

ความแตกต่างของปริมาณรังสีระหว่างแผนรังสีรักษาเริ่มต้น
กับปริมาณรังสีที่คำนวณด้วยโปรแกรมแพลนอะแดปทีฟ
ขณะการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน ในผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูก

Dose different between original treatment planning and planned adaptive calculation
during helical tomotherapy in patients with nasopharyngeal cancer

■ สุวพิมพ์ จันทระออ^{1*} อิมใจ ชิตาพนารักษ์¹ สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์¹
Suwapim Chanlaor^{1*} Imjai Chitapanarux¹ Somsak Wanwilairat¹
เอกสิทธิ์ ธาราวิชิตกุล¹ วรรณภา นนอบ¹
Ekkasit Tharavichitkul¹ Wannapha Nopnob¹

หน่วยรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
Division of Therapeutic Radiology and Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

* ผู้รับผิดชอบบทความ (Email: bacardikimmy@gmail.com)

* Corresponding author (Email: bacardikimmy@gmail.com)

Received February 2017

Accepted as revised March 2017

Abstract

Background: Changing anatomic and volumetric occur in nasopharyngeal cancer (NPC) patients during fractioned radiotherapy cause the delivered dose considerably different from the original plan.

Objectives: The study purpose was to evaluate dose difference between original plan and planned adaptive software calculation during the course of radiotherapy in NPC patients treated with Tomotherapy HiArtTM system.

Materials and methods: Three NPC patients treated with helical tomotherapy underwent daily positional correction using megavoltage CT imaging. Both parotid glands and spinal cord of patients were recontoured on daily MVCT images. MVCT images were used to recalculate dose distribution for all 33 fractions by planned adaptive software. The original plan dose and recalculate dose were compared.

Results: Percent dose difference between original plan and planned adaptive dose of PTV70 (D95%), left and right parotid glands (D50%) were $1.74\% \pm 0.32\%$, $35.19\% \pm 12.67\%$ and $24.60\% \pm 15.21\%$, respectively. The structure dose difference were statistically significant ($p < 0.05$) after fraction number 2nd, 8th and 7th, respectively. Percentage of spinal cord dose (D2%) difference between original plan and planned adaptive was $8.76\% \pm 10.15\%$ with no statistically significance. Volume reduction in percentage of PTV70, left and right parotid glands volumes compare to original plan were 9.43%, 29.00% and 27.29%, respectively. Volume of spinal cord was not change during the treatments.

Conclusion: Anatomic and volumetric variations in nasopharyngeal cancer patients caused PTV70 and parotid glands in receiving treatment dose more than original plan. Adaptive planning should be considered to correct for delivery dose.

Journal of Associated Medical Sciences 2017; 50(2): 286-292. Doi: 10.14456/jams.2017.28

Keywords: Adaptive planning, MVCT, NPC, helical tomotherapy

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาค ขนาด และรูปร่างรอยโรคในบริเวณฉายรังสีของผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูก ระหว่างการฉายรังสี อาจส่งผลให้รอยโรคและอวัยวะสำคัญข้างเคียงได้รับปริมาณรังสีแตกต่างไปจากแผนรังสีรักษาที่แพทย์กำหนด

วัตถุประสงค์: เพื่อหาความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายและอวัยวะสำคัญข้างเคียงของผู้ป่วยมะเร็งหลังโพรงจมูก ระหว่างปริมาณรังสีจากแผนรังสีรักษาเริ่มต้น กับปริมาณรังสีที่คำนวณด้วยโปรแกรมแพลนอะแดปทีฟที่ผู้ป่วยได้รับตลอดการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน

วัสดุและวิธีการ: ถ่ายภาพรังสี MVCT สำหรับทวนสอบตำแหน่งฉายรังสีของผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกจำนวน 3 ราย ก่อนการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน แก๊สโครร่างของต่อมน้ำลายทั้งสองข้าง และไขสันหลังตามกายวิภาคที่เปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยบนภาพรังสี MVCT คำนวณหาการกระจายของปริมาณรังสีด้วยโปรแกรมแพลนอะแดปทีฟ เปรียบเทียบปริมาณรังสีที่คำนวณได้กับแผนรังสีรักษาเริ่มต้น

ผลการศึกษา: ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างระหว่างปริมาณรังสีจากแผนรังสีรักษาเดิม กับปริมาณรังสีที่คำนวณด้วยโปรแกรมแพลนอะแดปทีฟที่ปริมาตรเป้าหมาย PTV70 (D95%) ต่อมน้ำลายข้างซ้าย และข้างขวา (D50%) มีค่าเท่ากับ $1.74\% \pm 0.32\%$, $35.19\% \pm 12.67\%$ และ $24.60\% \pm 15.21\%$ ตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่การฉายรังสีครั้งที่ 2, 8 และ 7 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างปริมาณรังสีที่ไขสันหลัง (D2%) มีค่าเท่ากับ $8.76\% \pm 10.15\%$ และไม่แตกต่างกัน การลดลงของปริมาตร PTV70 ต่อมน้ำลายข้างซ้าย และข้างขวา คิดเป็นร้อยละ 9.43, 29.00 และ 27.29 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาตรจากแผนรังสีรักษาเดิม ปริมาตรไขสันหลังพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน

สรุปผลการศึกษา: การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาค ขนาด และรูปร่างของปริมาตรเป้าหมาย และต่อมน้ำลายทั้งสองของผู้ป่วยมะเร็งหลังโพรงจมูกระหว่างการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน ส่งผลให้ได้รับปริมาณรังสีมากกว่าแผนรังสีรักษาที่แพทย์กำหนดไว้ การปรับเปลี่ยนแผนรังสีรักษาจะทำให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีตามที่รังสีแพทย์ต้องการ

Journal of Associated Medical Sciences 2560; 50(2): 286-292. Doi: 10.14456/jams.2017.28

คำสำคัญ: Adaptive planning, MVCT, NPC, helical tomotherapy

บทนำ (Introduction)

จากรายงานของสถาบันมะเร็งแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2554¹ พบโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกสูงมากเป็นอันดับ 7 สำหรับเพศชายในประเทศไทย เนื่องจากมะเร็งหลังโพรงจมูกอยู่ในตำแหน่งที่ผ่าตัดยาก² ดังนั้น รังสีรักษาจึงเป็นวิธีการรักษาที่เหมาะสมที่สุด

เทคนิครังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน (helical tomotherapy; HT)³ เป็นเทคนิคการฉายรังสีภาพนำ (image guide radiotherapy; IGRT) ชนิดหนึ่ง โดยใช้เทคนิครังสีปรับความเข้ม (intensity modulated radiotherapy; IMRT) ร่วมกับการใช้ภาพรังสีตัดขวางระดับตัดกึ่งไฟฟ้าเมกะโวลต์ (megavoltage computed tomography; MVCT) ทวนสอบตำแหน่งการฉายรังสีผู้ป่วยในแต่ละครั้ง ภาพรังสี MVCT

มีความละเอียดคมชัดเพียงพอในการบอกตำแหน่งทางกายภาพของกระดูกและเนื้อเยื่อที่มีความสำคัญ⁴ และสามารถใช้อัตราส่วนของภาพรังสี MVCT คำนวณหาปริมาณรังสีได้ถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้^{5,6}

การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคในบริเวณฉายรังสีของผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกระหว่างการฉายรังสี⁷ มีสาเหตุจากการลดปริมาตรก้อนมะเร็งหรือต่อมน้ำเหลือง การลดลงของน้ำหนักผู้ป่วย การเปลี่ยนแปลงขนาดกล้ามเนื้อหรือชั้นไขมันบริเวณที่มีการฉายรังสี และการเคลื่อนที่ของของเหลวเข้ามาภายในบริเวณที่มีการฉายรังสี ผลจากการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคนี้ ทำให้ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายและอวัยวะสำคัญข้างเคียงได้รับมีการเปลี่ยนแปลง⁸ กราฟ dose-volume histogram (DVH) ของปริมาตรเป้าหมายมีความชันลดลง

ส่งผลให้ปริมาณรังสีที่กำหนดไม่ครอบคลุมปริมาตรเป้าหมาย⁹ ในระหว่างการฉายรังสี หากมีการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของผู้ป่วย หรือขนาดและรูปร่างรอยโรค จะส่งผลให้รอยโรคและอวัยวะสำคัญข้างเคียงได้รับปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลงไปจากแผนรังสีรักษาที่แพทย์กำหนดไว้

งานวิจัยนี้เป็นการหาความแตกต่างของปริมาณรังสีที่กำหนดไว้ในแผนรังสีรักษากับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนในแต่ละครั้งในผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูก โดยใช้ภาพรังสี MVCT และโปรแกรมคำนวณปริมาณรังสีแฟลนอะแดปทีฟของระบบฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน

วัสดุและวิธีการ (Materials and methods)

การสร้างตารางความสัมพันธ์ค่าเลขซีที กับความหนาแน่นอิเล็กตรอน (Image value to density table; IVDT)

การสร้างตาราง IVDT ทำโดยสแกนหุ่นจำลองซึ่งมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนใกล้เคียงน้ำ มีรูปร่างทรงกระบอกเรียกว่า ชีสแฟนทอม (cheese phantom) ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จำลองการฉายรังสี (computed tomography simulator หรือ CT simulator) รุ่น Brilliance Big Bore (Phillips) และเครื่องฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน (Tomotherapy HiArtTM, Accuray) เพื่อนำไปหาค่า HU (Hounsfield unit) ของแท่งทรงกระบอก (density rod) แต่ละอันที่ใส่ไว้ภายในชีสแฟนทอม แล้วนำค่ามาสร้างกราฟ IVDT (Figure 1)

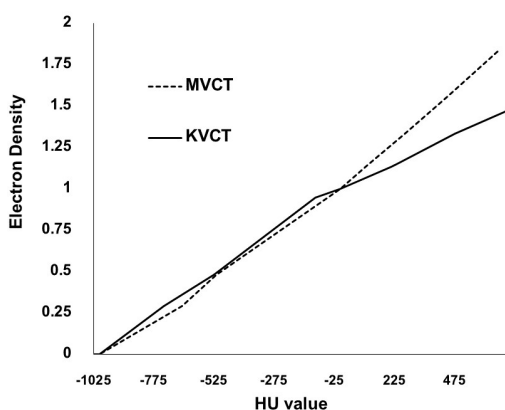


Figure 1 Mapping between HU and electron density values of density rod MVCT and kVCT images.

การวางแผนรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนบนข้อมูลภาพรังสี kVCT

การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลผู้ป่วยโรคมะเร็งโพรงหลังจมูกจำนวน 3 ราย ซึ่งได้รับการรักษาด้วยเทคนิครังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนร่วมกับยาเคมีบำบัด รายละเอียดของผู้ป่วยแต่ละราย แสดงในตารางที่ 1

Table 1 Patient characteristics.

Patient Number	Gender	Tumor stage
1	female	T2N2M0
2	male	T1N2Mx
3	male	T4N2Mx

ถ่ายภาพรังสีตัดขวาง kVCT ของผู้ป่วยด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จำลองการฉายรังสี ความหนาของภาพรังสีตัดขวางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ส่งข้อมูลภาพรังสีไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์วาดรอยโรค (Oncentra Master Plan V 4.3, Nucletron) เมื่อรังสีแพทย์วาดตำแหน่งรอยโรค และอวัยวะสำคัญข้างเคียงแล้ว นำข้อมูลไปวางแผนรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนด้วยโปรแกรมแฟลนนิ่งสเตชัน รุ่น 4.2.3 (Planning station, Accuray) โดยใช้เทคนิค simultaneous integrated boost (SIB technique) ในการฉายรังสีทั้งหมด 33 ครั้ง โดย PTV70 (2.12 เกรย์/ครั้ง), PTV59.4 (1.80 เกรย์/ครั้ง) และ PTV54 (1.63 เกรย์/ครั้ง) ได้รับปริมาณรังสีอย่างน้อย 70, 59.4 และ 54 เกรย์ ตามลำดับ

การคำนวณปริมาณรังสีเทคนิครังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนบนข้อมูลภาพ MVCT

ถ่ายภาพรังสีตัดขวาง MVCT ของผู้ป่วยเพื่อทวนสอบตำแหน่งก่อนการฉายรังสีด้วยเครื่องฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน ความหนาของภาพรังสีตัดขวางเท่ากับ 2 มิลลิเมตร (fine) ทวนสอบตำแหน่งการฉายรังสี โดยวิธีซ้อนทับภาพถ่ายภาพรังสีตัดขวาง (images registration) โดยใช้จุดอ้างอิงจากกระดูก (bony landmark)¹⁰ ด้านแนวขวาง (transverse plane) จุดอ้างอิง คือตำแหน่งกระดูกสันหลังส่วนคอระดับ C2 ตรง odontoid processes และด้านแนวระนาบข้าง (sagittal plane) จุดอ้างอิง คือบริเวณ intervertebral foramens ของกระดูกสันหลังส่วนคอระดับ C1 และ C4

หลังจากนั้นคำนวณปริมาณรังสี (recalculate) บนข้อมูลภาพรังสี MVCT จากเครื่องฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนที่มีโครงร่างรอยโรคและอวัยวะสำคัญข้างเคียงที่ได้จากการซ้อนทับ ในการทวนสอบแต่ละครั้งก่อนการฉายรังสี

ทั้งหมด 33 ครั้ง แกะไขข้อมูลรูปร่างรอยโรค และอวัยวะสำคัญข้างเคียง (edit contour) คือ PTV70 ต่อม้ำลายทั้งสองข้าง และไขสันหลัง ตามกายวิภาคที่เปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยในแต่ละวัน และเก็บข้อมูลของ PTV70 (D95%) ต่อม้ำลายทั้งสองข้าง (D50%) และไขสันหลัง (D2%) แล้วคำนวณปริมาณรังสีด้วยโปรแกรมแพลงอะแดปทีฟ รุ่น 4.2.3 (Planned Adaptive, Accuray) หาความแตกต่างของปริมาณรังสีจากแผนรังสีรักษาเดิมกับปริมาณรังสีจากการคำนวณด้วยโปรแกรมแพลงอะแดปทีฟที่ผู้ป่วยได้รับตลอดช่วงการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน ใช้ Pair T-Test พิจารณาความสัมพันธ์ที่ค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรม SPSS รุ่น 17.0

ผลการวิจัย (Results)

จากการศึกษาปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกจำนวน 3 ราย ผู้ป่วยทุกรายได้รับการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน 33 ครั้ง พบว่า ความแตกต่างของปริมาณ

รังสีระหว่างแผนรังสีรักษากับปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการคำนวณด้วยโปรแกรมแพลงอะแดปทีฟตลอดช่วงการฉายรังสีของโครงร่าง PTV70 ต่อม้ำลายข้างซ้าย ต่อม้ำลายข้างขวา และไขสันหลัง มีค่าเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 1.74 ± 0.32 , 35.19 ± 12.67 , 24.60 ± 12.67 และ 8.76 ± 10.15 ตามลำดับ โดยความแตกต่างระหว่างปริมาณรังสีของ PTV70 ต่อม้ำลายข้างซ้าย ต่อม้ำลายข้างขวามีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตั้งแต่การฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนครั้งที่ 2, 8 และ 7 ตามลำดับ และร้อยละความแตกต่างของปริมาณรังสีมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งของการฉายรังสี ยกเว้นไขสันหลังที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 2-5)

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเฉลี่ยของ PTV70 ต่อม้ำลายข้างซ้าย ต่อม้ำลายข้างขวา เมื่อผู้ป่วยได้รับการฉายรังสีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจากปริมาตรเฉลี่ยในแผนรังสีรักษาเดิม โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.43 ± 4.16 , 29.00 ± 7.86 , 27.29 ± 7.17 ตามลำดับ ยกเว้นไขสันหลังที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรตลอดช่วงการฉายรังสี

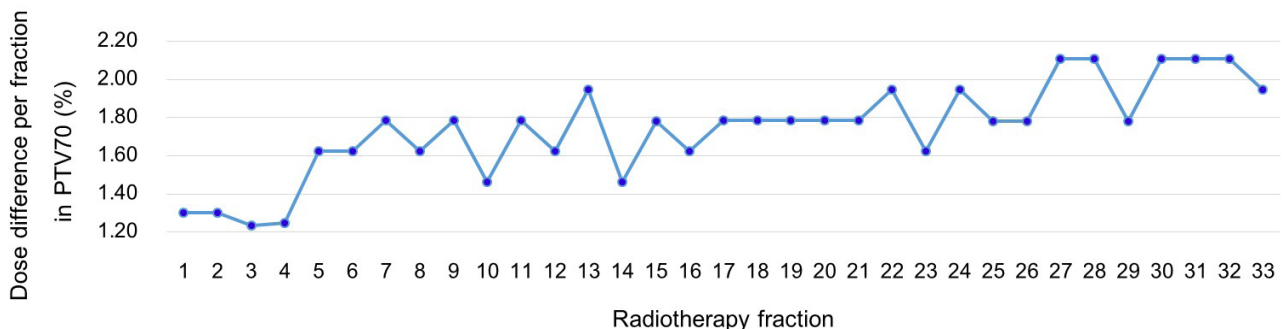


Figure 2 Average percentage dose difference per fraction in PTV70 for all 33 fractions.

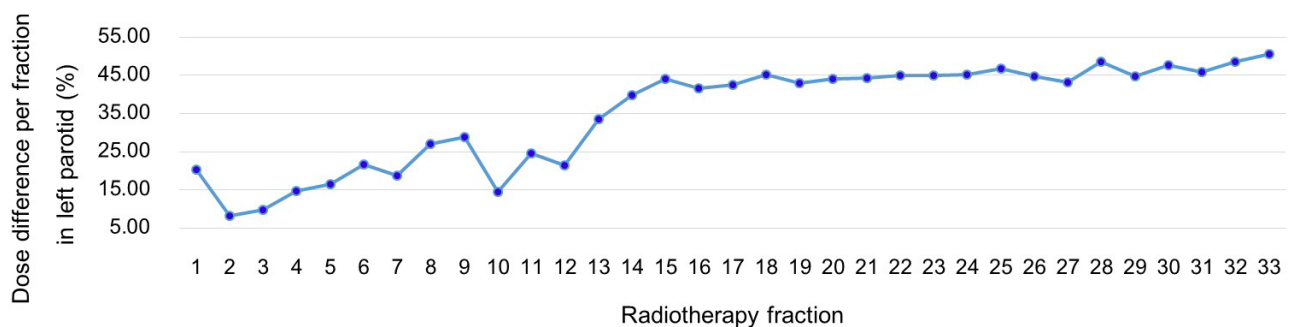


Figure 3 Average percentage dose difference per fraction in left parotid gland for all 33 fractions.

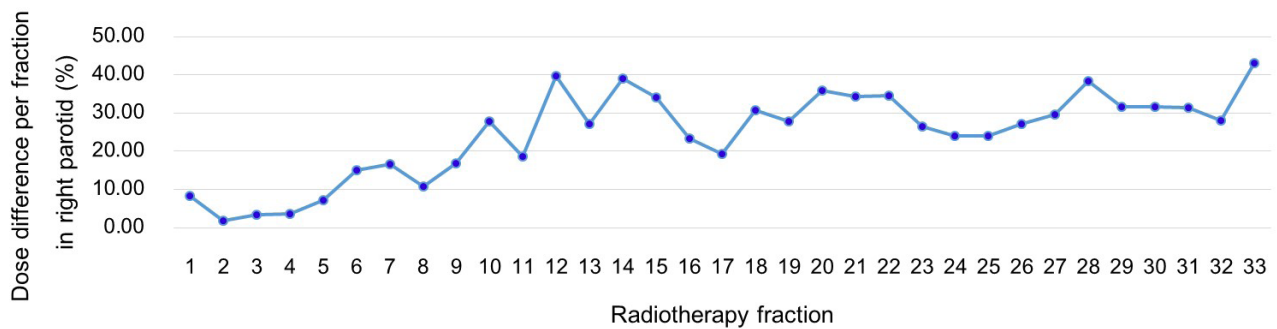


Figure 4 Average percentage dose difference per fraction in right parotid gland for all 33 fractions.

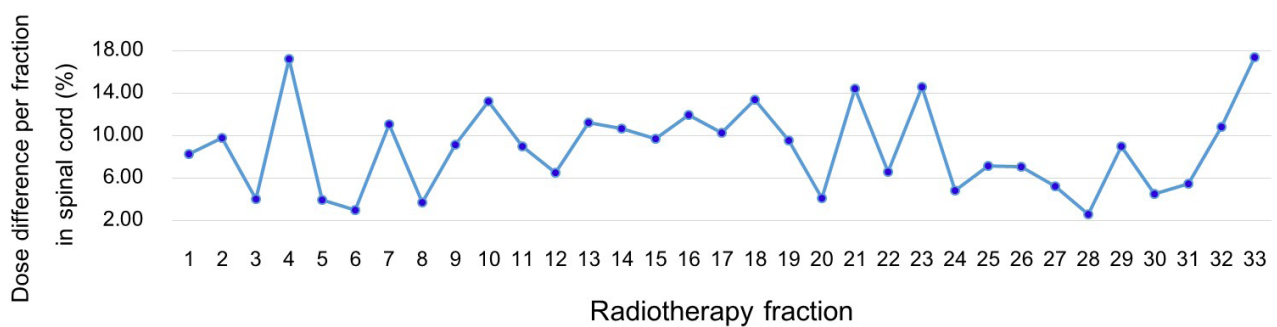


Figure 5 Average percentage dose difference per fraction in spinal cord for all 33 fractions.

วิจารณ์ผล (Discussion)

เนื่องจากเทคนิคการรังสีรักษาแบบเคลื่อนย้ายแบบเป็นเส้นตรง เป็นการฉายรังสีปรับความเข้ม ซึ่งทำให้เกิดบริเวณที่มีความแตกต่างของปริมาณรังสีที่สูงมาก (high dose gradient) ระหว่างบริเวณรอยโรคกับอวัยวะสำคัญข้างเคียง การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคบริเวณฉายรังสีของผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกระหว่างการฉายรังสีในแต่ละวัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของ PTV70 และต่อมน้ำลายทั้งสองข้าง รวมถึงการเคลื่อนที่เข้าใกล้บริเวณที่มีปริมาณรังสีสูงขึ้นของต่อมน้ำลายทั้งสองข้าง ทำให้โครงสร้างเหล่านี้ได้รับปริมาณรังสีแตกต่างจากแผนรังสีรักษาเดิม ดังแสดงในภาพที่ 6 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Han C และคณะ (2008)¹¹ กับ Zhang X และคณะ (2012)¹² แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen EK และคณะ (2006)⁸ ที่พบว่าปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายลดลงจากแผนรังสีรักษาเดิม เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Hansen EK และคณะ ไม่มีการแก้ไขโครงสร้างของปริมาตรเป้าหมายเพื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับในแต่ละครั้ง จึงอาจทำให้บางส่วนของปริมาตรเป้าหมายเกินออกไปในอากาศ ทำให้มีเนื้อเยื่อไม่เพียงพอสำหรับ buildup region ส่งผลกระทบต่อการคำนวณปริมาณรังสี

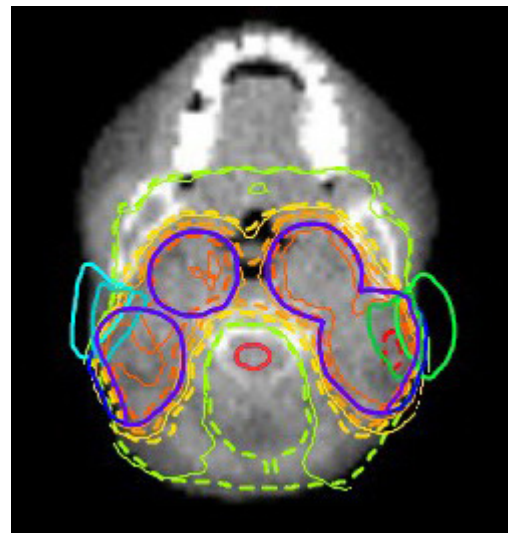


Figure 6 Anatomic variations of left parotid gland. Left parotid gland in radiotherapy fraction (dark green) and original treatment plan (green).

ข้อจำกัดที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ในงานวิจัยนี้ คือคุณภาพของภาพรังสี MVCT ซึ่งไม่สามารถ เห็นต่อมน้ำลายทั้งสองข้างได้ชัดเจน อาจมีการแก้ไขโครงสร้าง ต่อมน้ำลายผิดพลาดได้ในแต่ละครั้งของการฉายรังสี รวมถึง ลักษณะทางกายวิภาคและตำแหน่งของรอยโรค และต่อมน้ำลาย ทั้งสองข้างของผู้ป่วยแต่ละราย ในงานวิจัยนี้ผู้ป่วยคนที่ 1

มี PTV70 ลुकلامไปที่ต่อมน้ำลายทั้งสองข้าง ส่วนผู้ป่วยอีก สองรายมี PTV70 ลुकلامไปที่ต่อมน้ำลายเพียงข้างใดข้างหนึ่ง การลुकلامของรอยโรคอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง กายวิภาคของผู้ป่วย ทำให้ข้อมูลของผู้ป่วยมีความแตกต่าง และไม่ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งอาจส่งผลทางสถิติได้ ตัวอย่าง แสดงในภาพที่ 7

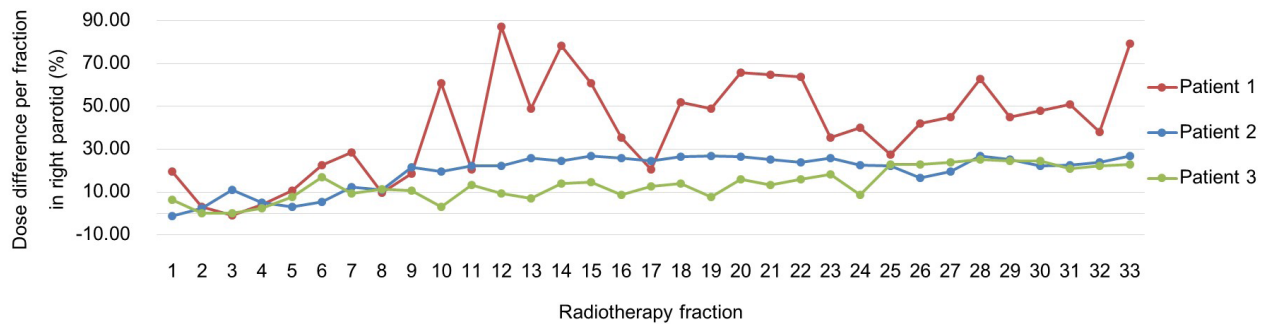


Figure 7 Percentage of right parotid gland dose difference per fraction in each patient.

สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

ผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูก ในระหว่างการรักษา ด้วยเทคนิครังสีรักษาแบบเกลียวหมุน มีการเปลี่ยนแปลง ทางกายวิภาค ขนาด และรูปร่างของปริมาตรเป้าหมาย และ ต่อมน้ำลายทั้งสองข้าง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วย ได้รับจากการคำนวณโดยโปรแกรมแพลนอะแดปทีฟ มีค่ามากกว่าแผนรังสีรักษาที่แพทย์กำหนดไว้ โดยเฉพาะที่ ต่อมน้ำลายทั้งสองข้างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ หลังสัปดาห์ที่ 1 เป็นต้นไป ดังนั้นผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูก ควรมีการปรับเปลี่ยนแผนรังสีรักษา (adaptive planning) เพื่อให้ รอยโรคได้รับปริมาณรังสีที่ถูกต้อง และลดปริมาณรังสีที่ อวัยวะสำคัญข้างเคียงลง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาล มหาราชนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในการใช้วัสดุอุปกรณ์ ในการทำวิจัย และให้คำปรึกษา รวมทั้งแนะนำการทำวิจัย เป็นอย่างดี

1. National Cancer Institute. Hospital-based cancer registry. Bangkok: Union ultra-violet company limited; 2011 (in Thai).
2. Division of Therapeutic Radiation and Oncology, King Chulalongkorn Memorial Hospital [Internet]. Nasopharyngeal Cancer. 2017 [cited 2017 Mar 3]. Available from: <http://www.chulacancer.net/patient-knowledge-inner.php?id=113>
3. Loo H, Fairfoul J, Chakrabarti A, Dean JC, Benson RJ, Jefferies SJ, et al. Tumour shrinkage and contour change during radiotherapy increase the dose to organs at risk but not the target volumes for head and neck cancer patients treated on the Tomotherapy HiArt System. Clin Oncol 2011; 23: 40-7.
4. Langen KM, Papanikolaou N, Balog J, Crilly R, Followill D, Goddu S, et al. QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 148 Medical Physics 2010; 37: 4817-53.
5. Meeks SL, Harmon JF, Langen KM, Willoughby TR, Wagner TH, Kupelian PA. Performance characterization of megavoltage computed tomography imaging on a helical tomotherapy unit. Med Phys 2005; 32(8): 2673-81.
6. Langen KM, Meeks SL, Poole DO, Wagner TH, Willoughby TR, Kupelian PA, et al. The use of megavoltage CT (MVCT) images for dose recomputations. Phys in Med and Biol 2005; 50: 4259-76.
7. Castadot P, Lee JA, Geets X, Gregoire V. Adaptive radiotherapy for head and neck cancer. Semin Radiat Oncol 2010; 20: 84-93.
8. Hansen EK, Bucci MK, Quivey JM, Weinberg V, Xia P. Repeat CT imaging and replanning during the course of IMRT for head and neck cancer. Int J Radiat Oncol Biol phys 2006; 64(2): 355-62.
9. Park S, Cheong KH, Hwang TJ, Kang SK, Lee M, Kim KJ, et al. When should an adaptive plan be considered for head-and-neck cancer patients undergoing tomotherapy treatment? J Korean Phys soc 2010; 56(3): 897-904.
10. Yao WR, Xu SP, Liu B, Cao XT, Ren G, Du L, et al. Replanning Criteria and Timing Definition for Parotid Protection-Based Adaptive Radiation Therapy in Nasopharyngeal Carcinoma. Biomed Res Int. 2015; 2015: 1-8. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/47638>
11. Han C, Chen YJ, Liu A, Schultheiss TE, Wong JYC. Actual dose variation of parotid glands and spinal cord for nasopharyngeal cancer patients during radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol phys 2008; 70(4): 1256-62.
12. Zhang X, Li M, Cao J, Luo JW, Xu GZ, Gao L, et al. Dosimetric variation of target volumes and organs at risk in nasopharyngeal carcinoma intensity-modulated radiotherapy. Br J Radiol 2012; 85: e506-e513.