

การเปรียบเทียบเชิงรังสีคณิตของแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรและ
แผนรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนในมะเร็งต่อมลูกหมาก
Dosimetric Comparison between Volumetric Modulated Arc Therapy and
Helical Tomotherapy in Prostate Cancer Treatment Planning

ณัฐพงษ์ หงษ์คำ¹, เอกสิทธิ์ ธาราวิชิตกุล², สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²หน่วยรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้นิพนธ์ประสานงาน

ณัฐพงษ์ หงษ์คำ

สาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

อีเมล: hongkham.nattapong@gmail.com

Nattapong Hongkham¹, Ekkasit Tharavichitkul², Somsak Wanwilairat²

¹Medical Physics Program, Department of Radiology, Chiang Mai University

²Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine Chiang Mai University

Corresponding author

Nattapong Hongkham

Medical Physics Program, Department of Radiology, Chiang Mai University, Muang, Chiang Mai, 50200

Email: hongkham.nattapong@gmail.com

Submitted: March 23, 2020

Revised: July 10, 2020

Accepted: July 13, 2020

บทคัดย่อ

หลักการและเหตุผล: โรคมะเร็งต่อมลูกหมากพบมากในเพศชาย การฉายรังสีมีบทบาทอย่างมาก ทั้งเทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร (Volumetric Modulated Arc Therapy: VMAT) และเทคนิครังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน (Helical Tomotherapy: HT) สามารถใช้รักษาได้อย่างถูกต้องแม่นยำและลดผลแทรกซ้อนกับอวัยวะปกติข้างเคียง

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพเชิงรังสีคณิตและประสิทธิภาพระหว่างแผนรังสีรักษาเทคนิค VMAT และเทคนิค HT สำหรับการฉายรังสีผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมาก

วัสดุและวิธีการ: การศึกษาแบบย้อนหลัง ผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมาก 16 ราย ที่ได้รับการฉายรังสีด้วยเทคนิค HT Simultaneous Integrated Boost (SIB) ปริมาตร PTV ประกอบด้วย ต่อมลูกหมากและต่อมน้ำเหลืองในช่องเชิงกราน ได้รับปริมาณรังสี 70 และ 50.4 เกรย์ ใน 28 ครั้ง ตามลำดับ นำมาวางแผนใหม่ด้วยเทคนิค VMAT แบบ Single-arc และ Double-arc แล้วเปรียบเทียบกับแผนรังสีรักษา HT สำหรับปริมาตรเป้าหมายเปรียบเทียบด้วยค่าดัชนีความเข้ารูป (Conformity Number: CN) และค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Homogeneity Index : HI) สำหรับอวัยวะปกติข้างเคียง ได้แก่ กระเพาะปัสสาวะ ลำไส้ตรง หัวกระดูกต้นขา ส่วนต้นขององคชาติและลำไส้ เปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 50, 10, 2 ได้รับ (D_{50} , D_{10} , D_2) และปริมาณรังสีเฉลี่ย (Mean dose) ตามเกณฑ์ของ RTOG0415 และ ICRU83 รวมทั้งเปรียบเทียบระยะเวลาฉายรังสี (Beam-on Time)

ผลการศึกษา: พบว่าแผนรังสีรักษาทั้งสามให้ปริมาณรังสีต่อปริมาตรเป้าหมายตามเกณฑ์ ICRU83 และค่า CN ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า HI ของแผนรังสีรักษา HT มีค่าที่ดีกว่าแผนรังสีรักษา VMAT Double-arc และ Single-arc อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แผนรังสีรักษา HT ให้ปริมาณรังสีที่กระเพาะปัสสาวะ ลำไส้ตรง และหัวกระดูกต้นขาทั้งสองข้างน้อยกว่า แต่ที่ส่วนต้นขององคชาติมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แผนรังสีรักษา VMAT Double-arc ให้ปริมาณรังสีที่กระเพาะปัสสาวะและลำไส้เล็กน้อยกว่า แต่ที่ส่วนต้นขององคชาติมากกว่าแผนรังสีรักษา VMAT Single-arc อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แผนรังสีรักษา VMAT Single-arc ใช้ระยะเวลาฉายรังสีน้อยกว่าแผนรังสีรักษา VMAT Double-arc และ HT ตามลำดับ

ข้อสรุป: แผนรังสีรักษา HT ให้ความสม่ำเสมอของปริมาณรังสีได้ดีที่สุดและสามารถลดปริมาณรังสีให้กับอวัยวะปกติข้างเคียงได้ แต่ใช้ระยะเวลาฉายรังสีมากที่สุด

คำสำคัญ: การเปรียบเทียบเชิงรังสีคณิต, แผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร, แผนรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน, มะเร็งต่อมลูกหมาก

Abstract

Background: Prostate cancer is common in Thai males. The two major radiation therapy advance techniques, volumetric modulated arc therapy (VMAT) and helical tomotherapy (HT), provide high-precision radiation dose to planning target volume (PTV) while sparing organs at risk (OARs) in prostate radiotherapy.

Objectives: To compare the dosimetric parameters and treatment efficiency between VMAT and HT treatment plan for prostate cancer.

Materials and Methods: This is a retrospective study of sixteen prostate cancer patients who were treated with Simultaneous integrated boost (SIB) technique using HT. The PTV includes the prostate (PTV-P) and pelvic lymph nodes (PTV-LN). The prescription doses for PTV-P and PTV-LN were 70 Gy and 50.4 Gy in 28 fractions, respectively. These patient images data were used to generated Single-arc (SA) and Double-arc (DA) VMAT plan by Monaco planning system. The same computed tomography images and structure contours data sets were used. Target volumes were constrained according to the criteria of the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) report no.83 and the OAR doses were evaluated by following the criteria of Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) 0415 report and ICRU 83. The plan quality assessment indexes were the conformity number (CN) and the homogeneity index (HI). The OAR (bladder, rectum, femoral heads, penile bulb and bowels) doses were evaluated by following criteria of RTOG 0415 and ICRU 83 (D_{50} , D_{10} , Mean dose and D_2). The beam-on time was also compared for the treatment efficiency assessment.

Results: The SA and DA VMAT achieved clinically acceptable dosimetric goals. There was no statistically significant difference ($p>0.05$) between these plans and the previous HT plan. CN showed no statistically significant difference between these plans. HT provided significantly better HI than DA VMAT and SA VMAT ($p<0.05$). For the OAR dose, HT had significantly lower bladder, rectum and femoral heads dose but higher penile bulb dose. DA VMAT had significantly lower bladder and bowels dose but higher penile bulb dose than SA VMAT. SA VMAT and DA VMAT had shorter beam-on time than HT.

Conclusion: All three plans achieved clinically acceptable dosimetric quality goals. HT provided better homogeneous dose distribution and lower dose to OARs. HT had the longest beam-on time.

Keywords: Dosimetric Comparison, Volumetric Modulated Arc Therapy, Helical Tomotherapy, Prostate cancer

J Thai Assoc Radiat Oncol 2020; 26(2): R56-R67

บทนำ

มะเร็งต่อมลูกหมาก (Prostate cancer) เป็นโรคที่พบบ่อยในเพศชาย สำหรับประเทศไทยจำนวนผู้ป่วยรายใหม่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น^[1,2,3] การฉายรังสีจากภายนอก (External beam radiation therapy) มีบทบาทอย่างมากในทางรังสีรักษา เทคนิคการฉายรังสีปรับ

ความเข้ม (Intensity-modulated radiation therapy: IMRT) เป็นเทคนิคสมัยใหม่ที่สามารถปรับความเข้มของลำรังสีตามรูปร่างและความหนาของรอยโรค ทำให้การฉายรังสีมีความถูกต้องแม่นยำ การกระจายของปริมาณรังสีมีความเข้ารูปต่อปริมาตรเป้าหมาย เพิ่มโอกาสในการควบคุมโรค ในขณะที่เนื้อเยื่อปกติบริเวณโดยรอบ

ได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุด ลดโอกาสการเกิดผลข้างเคียง แต่เดิมเทคนิครังสีรักษาแบบเป็นแบบแขนหมุนอยู่นิ่ง (Fixed Gantry IMRT) ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นเทคนิค รังสีรักษาแบบแขนหมุนเคลื่อนที่รอบตัวผู้ป่วย (Arc-Based IMRT) คือ เทคนิคการรังสีรักษาแบบเชิงปริมาตร (Volumetric Modulated Radiation Therapy: VMAT)^[4] เป็นการฉายรังสีที่มีการปรับ ความเข้มของลำรังสีควบคุมด้วยตัวแปร ได้แก่ ความเร็ว ของแขนหมุน (Gantry rotation speed) อัตราปริมาณ รังสี (Dose rate) และความเร็วของซี่ก้างรังสี (MLC Speed) ในขณะที่แขนฉายรังสีกำลังหมุนไปรอบผู้ป่วย พร้อมกับซี่ก้างรังสี (Multileaf Collimator: MLC) ที่มีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องตามรูปร่างของรอยโรค โดยเตียงผู้ป่วยอยู่นิ่ง ลำรังสีมีลักษณะเป็นรูปโคน (Cone beam) ให้รังสีครอบคลุมรอยโรคได้ทั้งหมดในครั้งเดียว ช่วยลดระยะเวลาฉายรังสี สามารถให้รังสีเพียงบางส่วน 1 รอบ หรือมากกว่า 1 รอบ เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพของ แผนรังสีรักษา แต่จะเพิ่มระยะเวลาการฉายรังสีมากขึ้น ด้วย^[5,6] และอีกเทคนิคคือเทคนิคการฉายรังสีแบบเกลียวหมุน (Helical Tomotherapy: HT)^[7] ลำรังสี มีลักษณะเป็นรูปพัด (Fan beam) เช่นเดียวกับเครื่อง เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Tomography: CT) ชุดซี่ก้างรังสี ปรับตามรูปร่างของรอยโรค ฉายรังสีรอบ ผู้ป่วย 360 องศา ขณะที่เตียงผู้ป่วยเคลื่อนที่เข้าสู่ลำรังสี อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีจำนวนของ segment มาก ส่งผล ให้รังสีมีความเข้ารูปกับรอยโรคที่มีความซับซ้อนและช่วย ลดปริมาณรังสีแก่อวัยวะปกติข้างเคียงได้ดียิ่งขึ้น^[8,9,10] ด้วยความแตกต่างของเทคนิคการฉายรังสีทั้งสอง การวิจัย ต้องการศึกษาคุนภาพของแผนรังสีรักษาทั้งสองแบบนี้ โดยเปรียบเทียบค่าตัวแปรเชิงรังสีคณิต ที่ปริมาณ เป้าหมายและอวัยวะปกติข้างเคียง ระยะเวลาของการ ฉายรังสีของแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งแบบ Single-arc และ Double-arc และแผนรังสีรักษา HT ในผู้ป่วยมะเร็ง ต่อมลูกหมาก

วัสดุและวิธีการ

กลุ่มตัวอย่าง

ผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมากจำนวน 16 ราย อายุเฉลี่ย 71 ปี (ช่วงอายุ 46-77 ปี) ที่ได้รับการวางแผนและ ฉายรังสีด้วยเทคนิคการฉายรังสีแบบเกลียวหมุน ใน ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2559 ที่หน่วยรังสีรักษาและมะเร็ง วิทยา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้ป่วยอยู่ใน ท่านอนหงาย ใช้อุปกรณ์ยึดตรึง Wing board และ หมอนรองคอ เตรียมตัวก่อนการจำลองการฉายรังสีและ ฉายรังสีด้วย Bladder protocol โดยให้ผู้ป่วยปัสสาวะ ออกให้หมด แล้วดื่มน้ำ 200 มล. จากนั้นรอ 20 นาที เพื่อ ให้กระเพาะปัสสาวะขยายตัว ชุดข้อมูลภาพรังสีตัดขวาง รังสีแพทย์วาดรอยโรค ปริมาตรเป้าหมาย CTV ได้แก่ prostate และ pelvic lymph nodes โดย CTV ถูกขยาย ออกไป 6 มม. เพื่อสร้างเป็นปริมาตรเป้าหมาย PTV ได้แก่ PTV-prostate (PTV-P) และ PTV-pelvic lymph nodes (PTV-LN) วาดอวัยวะปกติข้างเคียง ได้แก่ กระเพาะปัสสาวะ ลำไส้ตรง หัวกระดูกต้นขา ส่วนต้นของ องคชาตและลำไส้ กำหนดให้ปริมาณเป้าหมาย PTV-P ได้รับปริมาณรังสีรวม เท่ากับ 70 Gy และ PTV-LN ได้รับ รังสีรวม เท่ากับ 50.4 Gy ได้รับรังสีครั้งละ 2.5 Gy ทั้งหมด 28 ครั้ง ตามเกณฑ์ของ ICRU 83^[11]

การวางแผนรังสีรักษา

นำชุดข้อมูลภาพรังสีตัดขวางที่รังสีแพทย์วาดรอยโรคและอวัยวะปกติข้างเคียง ที่ได้รับการวางแผนและ ฉายรังสีด้วยเทคนิค HT มาวางแผนรังสีรักษาใหม่ด้วย เทคนิค VMAT ให้รังสีแบบเทคนิค Simultaneous Integrated Boost (SIB)^[12] บนโปรแกรมวางแผนรังสี รักษา Monaco เวอร์ชัน 5.11.01 อัลกอริทึม Monte Carlo ใช้รังสีโฟตอน พลังงาน 6 MV แขนหมุนเคลื่อนที่ ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุม 360 องศา ระยะของ Increment 30 องศา และตำแหน่งของ Collimator ที่ 0 องศา วางแผนรังสีรักษา VMAT สองแบบ คือ

Single-arc VMAT (SA VMAT) และ Double-arc VMAT (DA VMAT) สำหรับการฉายรังสีด้วยเครื่อง Elekta linear accelerator รุ่น Synergy (Elekta AB, Stockholm, Sweden) แผนรังสีรักษา VMAT ทั้งหมดวางแผนโดยนักฟิสิกส์การแพทย์คนเดียวกัน ขณะที่แผนรังสีรักษา HT วางแผนด้วยเทคนิค SIB บนโปรแกรม Tomo Therapy HiArt เวอร์ชัน 4.2.3 (TomoTherapy, Inc., Madison, WI, USA) อัลกอริทึม Convolution/Superposition รังสีโฟตอน พลังงาน 6 MV ใช้ Field Width (FW) เท่ากับ 5.02 ซม. ตั้งค่า Pitch เท่ากับ 0.287 และ Modulation Factor (MF) เท่ากับ 2.8-3.5

การประเมินและเปรียบเทียบแผนรังสีรักษา

ประเมินแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งสองแผน โดยพิจารณาตามเกณฑ์ของ ICRU 83^[11] และ RTOG 0415^[13] เช่นเดียวกับที่ใช้ประเมินแผนรังสีรักษา HT เกณฑ์กำหนดแสดงในตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ค่าตัวแปรเชิงรังสีคณิต ได้แก่ ปริมาณรังสีที่ปริมาตรของเป้าหมายร้อยละ 50 ได้รับ (D_{50}), ปริมาตรที่ได้รับปริมาณรังสีร้อยละ 95 ของปริมาณรังสีที่กำหนด (V_{95}) และ ปริมาตรที่ได้รับปริมาณรังสีร้อยละ 107 ของปริมาณรังสีที่กำหนด (V_{107}) โดยวางแผนรังสีรักษาให้ปริมาตรเป้าหมาย (PTV70) ของแผนรังสีทั้งสามแผนมีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 1 เกณฑ์ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายและอวัยวะปกติข้างเคียง^[11,13]

Structure	Dose Objective
PTV70	$D_{50} \geq \text{Prescription dose}$ $V_{95} \geq 98\% \text{ of PTV}$ $V_{107} \leq 2\% \text{ of PTV}$
Bladder	$D_{50} < 64 \text{ Gy}$ $D_2 \leq 79 \text{ Gy}$
Rectum	$D_{50} < 59 \text{ Gy}$ $D_2 \leq 79 \text{ Gy}$
Femoral heads	$D_{10} < 50 \text{ Gy}$ $D_2 \leq 53 \text{ Gy}$
Penile Bulb	Mean dose $< 51 \text{ Gy}$
Bowels	$D_2 < 60\text{-}66 \text{ Gy}$

คำย่อ: D_{50} = ปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 50 ได้รับ, D_{10} = ปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 10 ได้รับ, D_2 = ปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 2 ได้รับ, V_{95} = ปริมาตรที่ได้รับปริมาณรังสีร้อยละ 95 ของปริมาณรังสีที่กำหนด, V_{107} = ปริมาตรที่ได้รับปริมาณรังสีร้อยละ 107 ของปริมาณรังสีที่กำหนด

การเปรียบเทียบคุณภาพระหว่างแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งแบบ Single-arc และ Double-arc และแผนรังสีรักษา HT ที่ปริมาตรเป้าหมายด้วยค่าตัวแปรเชิงรังสีคณิต ดังนี้

1. ค่าดัชนีความเข้ารูป (Conformity Number: CN)^[14]

$$CN = \frac{TV_{RI}}{TV} \times \frac{TV_{RI}}{V_{RI}}$$

TV คือ ปริมาตรเป้าหมาย

TV_{RI} คือ ปริมาตรเป้าหมายที่ถูกครอบคลุมด้วยปริมาณรังสีที่กำหนด

V_{RI} คือ ปริมาตรทั้งหมดที่ถูกครอบคลุมด้วยปริมาณรังสีที่กำหนด

ค่าที่ติดจะต้องมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 1

2. ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Homogeneity Index: HI)^[11]

$$HI = \frac{D_2 - D_{98}}{D_{50}}$$

D_2 คือ ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายร้อยละ 2 ได้รับ

D_{98} คือ ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายร้อยละ 98 ได้รับ

D_{50} คือ ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายร้อยละ 50 ได้รับ

ค่าที่ติดจะต้องมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 0

ที่อวัยวะปกติข้างเคียงประเมินด้วยค่าตัวแปรเชิงรังสีคณิต ดังนี้

1. ปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 50 ได้รับ (D_{50}) สำหรับกระเพาะปัสสาวะและลำไส้ตรง

2. ปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 10 ได้รับ (D_{10}) สำหรับหัวกระดูกต้นขา

3. ปริมาณรังสีเฉลี่ย (Mean dose) สำหรับส่วนต้นขององคชาต

4. ปริมาณรังสีที่ปริมาตรร้อยละ 2 ได้รับ (D_2) สำหรับกระเพาะปัสสาวะ ลำไส้ตรง หัวกระดูกต้นขา และลำไส้ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนรังสีรักษาจากระยะเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี (Beam-on Time)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ paired t-test (two-tailed) ด้วยโปรแกรม SPSS statistics version 17.0 พิจารณาความมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า p-value < 0.05

ผลการศึกษา

แผนรังสีรักษา HT และแผนรังสีรักษา SA VMAT และ DA VMAT ให้ปริมาตรเป้าหมายได้รับปริมาณรังสีตามเกณฑ์ที่ ICRU 83 กำหนดทั้งสามแผน โดยมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงผลในตารางที่ 2 สำหรับค่าดัชนีความเข้ารูป (CN) พบว่าแผนรังสีรักษา DA VMAT มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และแผนรังสีรักษา HT มีค่าดัชนีความสม่ำเสมอของปริมาณรังสี (HI) เข้าใกล้ 0 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 ค่าปริมาณรังสีเฉลี่ย ค่าดัชนีความเข้ารูปเฉลี่ย (CN) และค่าดัชนีความสม่ำเสมอเฉลี่ยของปริมาณรังสี (HI) ที่ปริมาตรเป้าหมาย (PTV70)

Dosimetric Parameters	Pair t-test p-value					
	HT Mean ± SD	SA Mean ± SD	DA Mean ± SD	HT vs. SA	HT vs. DA	SA vs. DA
PTV						
D ₅₀ (Gy)	70.10 ± 0.12	70.19 ± 0.25	70.18 ± 0.16	0.156	0.089	0.892
V ₉₅ (%)	98.54 ± 0.37	98.59 ± 0.34	98.60 ± 0.43	0.221	0.131	0.863
V ₁₀₇ (%)	0.00 ± 0.000	0.01 ± 0.013	0.00 ± 0.003	0.066	0.333	0.095
CN	0.528 ± 0.060	0.547 ± 0.078	0.549 ± 0.049	0.271	0.135	0.912
HI	0.065 ± 0.010	0.077 ± 0.007	0.073 ± 0.007	0.001	0.041	0.114

คำย่อ: HT= Helical Tomotherapy, SA = Single-arc VMAT, DA= Double-arc VMAT, CN = Conformity Number, HI= Homogeneity Index, SD = standard deviation

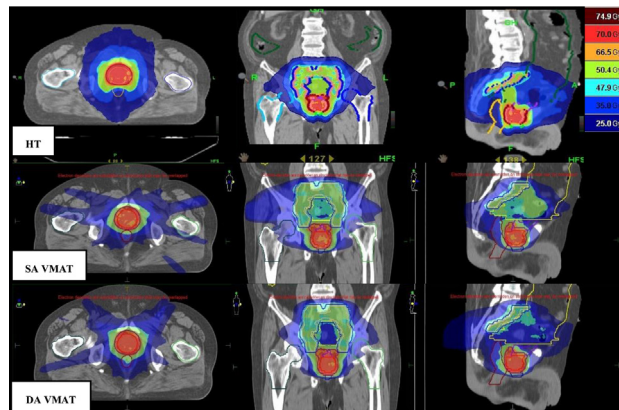
ตารางที่ 3 ปริมาณรังสีเฉลี่ยที่อวัยวะปกติข้างเคียง (OARs)

Dosimetric Parameters	Pair t-test p-value					
	HT Mean ± SD	SA Mean ± SD	DA Mean ± SD	HT vs. SA	HT vs. DA	SA vs. DA
Bladder						
D ₅₀	49.53 ± 8.37	55.96 ± 3.43	52.61 ± 5.55	0.001	0.033	0.001
D ₂	70.51 ± 0.54	70.76 ± 0.48	70.78 ± 0.64	0.102	0.017	0.897
Rectum						
D ₅₀	41.50 ± 5.06	45.84 ± 5.68	45.60 ± 6.22	0.033	0.084	0.826
D ₂	69.02 ± 2.43	68.96 ± 2.77	68.68 ± 2.99	0.889	0.588	0.472
Right femoral head						
D ₁₀	26.43 ± 5.00	33.05 ± 5.05	32.48 ± 4.08	0.006	0.004	0.718
D ₂	31.84 ± 5.52	39.01 ± 4.74	39.03 ± 3.66	0.001	0.001	0.985
Left femoral head						
D ₁₀	26.53 ± 4.97	37.00 ± 3.66	33.13 ± 4.24	< 0.001	0.001	0.016
D ₂	32.34 ± 5.70	41.10 ± 3.47	39.36 ± 4.08	< 0.001	< 0.001	0.201
Penile Bulb						
Mean dose	45.44 ± 5.56	27.41 ± 11.39	28.86 ± 11.23	< 0.001	< 0.001	0.001
Bowels						
D ₂	53.36 ± 4.35	55.17 ± 4.43	53.36 ± 4.06	0.065	0.998	0.030

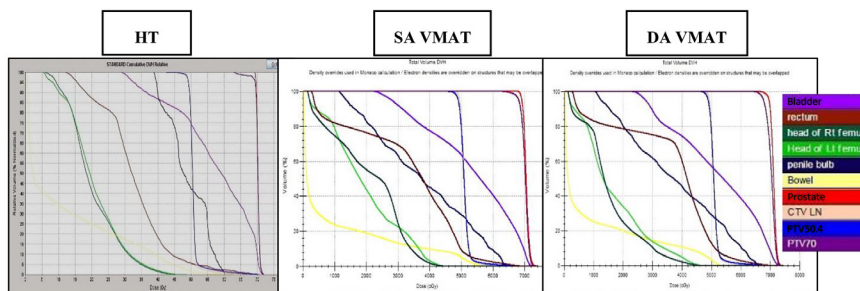
คำย่อ: HT= Helical Tomotherapy, SA = Single-arc VMAT, DA= Double-arc VMAT, SD = standard deviation

จากตารางที่ 3 แสดงปริมาณรังสีที่อวัยวะปกติข้างเคียงได้รับ พบว่าที่กระเพาะปัสสาวะ แผนรังสีรักษา HT ให้ค่า D_{50} น้อยกว่าแผนรังสี DA VMAT และ SA VMAT และให้ค่า D_2 น้อยกว่าแผนรังสี DA VMAT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่ลำไส้ตรง แผนรังสีรักษา HT ให้ค่า D_{50} น้อยกว่าแผนรังสีรักษา SA VMAT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แผนรังสีรักษา HT และแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งสองให้ค่า D_2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ปริมาณรังสีที่หัวกระดูกต้นขาข้างทั้งสองข้าง (Femoral heads) แผนรังสีรักษา HT ให้ค่า D_{10} และ D_2 น้อยกว่า

แผนรังสี VMAT ทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และแผนการรักษา DA VMAT ให้ค่าน้อยกว่า SA VMAT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ส่วนต้นขององคชาต (Penile Bulb) แผนรังสีรักษา HT ให้ค่า Mean dose มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และที่ลำไส้ (Bowels) แผนรังสีรักษา SA VMAT ให้ค่า D_2 มากกว่าแผนรังสีรักษา DA VMAT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพที่ 1 และ 2 แสดงตัวอย่างของการกระจายปริมาณรังสีและกราฟ dose volume histogram เปรียบเทียบแผนการรักษา HT, SA VMAT และ DA VMAT



ภาพที่ 1 การกระจายปริมาณรังสี (Dose distribution) ของแผนรังสีรักษา HT, SA VMAT และ DA VMAT



ภาพที่ 2 กราฟ Dose Volume Histogram (DVH) ของแผนรังสีรักษา HT, SA VMAT และ DA VMAT

แผนรังสีรักษา SA VMAT ใช้ระยะเวลาของการฉายรังสีเฉลี่ยน้อยกว่าแผนรังสีรักษา DA VMAT และแผนรังสี

รักษา HT ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระยะเวลาการฉายรังสีเฉลี่ย (Beam-on time)

Parameters	Pair t-test p-value					
	HT	SA	DA	HT vs. SA	HT vs. DA	SA vs. DA
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD			
Beam-on Time (Min)	4.38 $\pm$ 0.53	2.37 $\pm$ 0.18	3.11 $\pm$ 0.21	< 0.001	< 0.001	< 0.001

ตัวย่อ: HT= Helical Tomotherapy, SA = Single-arc VMAT, DA= Double-arc VMAT, SD = standard deviation

บทวิจารณ์

การวิจัยเปรียบเทียบเทคนิค VMAT กับเทคนิค HT ในผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมาก แสดงให้เห็นว่าแผนรังสีรักษา HT และแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งแบบ SA และ DA เป็นแผนรังสีที่สามารถให้ปริมาณรังสีครอบคลุมปริมาตรเป้าหมายและควบคุมปริมาณรังสีที่อวัยวะปกติข้างเคียงให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tsai CL.^[15] Pasquier D.^[16] และ Davidson MT.^[17] การวิจัยนี้วางแผนรังสีรักษา VMAT ให้มีตัวแปรเชิงรังสีคณิต ได้แก่ D_{50} , V_{95} และ V_{107} ผ่านตามเกณฑ์ของ ICRU 83 และมีค่าใกล้เคียงกันกับแผนรังสีรักษา HT โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าค่าดัชนีความเข้ารูป (CN) ของแผนรังสีรักษา HT แผนรังสีรักษา SA และ DA VMAT มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แตกต่างกับการศึกษาของ Tsai CL.^[15] ที่ทำการเปรียบเทียบแผนรังสีรักษา HT และ VMAT ซึ่งใช้ค่าดัชนีความเข้ารูป (CI) และมีสมการคำนวณที่ต่างจากการวิจัยนี้ พบว่าแผนรังสีรักษา HT มี CI เข้าใกล้ 1 มากกว่าแผนรังสีรักษา VMAT การใช้วิธีการคำนวณที่ต่างกัน ทำให้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันโดยตรงได้ยาก ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (HI) ของแผนรังสีรักษา HT มีค่าเข้าใกล้ 0 มากกว่าแผนรังสีรักษา DA VMAT และ SA VMAT ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Pasquier

D.^[16] ที่ทำการเปรียบเทียบแผนรังสีรักษา VMAT และ HT พบว่าแผนรังสีรักษา HT ให้ค่าการกระจายของปริมาณรังสีที่สม่ำเสมอบริเวณเป้าหมายดีกว่าแผนรังสีรักษา VMAT

สำหรับอวัยวะปกติข้างเคียง แผนรังสีรักษา HT ให้ปริมาณรังสี D_{50} ที่กระเพาะปัสสาวะน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Pasquier D.^[16] ที่ทำการเปรียบเทียบแผนรังสีรักษา HT และ VMAT ในผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมาก พบว่าแผนรังสีรักษา HT ให้ Bladder wall sparing ที่ดีกว่าแผนรังสีรักษา VMAT แผนรังสีรักษา HT ให้ปริมาณรังสี D_{50} ที่ลำไส้ตรงน้อยกว่าแผนรังสีรักษา SA VMAT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tsai CL.^[15] ที่ทำการเปรียบเทียบแผนรังสีรักษา HT และ VMAT พบว่าแผนรังสีรักษา HT ให้ปริมาณรังสีที่ลำไส้ตรงน้อยที่สุด แผนรังสีรักษา HT ให้ปริมาณรังสี D_2 และ D_{10} ที่หุ้มกระดูกต้นขาทั้งสองข้างมีค่าน้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากแผนรังสีรักษา HT บางแผน มีการใช้ directional block บริเวณหุ้มกระดูกต้นขาทั้งสองข้างในการวางแผนทำให้ได้รับปริมาณรังสีที่ต่ำ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีที่กระดูกต้นขาทั้งสองข้างมีค่าน้อยกว่าแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งสองแบบ แผนรังสีรักษา HT ให้ปริมาณรังสี Mean dose ที่ส่วนต้นขององคชาตมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากลักษณะการฉายรังสี

ของเทคนิค Fix jaw HT ด้วยลำรังสี Fan beam ที่เปิด Collimator ด้วยความกว้างคงที่ ขณะฉายรังสีให้ครอบคลุมขอบล่างของต่อมลูกหมาก ทำให้ขอบบนของส่วนต้นขององคชาติซึ่งเป็นอวัยวะที่อยู่ล่างต่อต่อมลูกหมากในแนว longitudinal อยู่ในพื้นที่ของลำรังสีและได้รับรังสีไปด้วย ส่งผลให้ได้รับปริมาณรังสีที่มากกว่าแผนรังสีรักษา SA VMAT และ DA VMAT นอกจากนี้แผนรังสีรักษา SA VMAT ให้ปริมาณรังสี D2 ที่ต่ำที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแผนรังสีรักษา SA VMAT กับ DA VMAT เนื่องจากการวางแผนต้องการให้ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมาย (PTV70) ของทั้งสามแผนรังสีรักษา ได้รับปริมาณรังสีที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่แผนรังสีรักษา SA VMAT ได้รับปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมาย (PTV70) ต่ำกว่าแผนอื่น จึงต้องปรับลดค่า constraints ส่งผลให้แผนรังสีรักษา SA VMAT ให้ปริมาณรังสีที่ต่ำได้มากที่สุด การเพิ่มจำนวนรอบของการหมุนของแผนรังสีรักษา VMAT จากการหมุน 1 รอบ (SA) เป็น 2 รอบ (DA) ช่วยเพิ่มคุณภาพของแผนรังสีรักษา มีการกระจายของปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายได้ดีขึ้นและช่วยลดปริมาณรังสีที่อวัยวะปกติข้างเคียงได้รับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่มีรอยโรคซับซ้อนและมีหลายปริมาตรเป้าหมาย^[18] จากการเปรียบเทียบแผนรังสีรักษา SA VMAT กับ DA VMAT ของการวิจัยนี้พบว่า ปริมาณรังสี D₅₀ ที่กระเพาะปัสสาวะได้รับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแผนรังสีรักษา DA VMAT สอดคล้องกับการศึกษาของ Guckenberger M.^[19] ที่ศึกษาในผู้ป่วยมะเร็งต่อมลูกหมากพบว่าแผนรังสีรักษา DA VMAT มีปริมาตรของกระเพาะปัสสาวะที่ได้รับรังสีน้อยกว่าแผนรังสีรักษา SA VMAT นอกจากนี้ยังพบค่า CN และ HI ของแผนรังสีรักษา VMAT ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจากมะเร็งต่อมลูกหมากมีความซับซ้อนของรอยโรคไม่มาก

ระยะเวลาการฉายรังสี (Beam-on Time) ของแผนรังสีรักษา SA VMAT และ DA VMAT น้อยกว่าแผนรังสีรักษา HT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tsai CL.^[15] และ Pasquier D.^[16] ที่ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาฉายรังสีระหว่างแผนรังสีรักษา HT กับ VMAT พบว่าแผนรังสีรักษา VMAT ใช้เวลาฉายรังสีน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แผนรังสีรักษา DA VMAT ใช้เวลาฉายรังสีมากกว่าแผนรังสีรักษา SA VMAT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Guckenberger M.^[19] แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนรอบของการหมุนของแผนรังสีรักษา VMAT จะเพิ่มเวลาฉายรังสี

ข้อสรุป

แผนรังสีรักษา HT และแผนรังสีรักษา SA VMAT และ DA VMAT ให้ปริมาณรังสีที่ปริมาตรเป้าหมายได้รับตามเกณฑ์กำหนดและอวัยวะปกติข้างเคียงได้รับปริมาณรังสีอยู่ในเกณฑ์กำหนด แผนรังสีรักษา HT ให้ความสม่ำเสมอของปริมาณรังสีได้ดีที่สุดและสามารถลดปริมาณรังสีที่ให้กับอวัยวะปกติข้างเคียงได้ แต่ใช้ระยะเวลาฉายรังสีมากที่สุด การศึกษาเพิ่มเติมที่มีจำนวนผู้ป่วยมากขึ้น รวมถึงการวางแผนรังสีรักษา VMAT การปรับค่า parameters เช่น ค่า Increment ค่า Collimator หรือจำนวนรอบของการหมุน และค่า Constraints ซึ่งมีผลต่อแผนรังสีรักษาควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันเทคนิค HT สามารถวางแผนและฉายรังสีด้วยเทคนิค Dynamic jaw HT จึงควรที่จะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับเทคนิค VMAT ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2558. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พรทรัพย์การพิมพ์ จำกัด; 2558.
2. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2559. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พรทรัพย์การพิมพ์ จำกัด; 2559.
3. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ. ทะเบียนมะเร็งระดับโรงพยาบาล พ.ศ. 2560. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พรทรัพย์การพิมพ์ จำกัด; 2560.
4. Min R, Wensha Y, Fan C, Ke S, Jinsong Y, Vivek M, et al. Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT: Plan quality, delivery efficiency and accuracy. *Med Phys.* 2010;37:1350-59.
5. Rana¹ S, Cheng C.Y. Feasibility of the partial-single arc technique in RapidArc planning for prostate cancer treatment. *Chin J Cancer.* 2013;32:546-52
6. Sze HC, Lee MC, Hung WM, Yau TK, Lee AW. RapidArc Radiotherapy Planning for Prostate Cancer: Single-Arc and Double-Arc Techniques vs. Intensity-Modulated Radiotherapy. *Med Dosim.* 2012;37:87-91.
7. Langen K.M, Papanikolaou N, Balog J, Crilly R, Followill D, Goddu S.M, et al. QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Task Group 148. *Med Phys.* 2010; 37:4817-53.
8. Kinhikar RA, Pawar AB, Mahantshetty U, Murthy V, Dheshpande DD, Shrivastava SK. Rapid Arc, Helical Tomotherapy, Sliding Window Intensity Modulated Radiotherapy and Three Dimensional Conformal Radiation for Localized Prostate Cancer: A Dosimetric Comparison. *J Cancer Res Ther.* 2014;10:575-82.
9. Scobioala S, Kittel C, Wissmann N, Haverkamp U, Channaoui M, Habibeh O, et al. A Treatment Planning Study Comparing Tomotherapy, Volumetric Modulated Arc Therapy, Sliding Window and Proton Therapy for Low-Risk Prostate Carcinoma. *Radiat Oncol.* 2016;11:128.
10. Lin J.C, Tsai J.T, Chen L.J, Li M.H, Liu W.H. Compared planning dosimetry of TOMO, VMAT and IMRT in rectal cancer with different simulated positions. *Oncotarget.* 2017;8:42020-29.
11. International Commission on Radiation Units and Measurements Report 83. Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT). *J ICRU.* 2010;10.
12. Chawapun N. IsoBED: Biologically Equivalent Fractionation Schedules in Radiotherapy Using IMRT with a Simultaneous Integrated Boost (SIB) Technique. *J Thai Soc Ther Radiat Oncol* 2015;21:11-7.
13. NRG Oncology RTOG 0415. A Phase III Randomized Study of Hypofractionated 3D-CRT/IMRT versus Conventionally Fractionated 3D-CRT/IMRT in Patients with Favorable-Risk Prostate Cancer.

[internet]. [cited 2019 Feb 8]. Available from: <https://www.rtog.org/ClinicalTrials/ProtocolTable/StudyDetails.aspx?action=openFile&FileID=4624>.

14. Van't Riet A, Mak AC, Moerland MA, Elders LH, van der Zee W. A conformation number to quantify the degree of conformality in brachytherapy and external beam irradiation: application to the prostate. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1997;37:731–6.
15. Tsai CL, Wu JK, Chao HL, Tsai YC, Cheng JC. Treatment and dosimetric advantages between VMAT, IMRT, and helical tomotherapy in prostate cancer. *Med Dosim*. 2011;36:264-71.
16. Pasquier D, Cavillon F, Lacornerie T, Touzeau C, Tresch E, Lartigau E. A dosimetric comparison of tomotherapy and volumetric modulated arc therapy in the treatment of high-risk prostate cancer with pelvic nodal radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2013;85:549-54.
17. Davidson MT, Blake SJ, Batchelar DL, Cheung P, Mah K. Assessing the role of volumetric modulated arc therapy (VMAT) relative to IMRT and helical tomotherapy in the management of localized, locally advanced, and post-operative prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2011;80:1550-8.
18. Yampolsky H, Martyn B, Squire D, Hartwick T, Botnick M, Botnick L, et al. Comparison of Plan Quality Provided by Volumetric Modulated Arc Therapy and Helical Tomotherapy. *J Radiat Oncol Biol Phys*. 2009;75:728
19. Guckenberger M, Richter A, Krieger T, Wilbert J, Baier K, Flentje M. Is a single arc sufficient in volumetric-modulated arc therapy (VMAT) for complex-shaped target volumes? *Radiother Oncol*. 2009;93:259-65.