คุณสมบัติเชิงรังสีคณิตและอัตราผ่านค่าแกมมาของอุปกรณ์วัดรังสีรุ่นอาร์คเช็ค สำหรับการทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร

Dosimetry Characteristics and Gamma Passing Rate of ArcCHECK for Volumetric Modulated Arc Therapy Treatment Planning Verification

นันทวุฒิ สุดลอย[1], เอกสิทธิ์ ธราวิจิตรกุล[2], สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์[2]

Nuntawuth Sudloy[1], Ekkasit Tharavichitkul[2], Somsak Wanwilairat[2]

[1]หลักสูตรฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2]หน่วยรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

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

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

ABSTRACT

Background: Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) is a complicated radiation technique in both the treatment planning and the machine delivery. A verification dosimeter with appropriate dosimetry characteristic is essential for treatment planning verification and quality assurance.

Objectives: To study the dosimetry characteristics of ArcCHECK diode array detector and evaluate gamma passing rate of Volumetric Modulated Arc Therapy treatment planning in Nasopharyngeal cancer and Prostate cancer.

Materials and Methods: Dosimetry characteristics of ArcCHECK include short-term reproducibility, dose linearity, field size dependence, dose rate dependence, directional dependence and out of field dependence were studied. Volumetric Modulated Arc Therapy technique using Synergy 6 MV photon beam were planned for each 10 cases of Nasopharyngeal and Prostate cancer. Then treatment planning verification were performed using the gamma passing rate of 3%/3mm and the 10% threshold level.

Results: The result showed ArcCHECK has consistency response for short-term reproducibility with 0.05% standard deviation, good linearity response to radiation dose (R^2=1.0) and increase response with increasing field size and dose rate. For directional dependence study, ArcCHECK was showed good consistency response with 1% dose difference for gantry angle between -55° to 55°. The scattered radiation measured out of radiation field has variation by field size and maximum dose was 6.9% with 15×15 cm^2. This scattered dose decrease with distance from the edge of the radiation field. For Volumetric Modulated Arc Therapy treatment planning verification, it was found that the average gamma passing rate was 96.74%±2.04% and the action level was 92.74%.

Conclusion: ArcCHECK diode array detector has good dosimetry characteristics and suitable for Volumetric Modulated Arc Therapy treatment planning verification. The action level of gamma passing for the department is 92.74%.

Keyword: ArcCHECK, Diode detector, Gamma passing rate, Treatment planning verification, VMAT

บทคัดย่อ

หลักการและเหตุผล: การฉายรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรเป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อนทั้งแผนรังสีรักษาและการทำงานของเครื่องฉายรังสี อุปกรณ์วัดรังสีที่มีคุณสมบัติเชิงรังสีคณิตที่เหมาะสมจึงจำเป็นและมีความสำคัญสำหรับใช้ทวนสอบและประกันคุณภาพแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร
วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาคุณลักษณะเชิงรังสีคณิตของอุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK และใช้หาค่าอัตราผ่านค่าแกมมาของแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรในผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกและมะเร็งต่อมลูกหมาก

วัสดุและวิธีการ: ศึกษาคุณลักษณะเชิงรังสีคณิตของอุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK ได้แก่ การตอบสนองต่อการวัดปริมาณรังสีซ้ำในระยะเวลาสั้น การตอบสนองต่อขนาดปริมาณรังสี การตอบสนองต่อขนาดของพื้นที่รังสี การตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีที่ได้รับ การตอบสนองต่อทิศทางของลำรังสี และการตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสี จากนั้นนำอุปกรณ์วัดรังสี

ArcCHECK ไปใช้ทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรและหาค่าอัตราผ่านค่าแกมมาในผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกและมะเร็งต่อมลูกหมากโรคละ 10 แผน โดยกำหนดเกณฑ์ค่าดัชนีแกมมา 3%/3mm เกณฑ์ปริมาณรังสีขั้นต่ำ 10%

ผลการศึกษา: อุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK มีการตอบสนองต่อการวัดรังสีซ้ำในระยะเวลาสั้นคงที่ โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.05% มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีเป็นแบบเชิงเส้นที่ดี (R^2=1.0) และมีการตอบสนองมากขึ้นต่อขนาดพื้นที่รังสีและอัตราปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น การตอบสนองต่อทิศทางของลำรังสีพบว่ามีการตอบสนองคงที่ในช่วงมุม -55° ถึง 55° โดยมีความแตกต่างของปริมาณรังสีไม่เกิน 1% การตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสีพบว่า ArcCHECK วัดได้ค่าปริมาณสูงขึ้นเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดใหญ่ขึ้น และค่าลดลงตามระยะห่างจากขอบของพื้นที่รังสี โดยมีค่ามากสุดเท่ากับ 6.9% ที่ขนาดพื้นที่รังสี 15×15 ตร.ซม. สำหรับการทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรได้อัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยเท่ากับ 96.74%±2.04% และค่าระดับเกณฑ์ดำเนินการเท่ากับ 92.74%

ข้อสรุป: อุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK มีคุณลักษณะเชิงรังสีคณิตที่ดีและมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร ค่าระดับเกณฑ์ดำเนินการของหน่วยงานเท่ากับ 92.74%

คำสำคัญ: อุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK, หัววัดรังสีไดโอด, อัตราผ่านค่าแกมมา, การทวนสอบแผนรังสีรักษา, รังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร

บทนำ

เทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร (Volumetric Modulated Arc Therapy :VMAT) เป็นเทคนิคฉายรังสีที่แขนฉายรังสีหมุนเป็นแนวโค้งรอบตัวผู้ป่วยพร้อมกับมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลำรังสีโดยการเคลื่อนที่ของซี่กำบังรังสี (MLCs) อย่างต่อเนื่อง และมีการปรับเปลี่ยนอัตราปริมาณรังสีและความเร็วของการเคลื่อนที่ของแขนฉายรังสี เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการฉายรังสีปรับความเข้มแบบดั้งเดิม (Conventional static field IMRT)[1] เทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรสามารถให้การกระจายปริมาณรังสีที่มีความเข้ารูปและครอบคลุมรอยโรคสูง สามารถหลีกเลี่ยงไม่ให้อวัยวะสำคัญข้างเคียงได้รับปริมาณรังสีสูง นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการฉายรังสี และหน่วยนับวัดรังสี (MU) ที่ลดลง

เทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรเป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อนของแผนรังสีรักษา

และการทำงานของเครื่องฉายรังสี ทั้งซี่กำบังรังสี การหมุนของแขนหมุน และการปรับเปลี่ยนอัตราปริมาณรังสี ดังนั้นการทวนสอบปริมาณรังสีและการประกันคุณภาพของแผนรังสีรักษาจึงมีความสำคัญ[2] วิธีการทวนสอบแผนรังสีรักษาที่เป็นที่นิยมคือการวิเคราะห์ค่าแกมมา (Gamma analysis)[3] อุปกรณ์วัดรังสีที่นำมาใช้ในการทวนสอบแผนรังสีรักษาที่ดีนอกจากจะมีรูปร่างของอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับเทคนิคการฉายรังสีแล้วต้องมีคุณสมบัติเชิงรังสีคณิตที่ดี เช่น วัดปริมาณรังสีซ้ำได้ถูกต้องแม่นยำ มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีแบบเชิงเส้น ตอบสนองต่อขนาดพื้นที่ลำรังสีและอัตราปริมาณรังสี และตอบสนองต่อปริมาณรังสีได้ทุกทิศทาง เป็นต้น

อุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK มีลักษณะเป็นแฟนทอมรูปทรงกระบอกทำจากวัสดุ PMMA ภายในมีหัววัดรังสีชนิดไดโอดจำนวน 1,386 ตัว วางเรียงกันอยู่ในลักษณะเกลียวหมุนเป็นรูปทรงกระบอก ด้วยลักษณะนี้จึงทำให้อุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK สามารถวัดรังสีได้ทุกทิศทางสอดคล้องกับเทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร แต่ก่อนนำอุปกรณ์วัดรังสีมาใช้ในการทวนสอบแผนรังสีรักษา จำเป็นต้องมีการศึกษาคุณลักษณะเชิงรังสีคณิตของอุปกรณ์ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพ ลักษณะเฉพาะ ข้อจำกัด และผลของตัวแปรต่างๆ ต่อปริมาณรังสีที่วัดได้

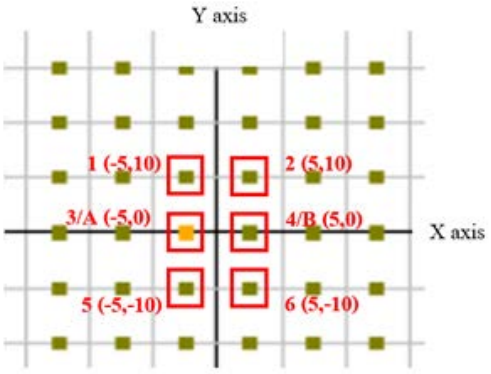
งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาคุณลักษณะเชิงรังสีคณิตของอุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK และใช้ทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร โดยหาอัตราผ่านค่าแกมมา (Gamma passing rate) ในแผนรังสีรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกและมะเร็งต่อมลูกหมาก นำค่าที่ได้มาใช้เป็นแนวปฏิบัติในการประเมินแผนรังสีรักษาของหน่วยงานต่อไป

วัสดุและวิธีการทดลอง

ในการศึกษานี้ใช้เครื่องฉายรังสีโฟตอนพลังงาน 6 MV รุ่น Synergy ที่มีซี่กำบังรังสีขนาด 0.5 ซม. และเครื่องวางแผนรังสีรักษา (TPS) รุ่น Monaco Version 5.11.01 (Elekta, Crawley, UK) อุปกรณ์วัดรังสีรุ่น ArcCHECK โมเดล 1220 และโปรแกรม SNC Patient™ version 6.6.0 (Sun Nuclear, Melbourne, USA) และหัววัดรังสีชนิดประจุแตกตัวรุ่น FC65P (IBA, Schwarzenbruck, Germany) ข้อมูลแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรของผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกและมะเร็งต่อมลูกหมาก ที่ได้รับการฉายรังสีที่หน่วยรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวนโรคละ 10 แผนรังสีรักษา รวม 20 แผนรังสีรักษา การศึกษาได้ทำในหัวข้อต่อไปนี้

การตอบสนองต่อการวัดปริมาณรังสีซ้ำในระยะเวลาสั้น

จัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK โดยให้จุดกึ่งกลางของอุปกรณ์อยู่ที่ตำแหน่ง Isocenter ของเครื่องฉายรังสี ที่ระยะ SAD = 100 ซม. (SSD = 86.7 ซม.) ตั้งหัวเครื่องฉายรังสีที่ 0° เปิดพื้นที่รังสี 10×10 ตร.ซม. ฉายรังสี 100 MU อ่านค่าปริมาณรังสีของไดโอดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ ArcCHECK ภายในพื้นที่รังสีจำนวน 6 ตัว ดังแสดงใน**ภาพที่ 1** วัดซ้ำ 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งเวลาห่างกัน 3 นาที



ภาพที่ 1 ตำแหน่งของไดโอดที่สนใจทั้ง 6 ตัว (cm) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ ArcCHECK

การตอบสนองต่อขนาดปริมาณรังสี

จัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK โดยให้จุดกึ่งกลางของอุปกรณ์อยู่ที่ระยะ SAD = 100 ซม. เปิดพื้นที่รังสี 10×10 ตร.ซม. ฉายรังสีด้วยปริมาณรังสีต่างๆ โดยเริ่มจาก 1 จนถึง 800 MU ทดสอบการตอบสนองต่อปริมาณรังสีของไดโอด A และ B ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ ArcCHECK ดังภาพที่ 1

การตอบสนองต่อขนาดของพื้นที่รังสี

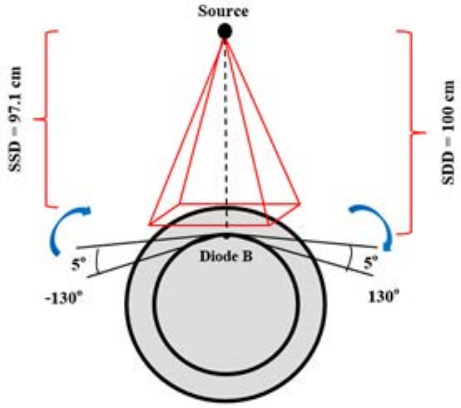
จัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK โดยให้จุดกึ่งกลางของอุปกรณ์อยู่ที่ระยะ SAD = 100 ซม. เปิดพื้นที่รังสี 3×3 ตร.ซม. ฉายรังสี 100 MU บันทึกค่าปริมาณรังสีของไดโอด A และ B นำหัววัดประจุแตกตัวรุ่น FC65P และ Solid water phantom มาทดสอบโดยใช้เงื่อนไขเดียวกับ ArcCHECK ทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนขนาดพื้นที่รังสีเป็น 5×5, 10×10, 15×15, 20×20 และ 25×25 ตร.ซม.

การตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีที่ได้รับ

จัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK โดยให้จุดกึ่งกลางของอุปกรณ์อยู่ที่ระยะ SAD = 100 ซม. เปิดพื้นที่รังสี 10×10 ตร.ซม. ฉายรังสีด้วยปริมาณรังสี 100 MU โดยให้อัตราปริมาณรังสีต่อนาที (MU/min) เป็น 35, 70, 140, 280 และ 560 MU/min บันทึกค่าปริมาณรังสีของไดโอด A และ B ทดสอบการตอบสนองนี้กับหัววัดประจุแตกตัวด้วยเงื่อนไขเดียวกัน

การตอบสนองต่อทิศทางของลำรังสี

จัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK โดยให้ไดโอด B อยู่ที่ตำแหน่ง Isocenter ที่ระยะ SDD = 100 ซม. (SSD = 97.1 ซม.) เปิดพื้นที่รังสี 10×10 ตร.ซม. ฉายรังสี 100 MU เปลี่ยนมุมของแขนหมุนเป็นมุมต่างๆ ครั้งละ 5° โดยเริ่มที่มุม -130° ถึงมุม 130° ในทิศตามเข็มนาฬิกา ดัง**ภาพที่ 2** บันทึกค่าปริมาณรังสีของไดโอด B และหาปริมาณรังสีที่ไดโอด B จากการคำนวณด้วย TPS โดยใช้เงื่อนไขเดียวกับการวัดจริง



ภาพที่ 2 การวางตำแหน่งอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK โดยให้ไดโอด B (5,0) อยู่ที่ตำแหน่ง Isocenter ของเครื่องฉายรังสี เพื่อใช้ในการทดสอบการตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสี

การตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสี

จัดตำแหน่งของอุปกรณ์วัดรังสี Arc-CHECK โดยให้จุดกึ่งกลางของอุปกรณ์อยู่ที่ระยะ SAD = 100 ซม. เปิดพื้นที่รังสี 3×3 ตร.ซม. ฉายรังสี 100 MU วัดปริมาณรังสีของไดโอดที่อยู่ห่างจากขอบพื้นที่รังสีในแนวหัว-เท้าเป็นระยะ 1.66-8.66 ซม. ทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนขนาดพื้นที่รังสีเป็น 5×5, 10×10 และ 15×15 ตร.ซม. และวัดปริมาณรังสีของไดโอดที่อยู่ห่างจากขอบพื้นที่รังสีเป็นระยะ 1.76-7.76, 1.52-5.52 และ 1.28-3.28 ซม. ตามลำดับ ทดสอบการตอบสนองนี้กับหัววัดประจุแตกตัวด้วยเงื่อนไขเดียวกัน

การหาค่าอัตราผ่านแกมมาของแผนรังสีรักษาเทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร

การหาค่าอัตราผ่านแกมมาของแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร ที่ได้จากเครื่องวางแผนรังสีรักษา Monaco ในผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกและมะเร็งต่อมลูกหมาก โดยเริ่มจากการนำแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรซึ่งได้รับความเห็นชอบจากรังสีแพทย์และฉายรังสีผู้ป่วยครบแล้ว มาคำนวณปริมาณรังสีใหม่โดยใช้ภาพรังสีตัดขวางของอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK ส่งออกไฟล์ข้อมูลแผนรังสีรักษา (DICOM RT Plan) และข้อมูลปริมาณรังสี (DICOM RT Dose) ไปยังโปรแกรม SNC PatientTM นำอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK ไปฉายรังสีด้วยรังสีโฟตอนพลังงาน 6 MV จากเครื่องฉายรังสี Synergy ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าอัตราผ่านแกมมาด้วยโปรแกรม SNC PatientTM โดยกำหนดเกณฑ์ค่าดัชนีแกมมา 3%/3mm ตั้งเกณฑ์ปริมาณรังสีขั้นต่ำ 10% นำอัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มาคำนวณหาค่าขีดจำกัดความเชื่อมั่น (Confidence Limit: CL) และค่าเกณฑ์ระดับการดำเนินการ (Action Level) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอัตราผ่านค่าแกมมาของการทวนสอบแผนรังสีรักษาเทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรของหน่วยงาน โดยคำนวณจากสมการ[4]

Confidence Limit = (100 – mean) + 1.96SD

โดยที่ mean คืออัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ย และ SD คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราผ่านค่าแกมมา

Action Level = (100 – CL)%

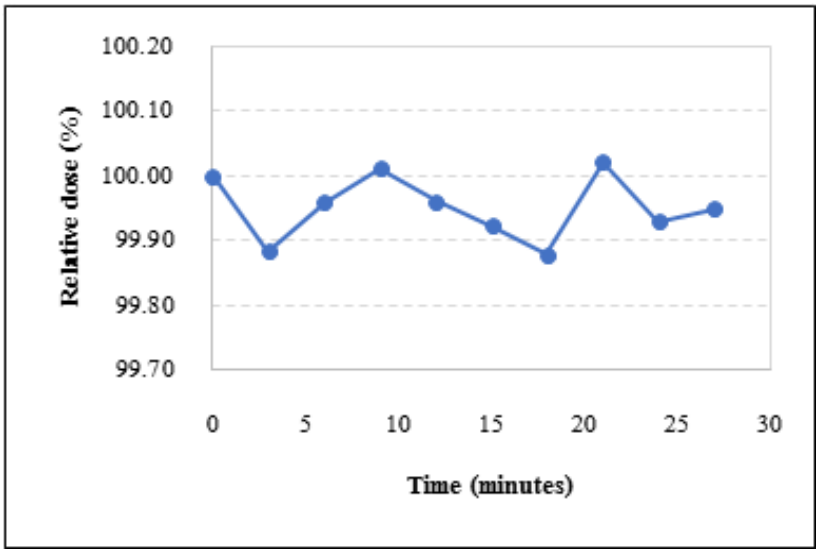
ผลการทดลอง

ผลการตอบสนองต่อการวัดปริมาณรังสีซ้ำในระยะเวลาสั้น

การทดสอบการตอบสนองต่อการวัดปริมาณรังสีซ้ำในระยะเวลาสั้นของไดโอดทั้ง 6 ตัว นำค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดได้แต่ละครั้งมาเทียบกับค่าปริมาณรังสีที่วัดได้ครั้งแรก พบค่า Relative dose อยู่ระหว่าง 99.88% ถึง 100.02% และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.0497 ค่า Relative dose ของการวัดปริมาณรังสีซ้ำทั้ง 10 ครั้ง แสดงใน**ภาพที่ 3**

ผลการตอบสนองต่อขนาดปริมาณรังสี

การทดสอบการตอบสนองต่อขนาดปริมาณรังสีของไดโอด A และ B โดยให้ปริมาณรังสีตั้งแต่ 1 ถึง 800 MU นำข้อมูลปริมาณรังสีที่

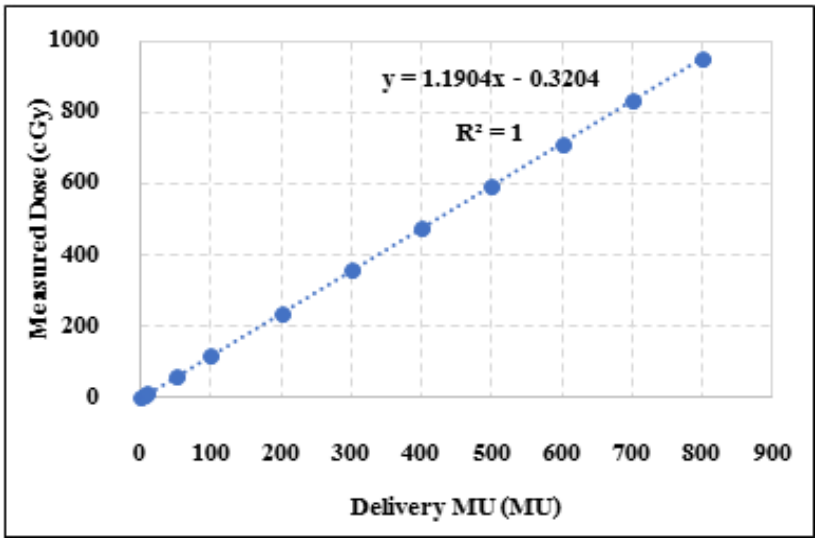


ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉายรังสีซ้ำ (minutes) กับค่าปริมาณรังสีสัมพัทธ์ที่ไดโอดนับวัดได้ (%)

ให้ (Delivery MU) กับปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดโดยไดโอด A และ B มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง มีค่า R-Squared (R2) เท่ากับ 1.0 ดังแสดงใน**ภาพที่ 4**

ผลการตอบสนองต่อขนาดของพื้นที่รังสี

การทดสอบการตอบสนองต่อขนาดของพื้นที่รังสี พบว่าปริมาณรังสีสัมพัทธ์ที่ไดโอด A และ B วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของพื้นที่รังสีเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Delivery MU (MU) กับปริมาณรังสีเฉลี่ยที่ไดโอด A และ B วัดได้ (cGy)

และให้ผลในลักษณะเดียวกันเมื่อทดสอบการตอบสนองนี้โดยใช้หัววัดประจุแตกตัวด้วยเงื่อนไขเดียวกับที่ใช้ทดสอบ ArcCHECK ดังแสดงใน **ภาพที่ 5**

ผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีที่ได้รับ

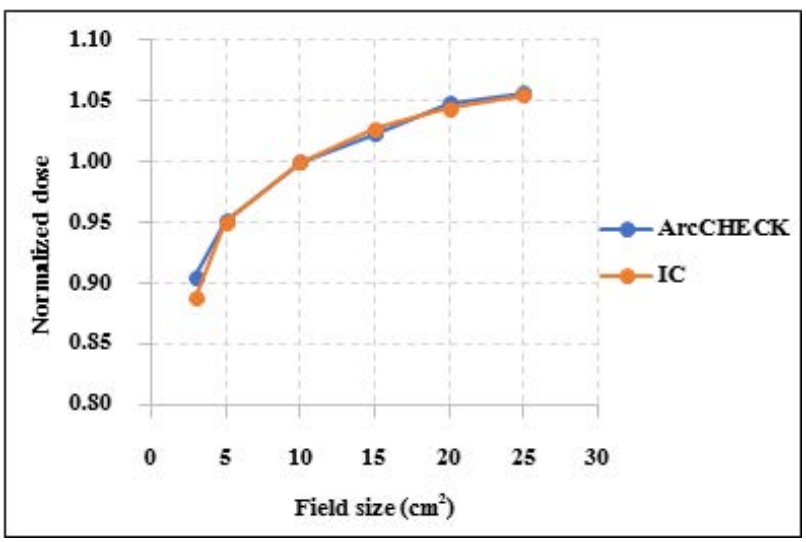
การทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีที่ได้รับ พบว่าปริมาณรังสีที่ไดโอด A และ B วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราปริมาณรังสีของรังสีที่ให้ ดังแสดงใน**ภาพที่ 6** โดยปริมาณรังสีที่วัดได้นี้เพิ่มขึ้นมากที่สุด 2.8% เมื่อนำผลที่ได้มาเทียบกับหัววัดประจุแตกตัวที่ถูกทดสอบด้วยเงื่อนไขเดียวกันพบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกัน แต่ปริมาณรังสีที่วัดโดยหัววัดประจุแตกตัวนี้เพิ่มมากที่สุด 0.7%

ผลการตอบสนองต่อทิศทางของลำรังสี

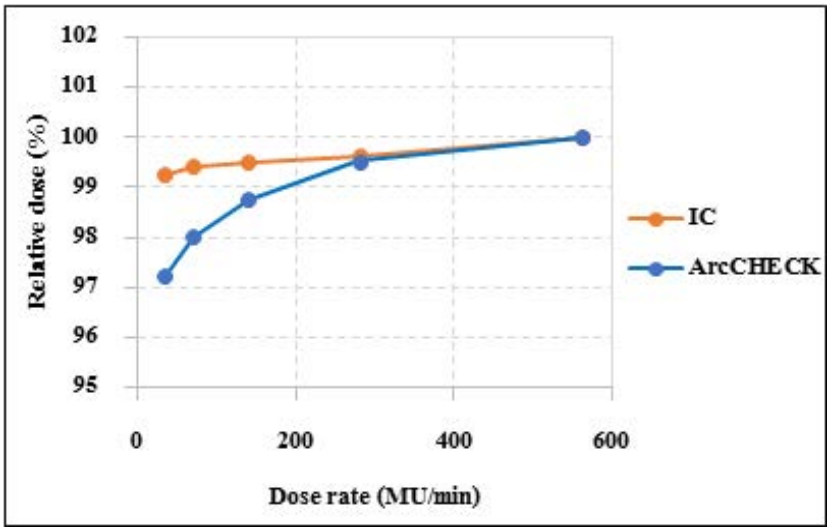
การทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางของลำรังสี นำปริมาณรังสีที่ไดโอด B วัดได้เทียบกับปริมาณรังสีจากการคำนวณเพื่อกำจัดผลของความลึกของไดโอดที่ต่างกันเนื่องจากมุมของแขนหมุน พบว่า เมื่อมุมของลำรังสีน้อยกว่า ±55° ค่าความแตกต่างของการตอบสนองต่อรังสีของไดโอด B จะมีค่าไม่เกิน 1% เมื่อเทียบกับที่มุม 0° และค่าความแตกต่างนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมของลำรังสีมากกว่า ±55° นอกจากนี้ยังพบว่าไดโอด B มีการตอบสนองต่อรังสีมากที่สุด (105.97%) ที่มุม -80° และมีการตอบสนองต่อรังสีน้อยที่สุด (98.49%) ที่มุม -130° ดังแสดงใน**ภาพที่ 7**

ผลการตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสี

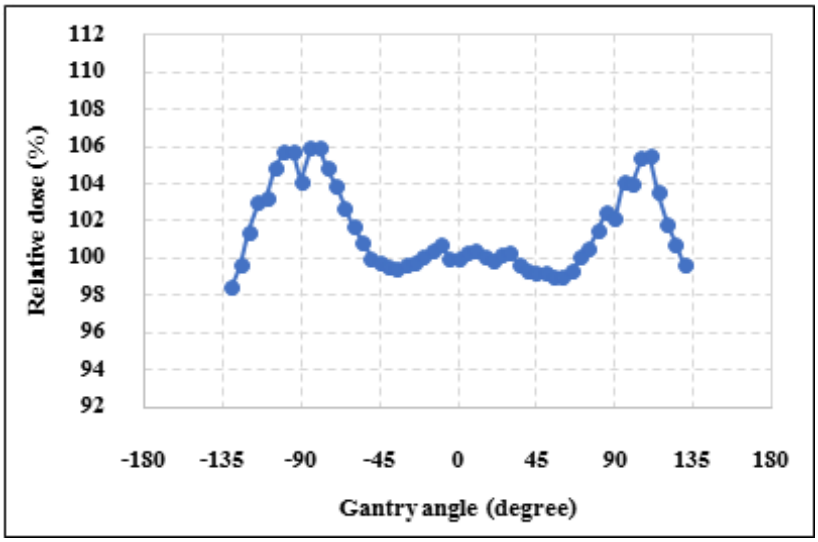
การทดสอบการตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสีของไดโอดตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่นอกพื้นที่รังสีเมื่อเปิดพื้นที่รังสีขนาด 3×3, 5×5, 10×10 และ 15×15 ตร.ซม. พบว่าปริมาณรังสี



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพื้นที่รังสี (cm^2) กับปริมาณรังสีสัมพัทธ์ (Normalized dose) ที่วัดโดยไดโอดและวัดโดยหัววัดประจุแตกตัว



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีที่ให้ (MU/min) กับปริมาณรังสีสัมพัทธ์ (%) ที่วัดโดยไดโอดและหัววัดประจุแตกตัว



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแขนหมุน(degree) กับปริมาณรังสีสัมพัทธ์ที่วัดโดยไดโอด B (%)

นอกพื้นที่รังสีจะลดลงเมื่อระยะห่างจากขอบพื้นที่รังสีมากขึ้นและให้ผลที่เหมือนกันกับหัววัดประจุแตกตัว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณรังสีนอกพื้นที่รังสีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงใน**ภาพที่ 8**

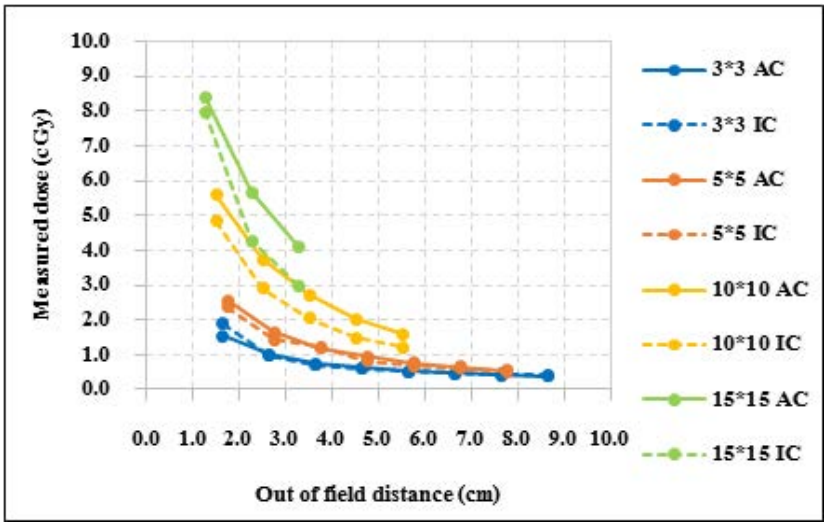
ผลการทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร

จากผลการศึกษาพบว่า อัตราผ่านค่าแกมมาของแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรทุกแผนมีค่ามากกว่า 90% โดยมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 92.3% สูงที่สุดเท่ากับ 99.6% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.74% นำอัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาคำนวณหาค่าขีดจำกัดความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 7.26 และค่าระดับเกณฑ์ดำเนินการได้เท่ากับ 92.74%

วิจารณ์ผลการทดลอง

หัววัดไดโอดของอุปกรณ์วัดรังสี Arc-CHECK มีการตอบสนองที่คงที่ต่อการวัดปริมาณรังสีซ้ำในระยะเวลาสั้น มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.05% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2], Thiyagarajan R. และคณะ[5], สรธัญ และคณะ[6] และเฉลิมชาติ และคณะ[7] ที่ได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของไดโอดในการตอบสนองต่อการวัดปริมาณรังสีซ้ำเท่ากับ 0.05%, 0.03%, 0.04% และ 0.02% ตามลำดับ

หัววัดไดโอดของอุปกรณ์วัดรังสี Arc-CHECK มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีเป็นแบบเชิงเส้น มีค่า R2 เท่ากับ 1.0 และไม่พบจุดอิ่มตัวต่อปริมาณรังสี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2] ที่ศึกษาเครื่องฉายรังสี Synergy, Elekta ได้ค่า R2 มากกว่า 0.99 งานวิจัยของ



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสี (cGy) กับระยะห่างจากขอบของพื้นที่รังสีขนาดต่างๆ ของหัววัดไดโอดและหัววัดประจุแตกตัว (cm)

Thiyagarajan R. และคณะ[5] ที่ศึกษาเครื่องฉายรังสี Clinac iX, Varian และสรธัญ และคณะ[6] ที่ศึกษาเครื่องฉายรังสี Primus, Siemens รายงานว่าค่า R^2 เท่ากับ 1.0 และงานวิจัยของเฉลิมชาติ และคณะ[7] ที่ศึกษาเครื่อง Tomotherapy Hi-Art รายงานค่า R^2 เท่ากับ 0.999

การตอบสนองต่อขนาดของพื้นที่รังสี พบว่าปริมาณรังสีที่หัววัดไดโอดวัดได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของรังสีกระเจิงที่มากขึ้น โดยมีความแตกต่างกับค่าที่วัดโดยหัววัดชนิดประจุแตกตัวอยู่ในช่วงไม่เกิน 2.0% ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2] และ Thiyagarajan R. และคณะ[5] ที่พบว่าความแตกต่างอยู่ในช่วงไม่เกิน 1.7% และ 1.6% ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างของหัววัดไดโอดและหัววัดชนิดประจุแตกตัวส่วนหนึ่งมาจากรูปทรงเลขาคณิตของแฟนทอมที่ต่างกันทำให้เกิดรังสีกระเจิงที่ต่างกัน ความแตกต่างของปริมาณรังสีเมื่อพื้นที่เปลี่ยนไปสอดคล้องกับงานวิจัยของสรธัญ และคณะ[6] ที่พบว่าปริมาณรังสีที่หัววัดไดโอดวัดได้เพิ่มขึ้นไม่เกิน 7% ในช่วงพื้นที่รังสี 5×5 ถึง 25×25 ตร.ซม. ในขณะที่งานวิจัยนี้พบว่าเพิ่มขึ้นไม่เกิน 6%

การตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสี พบว่าหัววัดไดโอดมีการตอบสนองมากขึ้นเมื่ออัตราปริมาณรังสีที่ให้สูงขึ้น โดยการตอบสนองเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.8% และให้ผลในลักษณะเดียวกันกับหัววัดรังสีชนิดประจุแตกตัว ที่พบว่าการตอบสนองเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.7% ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2] ที่รายงานว่าการตอบสนองของ ArcCHECK เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 1.8% เมื่อฉายรังสีด้วยอัตราปริมาณรังสีในช่วง 29 ถึง 473 MU/min ในขณะที่หัววัดรังสีชนิดประจุแตกตัวมีการตอบสนองเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.6% และงานวิจัยของ Thiyagarajan R. และคณะ[5] ที่รายงานว่าการตอบสนองของหัววัดไดโอดที่อัตราปริมาณรังสีต่ำจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอัตราปริมาณรังสี 300 MU/min และจะให้ผลในทางตรงข้ามเมื่อให้อัตราปริมาณรังสีสูงกว่า 300 MU/min

การตอบสนองต่อทิศทางของลำรังสี พบว่าหัววัดไดโอดมีการตอบสนองคงที่ระหว่างมุม -55° ถึงมุม 55° โดยมีค่าความแตกต่างไม่เกิน 1% และพบว่าการตอบสนองมีความแปรปรวนอย่างมากเมื่อทิศทางลำรังสีทำมุมมากกว่า 55° โดยการตอบสนองมากสุดไม่เกิน 6.0% ในช่วงมุม -80° ถึง -100° และการตอบสนองน้อยสุดเป็น -1.51% เมื่อลำรังสีทำมุม -130° กับหัววัดไดโอด และการตอบสนองมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมของลำรังสีมากกว่า ±130° หรือเมื่อฉายรังสีจากด้านหลังของหัววัดไดโอด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2] ที่ศึกษาการตอบสนองต่อทิศทางรังสีของ ArcCHECK ในช่วง -180° ถึง 180° พบว่าหัววัดไดโอดมีการตอบสนองคงที่ในช่วง ±60° โดยมีความแปรปรวนน้อยกว่า 1% และมีการตอบสนองมากที่สุด 9.1% ที่มุม 105° และน้อยที่สุด -4.9% ที่มุม 180° ทั้งนี้เป็นผลมาจากการออกแบบหัววัดไดโอดที่ไม่เป็น isotropic (non-isotropic) ของบริเวณปลอดพาหะของไดโอด, การเกิด backscatter รวมถึงความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่ที่เป็นอากาศของไดโอดแต่ละตัวใน ArcCHECK ที่มีส่วนทำให้การ

ตอบสนองของหัววัดไดโอดเป็นแบบ non-isotropic หรือขึ้นกับทิศทางของลำรังสี[8] แต่การตอบสนองต่อทิศทางลำรังสีนี้มีผลน้อยมากต่อการวัดปริมาณรังสีของหัววัดไดโอด เนื่องจากขนาดความกว้างของพื้นที่รังสี (ตามแนวแกน X ของ ArcCHECK) ที่แคบในเทคนิครังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร จึงทำให้อนุมาณได้ว่าพื้นผิวของ ArcCHECK ยังคงตั้งฉากกับทิศทางรังสีอยู่เสมอทุกมุมของแขนหมุน ซึ่งยืนยันได้ด้วยผลการทดลองของ Li G. ที่ได้ทดสอบพื้นที่รังสีรูปสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ แล้วพบว่าปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดสอดคล้องกับการคำนวณเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดเล็ก โดยมีอัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยเท่ากับ 94.6% และเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดใหญ่กว่า 20 ซม. โดยเฉพาะเมื่อใหญ่กว่าอุปกรณ์ซึ่งครอบคลุมหัววัดไดโอดทุกตัว พบว่าอัตราผ่านค่าแกมมามีค่าลดลง และลดลงถึง 64.9% ที่ขนาดพื้นที่รังสี 24 ซม. ทั้งนี้เป็นผลจากทิศทางของลำรังสี และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Feygelman V. และคณะ[9] ที่พบว่าการตอบสนองของหัววัดไดโอดมีความแตกต่างมากที่สุดถึง 7% เมื่อเทียบกับการคำนวณที่พื้นที่รังสีขนาด 25×25 ตร.ซม. ในขณะที่หัววัดชนิดประจุแตกตัวมีความแตกต่างไม่เกิน 1.3% และความแตกต่างนี้จะลดลงเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดเล็กลง และพบว่าความแตกต่างนี้มีค่าไม่เกิน 1% เมื่อความกว้างของพื้นที่รังสีเล็กกว่า 15 ซม. สำหรับหัววัดไดโอดและหัววัดรังสีชนิดประจุแตกตัว

การตอบสนองต่อปริมาณรังสีกระเจิงนอกพื้นที่รังสี พบว่าปริมาณรังสีที่หัววัดไดโอดวัดได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อพื้นที่รังสีมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณรังสีกระเจิงที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะไกลออกไปจากขอบพื้นที่รังสี ปริมาณรังสีที่หัววัดไดโอดวัดได้มีค่าลดลงแบบ Exponential ดังแสดงในภาพที่ 8 และเมื่อเทียบกับหัววัดประจุแตกตัวพบว่ามีค่าความแตกต่างเฉลี่ยเป็น -0.08%, 0.17%, 0.98% และ 1.39% สำหรับพื้นที่รังสี 3×3, 5×5, 10×10 และ 15×15 ตร.ซม. ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหัววัดไดโอดมีการตอบสนองที่ต่ำต่อปริมาณรังสีกระเจิง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2] ที่รายงานค่าความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างหัววัดไดโอดกับหัววัดประจุแตกตัวเท่ากับ -0.09%, 0.40% และ 0.88% สำหรับพื้นที่รังสี 5×5, 10×10 และ 15×15 ตร.ซม. ตามลำดับ

เมื่อนำอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK ที่ผ่านการประเมินคุณสมบัติเชิงรังสีคณิตไปทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร พบว่าที่เกณฑ์ค่าดัชนีแกมมา 3%/3mm ได้อัตราผ่านค่าแกมมาต่ำสุดเท่ากับ 92.3% สูงสุดเท่ากับ 99.6% และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.74%±2.04% ซึ่ง AAPM Task Group 119 แนะนำให้แผนรังสีปรับความเข้มควรมีเกณฑ์อัตราผ่านค่าแกมมามากกว่าร้อยละ 90[4] เมื่อพิจารณาอัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยแยกแต่ละโรคพบว่าในโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก [97.5%±1.92%) มีอัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยที่สูงกว่าในโรคมะเร็งหลังโพรงจมูก [96.0%±1.93%) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากงานวิจัยของ Aristophanous M. และคณะ[10] ที่ศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการผ่านเกณฑ์ค่าแกมมาที่ 90% เขาพบว่าอัตราผ่านค่าแกมมามีความสัมพันธ์กับขนาดความกว้างของ

maximum Y jaw โดยพบว่าขนาดของ Y jaw ที่ใหญ่ส่งผลให้อัตราผ่านค่าแกมมามีค่าลดลง ในแผนรังสีรักษาที่การทวนสอบไม่ผ่านเกณฑ์ค่าแกมมา 90% มีขนาดความกว้างเฉลี่ยของ Y jaw มากกว่าแผนรังสีรักษาที่ผ่านเกณฑ์ค่าแกมมา 90% ถึง 2 เท่า ในงานวิจัยนี้มีขนาดความกว้างเฉลี่ยของ Y jaw ในแผนการทวนสอบโรคมะเร็งต่อมลูกหมากและโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกเท่ากับ 14.9 และ 22.9 ซม. ตามลำดับ

ตารางที่ 1 อัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของงานวิจัยต่างๆ

Research	ศึกษาใน		Average Gamma Passing Rate (%)	SD
	เทคนิค	เครื่องฉายรังสี		
Li G. และคณะ (2012)	VMAT	Synergy, Elekta	95.94	1.54
Jin X. (2014)	VMAT	Synergy, Elekta	97.11	1.54
Thiyagarajan R. และคณะ (2015)	VMAT	Clinac iX, Varian	98.53	1.51
สรธัญ และคณะ (2017)	sIMRT	Primus, Siemens	97.40	1.34
เฉลิมชาติ และคณะ (2017)	HT	TomoHD, Accuray	98.70	1.76
งานวิจัยนี้	VMAT	Synergy, Elekta	96.74	2.04

จากตารางที่ 1 พิจารณาอัตราผ่านค่าแกมมาพบว่าในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Li G. และคณะ[2] และงานวิจัยของ Jin X. และคณะ[11] โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value > 0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Thiyagarajan R. และคณะ[5] ที่ทำการศึกษาในเครื่องฉายรังสี Clinac iX, Varian เมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ งานวิจัยของ Thiyagarajan R. มีอัตราผ่านค่าแกมมาสูงกว่า เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Utitsarn K. และคณะ (97.04%)[12] และ Laojunun P. และคณะ (97.6%)[13] ที่ศึกษาในเครื่องฉายรังสีรุ่น Clinac iX, Varian แต่งานวิจัยดังกล่าวศึกษาในกลุ่มโรคที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้

เมื่อเปรียบเทียบอัตราผ่านค่าแกมมากับงานวิจัยของสรธัญ และคณะ[6] และเฉลิมชาติ และคณะ[7] ที่เคยศึกษาอุปกรณ์วัดรังสี ArcCHECK นี้ในเทคนิครังสีปรับความเข้มแบบแขนหมุนหยุดนิ่งและเทคนิครังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนตามลำดับ พบว่าอัตราผ่านค่าแกมมาจากงานวิจัยของสรธัญมีค่าสูงกว่างานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li G. ที่พบว่าอัตราผ่านค่าแกมมาของเทคนิค sIMRT มีค่าสูงกว่าเทคนิค VMAT แต่ตรงข้ามกับผลงานวิจัยของ Aristophanous M. ที่พบว่า

เทคนิค sIMRT มีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนแผนทวนสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ค่าแกมมา 90% มากกว่าเทคนิค VMAT ถึง 2 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ P.Laojunun ที่ได้อัตราผ่านค่าแกมมาสำหรับเทคนิค IMRT (92.7) ต่ำกว่าในเทคนิค VMAT (97.6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่งานวิจัยของสรธัญและงานวิจัยนี้ศึกษาในกลุ่มโรคที่ต่างกัน ส่วนงานวิจัยของเฉลิมชาติที่ศึกษาในกลุ่มโรคเดียวกับงานวิจัยนี้ พบว่ามีอัตราผ่านค่าแกมมาที่สูงกว่างานวิจัยนี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลมาจากแผนรังสีรักษาเทคนิครังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุนนั้นขนาดของพื้นที่รังสี (Field width) จะถูกจำกัดให้มีขนาดไม่เกิน 5.02 ซม. (2.50 และ 5.02 ซม.) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดความกว้างเฉลี่ยของพื้นที่รังสีของงานวิจัยนี้ เมื่อนำอัตราผ่านค่าแกมมาของงานวิจัยนี้มาหาค่าระดับเกณฑ์ดำเนินการสำหรับหน่วยงาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 92.74%

สรุปผล

การวิจัยนี้พบว่าอุปกรณ์วัดรังสีรุ่น Arc-CHECK มีคุณลักษณะเชิงรังสีคณิตที่ดี มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ทวนสอบแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตร ผลการหาค่าอัตราผ่านแกมมาของแผนรังสีปรับความเข้มเชิงปริมาตรในผู้ป่วยโรคมะเร็งหลังโพรงจมูกและมะเร็งต่อมลูกหมาก ได้อัตราผ่านค่าแกมมาเฉลี่ยเท่ากับ 96.74% และค่าระดับเกณฑ์ดำเนินการของหน่วยงานเท่ากับ 92.74%

เอกสารอ้างอิง

1. Teoh M, Clark C H, Wood K, Whitaker S, Nisbet A. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice. BJR 2011; 84:967–96.
2. Li G, Zhang Y, Jiang X, Bai S, Peng G, Wu K, et al. Evaluation of the ArcCHECK QA system for IMRT and VMAT verification. Physica Medica 2013; 29:295-303.
3. Van Dyk J, Barnett R B, Cygler J E, Shragge P C. Commissioning and Quality Assurance of Treatment Planning Computers. International Int J Radiat Oncol Biol Phys 1993; 26: 261-73.
4. Ezzell G A, Burmeister J W, Dogan N, LoSasso T J, Mechalakos J G, Mihailidis D, et al. IMRT commissioning: multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. Med Phys 2009; 36:5359-72.
5. Thiyagarajan R, Nambiraj A, Sinha S N, Yadav G, Kumar A, Subramani V, et al. Analyzing the performance of ArcCHECK diode array detector

for VMAT plan. Rep Pract Oncol Radiother 2016; 21:50-6.

6. สรธัญ ชาญจระเข้, สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์, พิชญาภรณ์ กลั่นกลิ่น. คุณลักษณะเชิงรังสีคณิตและอัตราผ่านค่าแกมมาของหัววัดรังสีรุ่นอาร์คเช็คสำหรับการทวนสอบแผนรังสีรักษาเทคนิครังสีปรับความเข้มแบบแขนหมุนอยู่นิ่ง. วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2560;50:300-6.
7. เฉลิมชาติ บุญส่ง, อิ่มใจ ชิตาพนารักษ์, สมศักดิ์ วรรณวิไลรัตน์. คุณลักษณะเชิงรังสีคณิตและอัตราผ่านค่าแกมมาของหัววัดรังสีรุ่นอาร์คเช็คสำหรับการทวนสอบการฉายรังสีตัดขวางแบบเกลียวหมุน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2560.
8. Yan G, Lu B, Kozelka J, Liu C, Li JG. Calibration of a novel four-dimensional diode array. Med Phys 2010;37:108-15.
9. Feygelman V, Zhang G, Stevens C, Nelms BE. Evaluation of a new VMAT QA device, or the "X" and "O" array geometries. J Appl Clin Med Phys 2011;12:146-68.
10. Aristophanous M, Suh Y, Chi PC, Whittlesey LJ, LaNeave S, Martel MK. Initial clinical experience with Arc-CHECK for IMRT/VMAT QA. J of Appl Clin Med Phys 2016;17:20-33.
11. Jin X, Yan H, Han C, Zhou Y, Yi J, Xie C. Correlation between gamma index passing rate and clinical dosimetric difference for pre-treatment 2D and 3D volumetric modulated arc therapy dosimetric verification. Br J Radiol 2014;88.
12. Utitsarn K, Suriyapee S, Oonsiri S, Oonsiri P. Dosimetric verification using 2D planar diode arrays and 3D cylindrical diode arrays in IMRT and VMAT. In: Anchali Krisanachinda editor. 6th Annual Scientific Meeting; 2012 Feb 23-26; Phitsanulok, Thailand. Phitsanulok: Naresuan University; 2012:69-71.
13. Laojunun P, Iampongpaiboon P, Kakanaporn C, Tuntipumiamorn L, Chansilpa Y. Evaluation of planar and cylindrical diode arrays for IMRT and VMAT plan verification. In: Anchali Krisanachinda editor. 6th Annual Scientific Meeting; 2012 Feb 23-26; Phitsanulok, Thailand. Phitsanulok: Naresuan University; 2012:73-76.