

3.3 การประกอบอุปกรณ์ชุดพิมพ์ฟัน

นำชิ้นส่วนหน้ากากที่ตัดไว้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จนเนื้อหน้ากากใสและนุ่ม จากนั้นนำมาพันรอบแกนด้านที่จะให้ผู้ป่วยกัดเพื่อพิมพ์ฟัน

3.4 การพิมพ์ฟันผู้ป่วย

นำชุดพิมพ์ฟันที่เตรียมไว้ให้ผู้ป่วยกัด โดยใช้ฟันหน้าทั้งด้านบนและด้านล่างกัดให้พอเป็นร่องฟัน รบประมาณ 5 นาที ก็จะได้ชุดพิมพ์ฟัน จากนั้นนำ Mask สำหรับยึดตรึงผู้ป่วยมาขึ้นรูป ปลายอีกด้านที่ยึดกับ หน้ากากที่มีลักษณะรูปตัว T

3.5 การขึ้นรูปหน้ากาก

นำหน้ากากที่จะขึ้นรูปครอบลงไป จากนั้นใช้คลิปหนีบกระดาษขนาดกลางมาหนีบหน้ากากให้ติดกับ แกนที่งอตั้งฉาก รบประมาณ 10-15 นาที จนหน้ากากขึ้นรูป นำคลิปหนีบกระดาษออก ก็จะได้ชุดพิมพ์ฟัน พร้อมหน้ากากสำหรับผู้ป่วย



ภาพแสดงการใช้อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันประดิษฐ์ร่วมอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน

4. การตรวจสอบการจัดท่าผู้ป่วยก่อนการรักษา (patient setup verification)

โดยมีการตรวจสอบการรักษาด้วยระบบภาพนำวิถีชนิด CBCT ในการสร้างภาพ ทำการเปรียบเทียบกับภาพ DRR ที่สร้างจากโปรแกรมวางแผนการรักษา ผ่านระบบ mosaiq (Elekta, Crawley, UK) ใช้เกณฑ์ของ bony landmark เพื่อกำหนดขอบเขตการเปรียบเทียบภาพ และใช้ชุดคำสั่งของโปรแกรม XVI แบบ automatic registration โดยเลือกใช้ค่า gray value (T+R) เพื่อลดอคติ (bias) ของผู้สังเกตการณ์ จึงกำหนดให้ขั้นตอนการเปรียบเทียบระหว่างภาพ DRR กับภาพจาก CBCT เป็นแบบอัตโนมัติ (auto matching) โดยใช้โปรแกรม x-ray volume imaging (XVI)¹⁰ ซึ่งจะประมวลค่าความคลาดเคลื่อนออกมาทั้งหมด 6 ค่า ประกอบไปด้วยค่าความคลาดเคลื่อนในแนวระนาบ 3 ค่า และทิศทางของความคลาดเคลื่อนในแนวหมุน 3 ค่า ตามแนวทางการปฏิบัติคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวหมุนเกิน 2 องศา ต้องจัดท่าฉายรังสีซ้ำแล้วทำ CBCT อีกครั้งหรือจนกว่าค่าจะเกิน

5. แบบบันทึกข้อมูล (case record form)

แบบบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการฉายรังสีผู้ป่วยทุกราย โดยทำการตรวจสอบตำแหน่งการฉายรังสี 3 วันแรกด้วยวิธี CBCT จากนั้นทำการตรวจตำแหน่งการฉายรังสีด้วยวิธี CBCT อีกสัปดาห์ละ 1 ครั้งจนจบการรักษา รังสี และความถี่ของการจัดท่าฉายรังสีซ้ำ

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติประกอบไปด้วย การประมวลผลข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลพื้นฐาน รายงานเป็นร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน Chi-square หรือ Fisher's exact probability test ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ความถี่ของการจัดทำฉายรังสีซ้ำต่อจำนวนครั้งของการตรวจสอบตำแหน่งก่อนการฉายรังสีทั้งหมด เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนการจัดทำฉายรังสีผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอจากกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันของทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้ independent t-test ในการคำนวณค่าทางสถิติ พิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) ด้วยโปรแกรม STATA version 12

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

เป็นการแสดงค่าความแตกต่างข้อมูลของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยจำนวน 30 ราย บันทึกข้อมูลอายุ เพศ ชนิดของโรคมะเร็งของผู้ป่วยโรคมะเร็งศีรษะและลำคอ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ป่วยที่มีผลต่อความถี่ของการจัดทำฉายรังสีใหม่ประกอบด้วย เพศ อายุ และชนิดของโรค

	MB	No MB	<i>P</i>
Age in years Mean (SD)	51.1 (12.18)	57.4 (12.52)	0.1006
Sex			0.215
Male	9 (60.0)	13 (86.7)	
Female	6 (40)	2 (13.3)	
Cancer			0.231
Tonsil	3 (20.00)	1 (6.67)	
Pyrimiform	1 (6.67)	4 (26.67)	
Nasopharyngeal	8 (53.33)	4 (26.67)	
Glottis	1 (6.67)	0 (0)	
Supraglottis	0 (0)	2 (13.33)	
Floor of mouth	1 (6.67)	1 (6.67)	
Hypopharynx	0 (0)	1 (6.67)	
Neck lymph node	1 (6.67)	0 (0)	
Base of tongue	0 (0)	1 (6.67)	
Tongue	0 (0)	1 (6.67)	
Number of cone beam CT Mean (SD)	7.47 (1.25)	7.93 (2.05)	0.265

MB: mouth bite, NO MB: no mouth bite, cone beam CT: cone beam computed tomography

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ป่วยที่เข้าร่วมโครงการวิจัยทั้ง 30 คน พบว่า กลุ่มที่ 1 จำนวน 15 ราย เป็นเพศชาย 9 ราย เพศหญิง 6 ราย คิดเป็นร้อยละ 60 และ 40 ตามลำดับ มีค่า $P=0.215$ แสดงว่า เพศของผู้ป่วยไม่มีผลต่อการจัดทำฉายรังสีซ้ำ

ผู้เข้าร่วมโครงการผู้ป่วยกลุ่มที่ 1 มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 51.1 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.18 ปี และ กลุ่มที่ 2 มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 54.4 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.52 ปี พบว่ามีค่า $P=0.1006$ แสดงว่าอายุของผู้ป่วยไม่มีผลต่อการจัดทำฉายรังสีซ้ำ

สำหรับชนิดของโรคมะเร็งบริเวณศีรษะและลำคอของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทั้ง 2 กลุ่ม พบว่าชนิดของมะเร็งในกลุ่มที่ 1 ส่วนใหญ่คือ nasopharyngeal มีจำนวน 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 53.33 และผู้ป่วย กลุ่มที่ 2 พบว่าส่วนใหญ่คือ nasopharyngeal และ pyriform เท่ากัน คือจำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 26.67 มีค่า $P=0.231$ แสดงว่าชนิดของโรคมะเร็งไม่มีผลต่อการจัดทำฉายรังสีซ้ำเหมือนกัน

2. จำนวนภาพของการทำ CBCT ทั้งหมด และจำนวนการจัดทำฉายรังสีซ้ำในแต่ละแกนหมุน

จากการเก็บชุดข้อมูลภาพ CBCT ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม พบค่าความคลาดเคลื่อนจากการจัดทำผู้ป่วยโดยอาศัยการเปรียบเทียบกันระหว่างภาพ CBCT กับภาพ DRR ผ่านการเปลี่ยนแปลงค่าเตียงฉายรังสีในทิศทางแนวระนาบและในแกนหมุน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงจำนวนครั้งทั้งหมดของการตรวจสอบตำแหน่งการฉายรังสี และจำนวนครั้งทั้งหมดของการจัดทำฉายรังสีใหม่ในทิศทางแกนหมุนต่าง ๆ

	MB	No MB
Number of cone beam CT	112	119
Reposition (จำนวนครั้ง)	29	58
Coronal view	1	2
Sagittal view	6	30
Transverse view	22	26

MB: mouth bite, NO MB: no mouth bite, cone beam CT: cone beam computed tomography

จากตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการจัดทำฉายรังสีผู้ป่วยกลุ่มที่ 1 ในแกนหมุน จำนวน 15 ราย ทำภาพ CBCT จำนวน 112 ภาพ พบว่าต้องมีการจัดทำฉายรังสีซ้ำทั้งหมด 29 ครั้ง ดังนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนทิศทางหมุนในแนวศีรษะ-ปลายเท้า หรือ pitch (sagittal view) ทั้งหมด 6 ครั้ง แนวซ้าย-ขวา หรือ yaw (coronal view) ทั้งหมด 1 ครั้ง และแนวหน้า-หลัง หรือ roll (transverse view) ทั้งหมด 22 ครั้งตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนจากการจัดทำฉายรังสีผู้ป่วยกลุ่มที่ 2 ในแกนหมุน จำนวน 15 ราย จากการทำภาพ CBCT จำนวน 119 ภาพ พบว่าต้องมีการจัดทำฉายรังสีซ้ำทั้งหมด 58 ครั้ง ดังนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนทิศทางหมุนในแนวศีรษะ-ปลายเท้าทั้งหมด 30 ครั้ง แนวซ้าย-ขวาทั้งหมด 2 ครั้ง และแนวหน้า-หลังทั้งหมด 26 ครั้งตามลำดับ

3. ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนจากการจัดทำผู้ป่วยก่อนการฉายรังสี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนการจัดท่าของผู้ป่วยทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า จำนวนครั้งของการจัดทำฉายรังสีใหม่ทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ที่ทิศทางการหมุนแนวศีรษะ-ปลายเท้า ซึ่งมีค่า $P=0$ โดยที่ทิศทางการหมุนแนวซ้าย-ขวาและทิศทางการหมุนในแนวหน้า-หลัง มีค่า $P=0.3297$ และ 0.3587 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าความแตกต่างของความถี่ในการจัดทำฉายรังสีซ้ำ จากการจัดทำผู้ป่วยก่อนการฉายรังสีระหว่างกลุ่มผู้ป่วยที่ใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันร่วมกับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน

	MB	No MB	P	Incidence rate ratio	95% Confidence interval
Coronal view	0.0089286	0.0168067	0.3297	0.53125	0.0090047-10.20481
Sagittal view	0.0535714	0.2521008	0	0.2125	0.0723103-0.518874
Transverse view	0.1964286	0.2184874	0.3587	0.8990385	0.4856916-0.1.649883
Total	0.2589286	0.487395	0.0023	0.53125	0.3279326-0.8434287

MB: mouth bite, NO MB: no mouth bite

จากตารางที่ 3 พบว่า อัตราส่วนของความถี่ของการจัดทำฉายรังสีใหม่ เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม (incidence rate ratio of re-positioning) เท่ากับ 0.5 ($P=0.023$) หากพิจารณาจากสาเหตุของการจัดทำฉายรังสีใหม่ พบว่าในแนวศีรษะ-ปลายเท้ามี incidence rate ratio of re-positioning เท่ากับ 0.2 ($P<0.001$)

4. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนจากการจัดทำผู้ป่วยและแสดงค่า PTV margin

โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยฉายรังสีในแนว translation correction แบบ 6 ทิศทาง ทำให้สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้ป่วยแต่ละรายได้ ซึ่งก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (individual systemic error) ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของผู้ป่วยแต่ละราย (population random error) และค่า planning target volume (PTV) จากวิธีของ Van Herk M. และคณะ¹¹ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของผู้ป่วยแต่ละราย และค่า planning target volume

ค่า CTV to PTV margin						
	กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
	x	y	z	x	y	z
Σ pop	0.11	0.09	0.11	0.12	0.06	0.11
σ pop	0.11	0.11	0.14	0.11	0.11	0.08
PTV margin	0.36	0.31	0.31	0.38	0.23	0.34

* Σ pop = ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของกลุ่มประชากร (population systematic error) หาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผู้ป่วยแต่ละราย

* σ pop = ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของกลุ่มประชากร (population random error) หาได้จากค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้ป่วยแต่ละราย

PTV: planning target volume

จากตารางที่ 4 พบว่า ในผู้ป่วยกลุ่มที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบในแนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 0.11, 0.09 และ 0.11 ตามลำดับ และมีค่า CTV to PTV margin เท่ากับ 0.36, 0.31 และ 0.31 ตามลำดับ ส่วนผู้ป่วยกลุ่มที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบในแนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 0.12, 0.06 และ 0.11 ตามลำดับ และมีค่า CTV to PTV margin เท่ากับ 0.38, 0.23 และ 0.34 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ภายในค่า margin ทั้ง 3 แนวที่ใช้ในปัจจุบัน

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการการจัดท่าฉายรังสี (setup error) สำหรับฉายรังสีผู้ป่วยโรคมะเร็งศีรษะและลำคอ ผู้วิจัยพบว่า มีงานวิจัยที่น่าสนใจและเกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้ ยกตัวอย่าง เช่น ปี ค.ศ. 2016 Wang H. และคณะ¹² เรื่อง “Improved setup and positioning accuracy using a three-point customized cushion/mask/bite-block immobilization system for stereotactic re-irradiation of head and neck cancer” ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ประโยชน์ของการใช้ bite-block หรือ mouth bite ระหว่างการรักษาด้วยการฉายรังสีในผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอ ที่ได้รับการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการฉายรังสีด้วยเทคนิค CBCT พบว่า ช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบและแบบสุ่มได้ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมการรักษาจนกระทั่งจบการรักษา รวมถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการรักษาและมีโอกาสเกิดขึ้นในทุกทิศทางตลอดการรักษาได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในงานวิจัยนี้ ทำในเครื่องฉายรังสีที่มีเตียงฉายรังสีแบบปรับได้แบบ 6 ทิศทาง ทำให้ไม่ต้อง re-positioning (ถ้า rotation correction ไม่เกิน 2.5 องศา)

ปี ค.ศ. 2015 งานวิจัยของ Lorraine C. และคณะ¹³ เรื่อง “Positioning reproducibility with and without rotational corrections for 2 head and neck immobilization systems” พบว่า จากการใช้อุปกรณ์ยึดตรึงร่วมกับการแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้การเคลื่อนที่ของเตียงแบบ 6D สามารถช่วยให้ตำแหน่งการฉายรังสีถูกต้องตามแผนการรักษามากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

งานวิจัยของ Howin C. และคณะ¹⁴ เรื่อง “A randomized control trial comparing customized versus standard headrests for head and neck radiotherapy immobilization in terms of set-up errors, patient comfort and staff satisfaction (ICORG 08-09)” พบว่า อุปกรณ์รองศีรษะส่วนบุคคลให้ความแม่นยำในการรักษาและช่วยรองรับศีรษะของผู้ป่วยให้เกิดความสบายใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับอุปกรณ์รองศีรษะมาตรฐาน แต่อาจใช้ทรัพยากรมากขึ้น ดังนั้นการใช้อุปกรณ์รองศีรษะมาตรฐานดีกว่า

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัย พบว่าการจัดท่าการฉายรังสีซ้ำ (re-irradiation patient setup หรือ re-positioning) จะเกิดขึ้นหรือไม่ ขึ้นกับการจัดท่าการฉายรังสีและอุปกรณ์ยึดตรึงที่ใช้กับผู้ป่วย มักเกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกจนครบตามแผนการรักษา ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error) หรือปัจจัยในเรื่องขนาดของก้อนมะเร็งที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการตอบสนองต่อรังสี¹³ เป็นต้น ซึ่งในกรณีนี้ได้มีการปรึกษาและยืนยันตำแหน่งการรักษาโดยแพทย์ที่รักษาผู้ป่วยและทำการรักษาต่อไปตามแนวทางของการใช้ CBCT ของสถาบันมะเร็งแห่งชาติ หากกรณีเกิดการเคลื่อนที่ของตำแหน่งการรักษาเกินแนวทางที่กำหนดแบบเดิมซ้ำ ๆ หรือเป็นความคลาดเคลื่อนแบบระบบ (systemic error) ต้องมีการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมด้วยเพื่อหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนนั้น

สำหรับการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในผู้ป่วยทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า กลุ่มที่ 1 ที่ใช้อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันที่พัฒนาขึ้นมาร่วมกับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐานนั้น สามารถลดจำนวนของการจัดท่าฉายรังสีซ้ำได้ถึง 5 เท่า ในแนวแกนหมุนศีรษะ-ปลายเท้า หรือ pitch (sagittal view) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐานอย่างเดียว สาเหตุของความคลาดเคลื่อนมาจากตำแหน่งการนอนบนแผ่นรองศีรษะสูง-ต่ำเกินไป โดยมีแนวทางการจัดท่านอนคือ ใช้ระดับของคิงของผู้ป่วยเทียบกับระดับของแผ่นรองฐานหน้ากากที่มีระดับจะระบุเป็นตัวเลข หรือในหลายครั้งที่จัดท่านอนตรงระดับแล้ว แต่ผู้ป่วยยังสามารถก้ม-เงยได้อีก ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเกินแนวทางที่กำหนด เป็นสาเหตุให้ต้องทำการจัดท่าฉายรังสีซ้ำ การใช้อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันที่พัฒนาขึ้นมาร่วมกับอุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐาน สามารถระบุตำแหน่งระดับการนอนสูง-ต่ำและระดับการก้ม-เงย ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่มีบ้างที่ระดับไม่ได้ แต่ผู้ป่วยใช้การฝืนกดอุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟันที่พัฒนาขึ้น ทำให้ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินค่าที่แนวทางกำหนด ส่วนในกลุ่มที่ 2 ที่ใช้อุปกรณ์ยึดตรึงมาตรฐานเพียงอย่างเดียว แนวทางการจัดท่าฉายรังสีมีเพียงจุดอ้างอิงที่เป็นคิงของผู้ป่วย ทำให้การก้ม-เงย ทำให้จัดระดับได้ค่อนข้างยาก ทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนเกินค่าที่แนวทางกำหนดมากกว่ากลุ่มที่ 1

สำหรับค่า PTV margin ที่คำนวณได้จากการใช้อุปกรณ์ยึดตรึงทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ค่า PTV margin น้อยกว่า 0.5 เซนติเมตร โดยมีค่าระหว่าง 0.23-0.38 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในขอบเขตตามคำแนะนำของ RTOG protocol 0225 และสอดคล้องกับการศึกษาของ Naiyanet N. และคณะ¹⁵ ที่พบว่า ค่า PTV margin ของกลุ่มประชากรที่ศึกษามีค่าระหว่าง 0.24-0.49 เซนติเมตร ถือว่าชุดอุปกรณ์ยึดตรึงทั้ง 2 กลุ่ม มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน เพียงแต่ถ้าเลือกใช้อุปกรณ์ยึดตรึงที่เหมาะสม นอกจากจะช่วยลดความผิดพลาดของการจัดท่าฉายรังสีผู้ป่วยแล้ว ยังต้องลดการจัดท่าการฉายรังสีซ้ำด้วย ผู้ป่วยจึงจะได้รับการรักษาที่ถูกต้องและใช้เวลาไม่นานในการรักษาแต่ละครั้ง ส่งผลให้ก้อนมะเร็งได้รับปริมาณรังสีถูกต้องและเนื้อเยื่อปกติ ใกล้เคียงกับการได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุดอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ยึดตรึงผู้ป่วยที่เหมาะสมและครบถ้วนอย่างทีหน่วยงานของผู้วิจัยใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ อาจจะไม่เหมาะกับอีกหลาย ๆ หน่วยงาน เพราะราคาของอุปกรณ์ยึดตรึงค่อนข้างสูง บางชนิดสามารถเอา

กลับมาใช้ซ้ำได้บ้าง เช่น หน้ากาก (mask) บางชนิดใช้ซ้ำได้หลายครั้งจนหมดอายุ เช่น แผ่นรองศีรษะและคอแบบปรับระดับได้ (custom head cushion) บางอย่างใช้ได้ครั้งเดียว เช่น อุปกรณ์ยึดตรึงชุดพิมพ์ฟัน (mouth bite) การขึ้นรูปอุปกรณ์ยึดตรึงแต่ละชนิดค่อนข้างใช้เวลาพอสมควรต้องอาศัยสั่งสมประสบการณ์ของนักรังสีการแพทย์ ถ้าจำนวนผู้ป่วยมากอาจจะต้องพิจารณาเป็นกรณีไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นพ. พีรวิชญ์ ทัพวงศ์ หัวหน้ากลุ่มงานรังสีรักษา คุณสมศักดิ์ เชื้อนชนะ หัวหน้างานฟิสิกส์และรังสีการแพทย์ ที่สนับสนุนการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรและส่งเสริมให้มีโครงการอบรมพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย พญ. อุไรวรรณ คมไพบูลย์กิจ หัวหน้างานคลินิกนักวิจัย สถาบันมะเร็งแห่งชาติ คุณจินตนา ยะหัวฝ่าย นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ กลุ่มงานวิจัย สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยทางคลินิก และ ศ.ดร.นพ. ชัยนรินทร์ ปทุมานนท์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับหลักการการทำวิจัยทางคลินิก และเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมทั้งผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอที่มารับการฉายรังสีที่กลุ่มงานรังสีรักษา สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยจนทำให้โครงการวิจัยสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, Parkin DM, Piñeros M, Znaor A, et al. Cancer statistics for the year 2020: An overview. Int J Cancer. [cited 2021 Apr 5]. doi: 10.1002/ijc.33588. Epub ahead of print. PMID: 33818764.
2. กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2564.
3. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2564 (Hospital-based cancer registry 2020) [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมการแพทย์, สถาบันมะเร็งแห่งชาติ; 2566 [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 มี.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.nci.go.th/e_book/hosbased_2563/index.htm
4. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2565 (Hospital-based cancer registry 2021) [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อ 10 มี.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.nci.go.th/th/cancer_record/download/HOSPITAL-BASED_2021.pdf
5. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2566 (Hospital-based cancer registry 2022) [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อ 10 มี.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.nci.go.th/th/cancer_record/download/Hosbased-2022-1.pdf
6. Eisbruch A, Chao K, Garden A. Phase I/II study of conformal and intensity modulated irradiation for oropharyngeal cancer (RTOG 00225). Radiation Therapy oncology Group of the American College of Radiology 2004;65:172-89.

7. ทวีป แสงธรรม. ระบบภาพในงานรังสีรักษา (Imaging in Radiotherapy). มะเร็งวิวัฒน์ วารสาร สมาคมรังสีรักษาและมะเร็งวิทยาแห่งประเทศไทย 2559;22:20-1
8. Murphy MJ, Balter J, Balter S, Bencomo JA, Das IJ, Jiang SB, et al. The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: Report of the AAPM task group 75. Med Phys 2007;34:4041-63.
9. Harrison AJL. Technical overview of geometric uncertainties in radiotherapy. In Party BIORW, editor. Geometric Uncertainties in Radiotherapy. Bristol: BIR; 2003;11-44.
10. Janjumrat P, Phattharakitbouaunkun P, Sanghangthum T. Accuracy of automatic image registration software for image guided radiotherapy. [cited 2024 Feb 11] Thai J Rad Tech [Internet] 2021;46:16-25
11. Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy. Seminars in Radiation Oncology 2004;14:52-64
12. Wang H, Wang C, Tung S, et al. Improved setup and positioning accuracy using a three-point customized cushion/mask/bite-block immobilization system for stereotactic re-irradiation of head and neck cancer. J Appl Clin Med Phys, 2016;17:180-9.
13. Lorraine C, John M, Michelle H, et al. Positioning reproducibility with and without rotational correction for head and neck immobilization system. Practical Radiation Oncology 2015;5:578-81
14. Howlin C, O'Shea, Dunne M, Mullaney L, et al. A randomized control trial comparing customized versus standard headrests for head and neck radiotherapy immobilization in terms of set-up errors, patient comfort and staff satisfaction (ICORG 08-09). Radiography 2015;21:74-83
15. Naiyanet N, Onsiri S, Lertbutsayanukul C, Suriyapee S. Measurement of patient's setup variation intensity-modulated radiation therapy of head and neck cancer using electronic portal image device. Biomed Imaging Interv J. 2007;3-30.