



การเปรียบเทียบการทวนสอบแผนการรักษาผู้ป่วยในเทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้มเชิงปริมาตรด้วย Portal Dosimetry System (PDs) และ ArcCHECK Phantom ด้วยเครื่องฉายรังสีชนิดอุโมงค์หมุน HALCYON

ชัยสิทธิ์ สนิทกลาง

กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา

Comparison of Portal Dosimetry System (PDs) and ArcCHECK Phantom by HALCYON of Patient Treatment Plans in Radiation Techniques VMAT QA Systems

Chaiyasit Sanitklang

Department of Radiology, Maharat Nakhon Ratchasima Hospital, Thailand

Received: 3 August 2023 /Review: 11 August 2023/ Revised:16 November 2023 /

Accepted: 17 November 2023

บทคัดย่อ

หลักการและวัตถุประสงค์: เทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้มเชิงปริมาตร (volumetric modulated arc therapy; VMAT) มีการกระจายตัวของปริมาณรังสีซับซ้อน จึงควรตรวจสอบปริมาณรังสีก่อนเริ่มรักษา การทวนสอบแผนการรักษา ถือเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อมั่นใจได้ว่ารังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ถูกต้องตามแผนการรักษา จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการทวนสอบแผนการรักษาด้วย portal dosimetry system (PDs) และ ArcCHECK phantom สำหรับเครื่องฉายรังสีชนิดอุโมงค์หมุน HALCYON

วิธีการศึกษา: นำแผนการรักษา VMAT ผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอของโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ระหว่างเดือนตุลาคม 2564 ถึงมีนาคม 2565 ทั้งหมด 77 แผน โดยฉายรังสีด้วยเครื่อง HALCYON ลงบนอุปกรณ์รับภาพอิเล็กทรอนิกส์ (electronic portal imaging devices; EPIDs) และ ArcCHECK ทำการเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดค่ารังสีในแนวระนาบเมทริกซ์วิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ gamma ที่ 3%/3, 3%/2 และ 2%/2 มิลลิเมตร

ผลการศึกษา: การทวนสอบแผนการรักษา PDs และ ArcCHECK ทุกเกณฑ์ gamma แบ่งเป็น 3%/3, 3%/2 และ 2%/2 มิลลิเมตร เท่ากับ 99.90.1% (PDs) 97.24.9% (ArcCHECK), 99.70.3% (PDs) 94.6 7.4% (ArcCHECK), และ 98.9 1% (PDs) 90.9 9.6% (ArcCHECK) ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อจำแนกตามจำนวน arcs และ isocenter พบว่าส่วนใหญ่สามารถผ่านเกณฑ์ได้ทั้ง 2 ระบบ อย่างไรก็ตามแผนการรักษา VMAT รูปแบบ 3arcs 1isocenter สำหรับ ArcCHECK พบว่ามี gamma passing rate ต่ำกว่าเกณฑ์เล็กน้อย

สรุป: ระบบทวนสอบทั้ง 2 ระบบ เมื่อทวนสอบแผนการรักษาด้วยเครื่องฉายรังสี HALCYON โดยรวมสามารถผ่านเกณฑ์ gamma ได้ โดย PDs ผ่านเกณฑ์ได้ดีกว่า ArcCHECK

คำสำคัญ: การทวนสอบแผนการรักษา, การฉายรังสีแบบปรับความเข้มเชิงปริมาตร, เครื่องฉายรังสี HALCYON

*Corresponding author: Chaiyasit Sanitklang, E-mail: noomradiation@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Volumetric modulated arc therapy (VMAT) is a complex radiation technique. Therefore, the radiation dose should be checked before starting treatment. Verification of the treatment plan is an important step for validation. to ensure that the radiation received by the patient is according to the treatment plan. Therefore, a comparative study was conducted on the verification of VMAT treatment plans by HALCYON using the portal dosimetry system (PDs) and the ArcCHECK radiation measuring instrument.

Methods: The VMAT treatment plan for head and neck cancer patients of Maharat Nakhon Ratchasima Hospital during October 2021 to March 2022 (n = 77) were irradiated with HALCYON onto electronic portal imaging devices (EPIDs) and ArcCHECK compared the radiation dose from the planar radiation measurement with the radiation dose from the treatment plan. Analyzed by gamma criteria at 3%/3 mm, 3%/2 mm and 2%/2 mm

Results: Verification of PDs and ArcCHECK treatment plans, all gamma criteria divided into 3%/3 mm., 3%/2 mm., and 2%/2 mm. equal to $99.9 \pm 0.1\%$ (PDs) $97.2 \pm 4.9\%$ (ArcCHECK), $99.7 \pm 0.3\%$ (PDs) $94.6 \pm 7.4\%$ (ArcCHECK), and $98.9 \pm 1\%$ (PDs) $90.9 \pm 9.6\%$ (ArcCHECK), respectively, with a statistically significant difference ($p < 0.05$) and when classified according to the number of arcs and isocenters, it was found that most were able to pass the criteria for both systems. However, the VMAT treatment plan, 3arcs 1isocenter format for ArcCHECK, found that the gamma passing rate was slightly lower than the criteria.

Conclusion: Both treatment plan verification systems, when verifying the overall varian HALCYON machine radiation treatment plan, passed the gamma criteria, with PDs passing the criteria better than ArcCHECK.

Keywords: treatment plan verification system, VMAT, HALCYON

บทนำ

เครื่องเร่งอนุภาคชนิดซินโครตรอน หรือ HALCYON สามารถฉายรังสีให้แก่ผู้ป่วยมะเร็งด้วยเทคนิคพิเศษ volumetric modulated arc therapy (VMAT) ซึ่งเป็นเทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้มของลำรังสีพร้อมกับลำรังสีเคลื่อนที่หรือหมุนในลักษณะ dynamic dose rate, การหมุนของ collimator และการหมุนของ gantry สามารถควบคุมปริมาณรังสีแก่รอยโรคตามรูปร่างของก้อนมะเร็งและช่วยลดปริมาณรังสีที่เนื้อเยื่อปกติรอบๆ ก้อนมะเร็ง ทำให้ผลข้างเคียงจากการฉายรังสีลดลง¹ เนื่องจากปริมาณรังสีมีการกระจายตัวที่ซับซ้อน จึงควรมีการตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณรังสีก่อนเริ่มรักษา เพื่อประกันคุณภาพสำหรับการวางแผนการรักษา การทวนสอบแผนการรักษา ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้แน่ใจว่ารังสีที่ผู้ป่วยมีการกระจายตัวตามการวางแผนการรักษา รวมถึงตรวจสอบข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากระบบ ซึ่งส่งผลข้างเคียงต่างๆ แก่ผู้ป่วยได้² การทวนสอบแผนการรักษา มีหลายระบบ โดยระบบ dosimetry สำหรับการทวนสอบแผนการรักษา VMAT ที่ได้รับความนิยมมี 2 ระบบได้แก่ portal dosimetry system (PDs) และ ArcCHECK phantom ซึ่งหน่วยรังสีรักษา กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาสารคามราชสีมามีอุปกรณ์ดังกล่าวในการตรวจสอบ อย่างไรก็ตามการทวนสอบแผนการรักษาทั้ง 2 ระบบสำหรับเครื่องฉายรังสี HALCYON ยังมีข้อมูลไม่มาก เนื่องจากเครื่องฉายรังสีดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นมาไม่นานนักสำหรับ ArcCHECK เป็นอุปกรณ์ QA ที่มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ลักษณะเป็น 3D cylindrical detector ประกอบไปด้วย 1386 silicon diode detectors ซึ่งถูกฝังอยู่บริเวณพื้นผิวบน cylindrical เส้นผ่าศูนย์กลาง 21 เซนติเมตร และ array มีความยาว 21 เซนติเมตร นอกจากนี้มี detector ขนาด 2.85 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ภายในอุปกรณ์โดยมีระยะห่างกัน 1 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการนับวัดในแนว transverse ได้ละเอียดเนื่องจาก phantom เป็นทรงกระบอกมี diodes ครอบคลุมตลอดแนวทั้ง phantom ดังนั้นจะมีความละเอียดในการตรวจจับสนิทได้ดี อย่างไรก็ตามต้องมีการเตรียมอุปกรณ์ในหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็น phantom สายไฟ สาย lan คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทำให้เกิดความไม่สะดวกและใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการทำ QA แต่ละครั้ง ส่วน PDs เป็นระบบรับภาพด้วย varian portal vision วิเคราะห์ด้วย portal dosimetry (version 16) ภาพดังกล่าวได้จาก amorphous silicon electronic portal imaging devices model aS1000 ซึ่งใช้ระยะแบบคงที่ source detector distance (SDD) เท่ากับ 105 เซนติเมตร สัมพันธ์กับการหมุนของ gantry และ EPID มีขนาดพื้นผิวการตรวจจับสนิท 40×30 ตารางเซนติเมตร พื้นที่ใช้งาน 1,024 × 768 pixel (ความละเอียด 0.39 มิลลิเมตร) โดยค่านับวัดถูกเก็บเป็นข้อมูล

ไว้ในส่วนตัวรับภาพของ HALCYON² อย่างไรก็ตาม PDs นับวัดในแนวระนาบ ทำให้เกิดความไม่มั่นใจว่าสามารถนำมาใช้กับเครื่องฉายรังสี HALCYON ได้หรือไม่ ถึงแม้ว่าจะไม่ต้องเตรียมอุปกรณ์ประกอบการนับวัดก็ตาม จึงนำมาสู่การศึกษาในครั้งนี้ โดยทำการเปรียบเทียบการทวนสอบแผนการรักษาด้วยระบบ PDs และ ArcCHECK มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบ และวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์ gamma passing rate⁴⁻⁷ หา dosimetry systems ที่เหมาะสม และสะดวกต่อการนำมาใช้งานเครื่องฉายรังสี HALCYON

วิธีการศึกษา

ศึกษาย้อนหลัง (retrospective study) แผนการฉายรังสีด้วยเทคนิคพิเศษ VMAT ของผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอทั้งหมด ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 ของโรงพยาบาลมหาสารคามราชสีมามีจำนวนทั้งสิ้น 77 แผน ช่วงอายุอยู่ระหว่าง 15 ถึง 75 ปี โดยคุณสมบัติและรูปแบบแผนการรักษาของผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอสำหรับศึกษาในครั้งนี้สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 1 ทั้งนี้ผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าวทำการฉายรังสีด้วยเครื่องฉายรังสีซินโครตรอน HALCYON serial no. 1509 โดยให้พลังงานการฉายรังสี 6 MV FFF photon ด้วย dose rate ในช่วง 800 MU/min สำหรับเครื่องวางแผนการรักษาเป็น eclipse treatment planning system version 16 (varian medical system, Palo Alto, CA) และ analytical anisotropic algorithm (AAA) โดยใช้ในการคำนวณ grid size 2.5 มิลลิเมตร ต่อการคำนวณแผนการรักษาผู้ป่วย ในส่วนแผนการรักษาศีรษะและลำคอ ระดับปริมาณรังสีสำหรับการวางแผนประกอบไปด้วย 2-3 ระดับ โดย 66-70 Gy (CTV ความเสี่ยงสูง), 59.4 Gy (CTV ความเสี่ยงปานกลาง) และ 54 Gy (CTV ความเสี่ยงต่ำ) และ 54 Gy ปริมาณรังสีต่อ fraction คือ 2-2.12 Gy นำกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบการทวนสอบแผนการรักษาด้วยระบบ PDs และ ArcCHECK ทำการศึกษาระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงกันยายน 2565 โครงการวิจัยได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน โรงพยาบาลมหาสารคามราชสีมา ตามใบรับรองเลขที่ 057/2022 ณ วันที่ 19 พฤษภาคม 2565

ตารางที่ 1 คุณสมบัติและรูปแบบแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอที่ใช้สำหรับทำการศึกษา

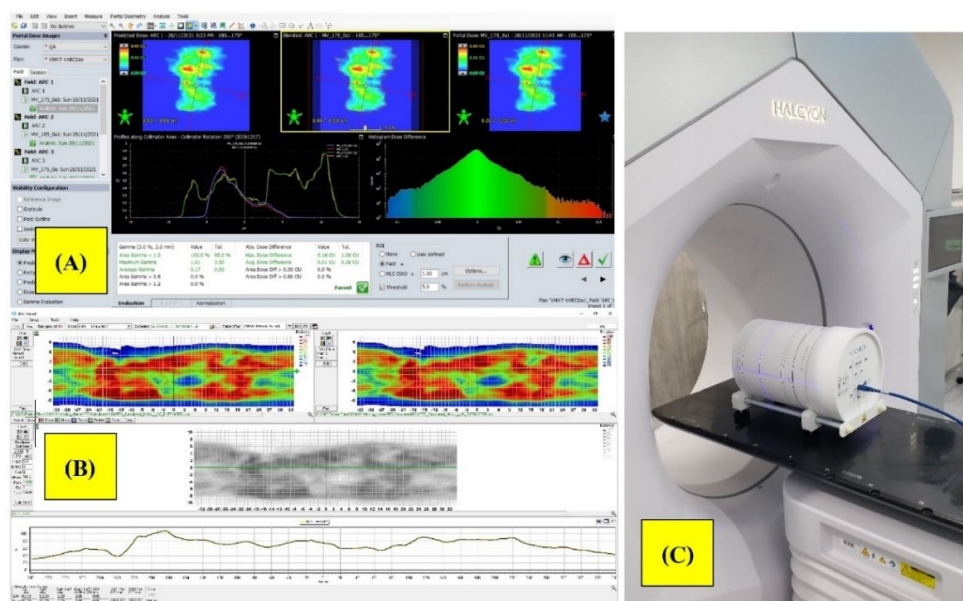
ลักษณะผู้ป่วยและแผน การรักษา	เพศ		รอบการหมุน (arcs)			แผนการรักษาตามจำนวน isocenter	
	ชาย	หญิง	2 arcs	3 arcs	4 arcs	1 isocenter	2 isocenter
จำนวนผู้ป่วย (ราย)	59	18	58	7	12	61	16

ขั้นตอนการดำเนินงาน ขั้นตอนที่ 1. สร้างแผนการรักษาสำหรับทำ QA เทคนิคพิเศษ VMAT ผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอ ซึ่งรักษาด้วยเครื่องฉายรังสีซินโครตรอน หรือ HALCYON เพื่อทวนสอบแผนการรักษาด้วยระบบ PDs และ ArcCHECK โดยระบบ PDs นับวัดปริมาณรังสีด้วยอุปกรณ์รับภาพอิเล็กทรอนิกส์ (EPIDs) ของเครื่องฉายรังสีซินโครตรอน หรือ HALCYON และระบบ ArcCHECK จัดเตรียมเครื่องมือรวมถึงวางตำแหน่งอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 (C) นับวัดปริมาณรังสีด้วย silicon diode detectors ซึ่งฝังอยู่บริเวณผิวบน cylindrical โดยทั้ง 2 ระบบจะถูกวัดค่ารังสีในแนวระนาบเมทริกซ์กับปริมาณรังสีที่คำนวณได้จากแผนการรักษา วิเคราะห์ด้วยค่าเกณฑ์ gamma passing rate มาตรฐานที่เกณฑ์ 3%/3 มิลลิเมตร, 3%/2 มิลลิเมตร และ 2%/2 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2. ประเมิน gamma passing rate โดยตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างทุกจุดนำมาปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน ซึ่งถือเป็นค่ากลางและจะนำมาใช้เป็นค่าเดียว ปกติแล้วมักใช้แผนการรักษาในบริเวณปริมาณรังสีสูง³ จากรูปที่ 1 (A และ B) แสดงการทวนสอบแผนการรักษาเทคนิคพิเศษ VMAT ใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ค่า absolute gamma ยอมรับ

ที่ 3%/3 มิลลิเมตร ที่ 95% ซึ่งถือเป็นระดับการยอมรับตามแนวทางของ AAPM TG119⁴ สำหรับ PDs และ ArcCHECK ส่วนเกณฑ์การยอมรับอยู่ที่ 3%/2 มิลลิเมตร ค่า threshold อยู่ที่ 95% ตามข้อเสนอแนะจาก AAPM No.218⁵ และค่าการยอมรับที่ 2%/2 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการผ่านเกณฑ์ 90% ตามคำแนะนำที่ได้มีรายงานการศึกษามาก่อนหน้า^{6,7} การวิเคราะห์เหล่านี้ใช้เกณฑ์ปริมาณรังสีที่ 10% ขึ้นไป ในทุกเครื่องมือซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรังสีที่ detectors สามารถนับวัดได้โดยไม่น้อยกว่า 10% ของปริมาณรังสีสูงสุด เพื่อลดผลกระทบจาก noise ในบริเวณที่มีปริมาณรังสีต่ำ ๆ⁴ ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการวัดด้วย PDs และ ArcCHECK ทำการตรวจสอบด้วย paired t-test ในทุกเกณฑ์การยอมรับ

ขั้นตอนที่ 3. ประเมินข้อมูลการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบระหว่าง PDs และ ArcCHECK แปรผันด้วยเกณฑ์ gamma passing rate แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและค่า SD ของเปอร์เซ็นต์อัตราการผ่านเกณฑ์ สำหรับเกณฑ์เกณฑ์ทั้งหมดของแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอ ทำการตรวจสอบด้วย paired t-test ในทุกเกณฑ์การยอมรับ โดยพิจารณาจากค่า p-value แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรม SPSS รุ่น 22.0 (ตารางที่ 2)



รูปที่ 1 การทวนสอบแผนการรักษาโดยการประเมินด้วย PDs (A) และ ArcCHECK (B), แสดงการจัดตำแหน่ง ArcCHECK phantom เพื่อฉายรังสีด้วยเครื่อง HALCYON (C)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการทวนสอบแผนการรักษาด้วยเกณฑ์ gamma passing rate ระหว่าง PDs และ ArcCHECK

Gamma passing rate	3%/3mm			3%/2mm			2%/2mm		
	PDs	ArcCHECK	p-value	PDs	ArcCHECK	p-value	PDs	ArcCHECK	p-value
	99.9	96.6	0.025	99.8	93.7	0.043	99.3	90	0.039

ผลการศึกษา

การเปรียบเทียบการทวนสอบแผนการรักษาระหว่าง PDs โดยวัดการกระจายรังสีในแนวระนาบจาก EPID วิเคราะห์เป็นร้อยละอัตราการผ่านแกมมาในทุกเกณฑ์ ส่วน ArcCHECK จะวัดการกระจายรังสีในทุกมุมองศาที่มีการหมุน ปรับเป็นแนวระนาบประเมินในลักษณะเป็น map check วิเคราะห์อัตรา การผ่านแกมมาเป็นร้อยละในทุกเกณฑ์การตรวจสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งทั้ง 2 ระบบพบมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้การทวนสอบแผน

การรักษาผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอ ด้วยระบบ PDs และ ArcCHECK สำหรับเครื่องฉายรังสีซินโครตรอนโมดูล HALCYON โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ค่า absolute gamma ยอมรับ ที่ 3%/3 mm, 3%/2 mm และ 2%/2 mm ที่ 95% จำแนก ตามจำนวน arcs และจำนวน isocenter คิดเป็นร้อยละ gamma passing rate $\pm$ SD โดยพบว่าส่วนใหญ่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงได้ ตามตารางที่ 3 และเมื่อนำ gamma passing rate ของ PDs และ ArcCHECK มาเปรียบเทียบ ระหว่างผลการศึกษาในครั้งนี้ และการศึกษาที่ผ่านมา สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ร้อยละ gamma passing rate สำหรับ PDs และ ArcCHECK เปรียบเทียบโดยจำแนกตามจำนวน arcs และจำนวน isocenter

No. arcs/isocenter	2arcs_1isocenter		p- value	3arcs_1isocenter		p- value	3arcs_2isocenter		p- value	4arcs_2isocenter		p- value
	PDs.	ArcC.		PDs.	ArcC.		PDs.	ArcC.		PDs.	ArcC.	
Gamma passing rate												
3%/3mm	99.9 $\pm 0.1\%$	97.5 $\pm 3.5\%$	<0.05	100% $\pm 2.9\%$	94.4 $\pm 2.9\%$	<0.05	99.9 $\pm 0.1\%$	99.0 $\pm 1.0\%$	0.156	99.9 $\pm 0.1\%$	95.6 $\pm 10.8\%$	<0.05
3%/2mm	99.7 $\pm 0.3\%$	94.9 $\pm 6.7\%$	<0.05	99.9 $\pm 0.1\%$	87.4 $\pm 4.9\%$	<0.05	99.9 $\pm 0.4\%$	99.0 $\pm 1.7\%$	0.184	99.8 $\pm 0.2\%$	93.6 $\pm 12.1\%$	<0.05
2%/2mm	98.8 $\pm 1.0\%$	91.2 $\pm 8.9\%$	<0.05	99.5 $\pm 0.2\%$	80.5 $\pm 3.7\%$	<0.05	99.7 $\pm 1.2\%$	98.0 $\pm 2.4\%$	<0.05	99.3 $\pm 0.4\%$	90.1 $\pm 14.6\%$	<0.05

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการผ่านแกมมา (gamma passing rate) ระหว่าง PDs และ ArcCHECK ในการศึกษาครั้งนี้ และ การศึกษาที่ผ่านมา

Dosimeter	ผู้ทำการศึกษา	3%/3 mm	3%/2 mm	2%/2 mm
PDs	การศึกษาครั้งนี้	99.9	99.7	98.9
	Utitsam และคณะ ⁸	97.9	95.6	76.4
	Huang และคณะ ¹²	96.3	-	97.1
	Mohamed และคณะ ¹³	97.7	-	94.7
	Bailey และคณะ ¹⁴	95.3	-	-
	Woon และคณะ ⁹	97.8	96.5	96.3
ArcCHECK	การศึกษาครั้งนี้	97.2	94.6	90.9
	Utitsam และคณะ ⁸	97.8	96.6	79.7
	Li และคณะ ¹⁰	98.2	-	89.6
	Thiyagarajan และคณะ ¹⁵	98.1	-	-
	Ahmed และคณะ ¹¹	-	98.4	94.2
	Woon และคณะ ⁹	97.8	96.5	96.3

วิจารณ์

ระบบการทวนสอบแผนการรักษา ไม่ว่าจะ เป็น PDs หรือ ArcCHECK โดยใช้เครื่องฉายรังสีชนิดอุโมงค์หมุน HALCYON ในการศึกษาครั้งนี้ สามารถผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ทุกเกณฑ์แถมมา อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มเกณฑ์การยอมรับที่มีความละเอียดขึ้น พบว่าแนวโน้มการทวนสอบแผนการรักษา ทั้ง 2 ระบบ มีเปอร์เซ็นต์ gamma passing rate ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Utitsarn และคณะ⁸ และการศึกษาที่ผ่านมาก่อนหน้า⁹⁻¹¹ ตามตารางที่ 4 โดยน่าจะเกิดจากปัจจัยในด้านคุณสมบัติของอุปกรณ์การตรวจวัดของทั้ง 2 ระบบ ทั้งนี้การทวนสอบด้วย PDs พบว่ามีแนวโน้มการผ่านเกณฑ์ในอัตราที่สูง แม้ว่าสามารถผ่านเกณฑ์ได้ในทุกเกณฑ์การตรวจสอบ แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มเกณฑ์ให้ละเอียดขึ้น นอกจากนี้ การกระจายของชุดข้อมูลที่ตรวจสอบได้ยังมีการกระจายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเกณฑ์ให้ละเอียดขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ gamma passing rate ในทุกเกณฑ์ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คาดว่าเกิดจากการที่ EPID ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง HALCYON โดย EPID จะมีความละเอียดในส่วนของ detector สำหรับนับวัดพลังงานรังสีสูงกว่า ArcCHECK และการที่ chambers ใน EPID อยู่ติดกันมาก ทำให้ EPID มีความไวสูงขึ้นกว่าเล็กน้อยในการตรวจวัด depth dose (DD) โดยเฉพาะบริเวณที่มีปริมาณรังสีสูง จึงน่าจะทำให้ เมื่อทวนสอบแผนการรักษาด้วยเทคนิคพิเศษ VMAT ในผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอ ด้วย PDs มีอัตราการผ่าน gamma อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าการทวนสอบด้วยระบบ ArcCHECK สำหรับปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ gamma passing rate อีกส่วน คือจำนวน PTV ของแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งศีรษะและลำคอ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนใหญ่เป็นแผนการรักษาที่มีความซับซ้อน เนื่องจากรอยโรคอาจมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ตามชนิดของโรค บริเวณที่เป็น และอวัยวะสำคัญข้างเคียง ส่วนใหญ่ประกอบด้วย PTV อย่างน้อยสุด 2 PTV ขึ้นไป ซึ่งทำให้แผนการรักษามีความซับซ้อน โดยความซับซ้อนของแผนการรักษาแสดงได้จากจุด gamma หลายจุด ตกลงโดยเฉพาะในบริเวณปริมาณรังสีสูง หรือขอบของลำรังสี ส่งผลให้อัตราการผ่าน gamma ลดลงได้ อย่างไรก็ตาม ArcCHECK มีประสิทธิภาพในเรื่องการตรวจวัดนับวัด gamma ที่สูงกว่าการตรวจวัดด้วย PDs สำหรับเกณฑ์ gamma ทั้งหมด การที่แผนการรักษามีขนาดหรือบริเวณกว้าง และ ArcCHECK มี diodes ที่บรรจุครอบคลุมในแนว transverse โดยตำแหน่ง diodes ในแต่ละด้านสามารถตรวจวัดลำรังสีที่มีการแบ่งการกระจายรังสีออกเป็นช่องที่เรียกว่า beamlet ตามแผนการรักษาด้วยเทคนิคพิเศษ VMAT ได้สูงกว่า ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดปริมาณรังสีได้ละเอียดกว่า การศึกษาครั้งนี้มีแผนการฉายรังสีด้วยเทคนิคพิเศษ VMAT ใช้การหมุนฉาย 2 arcs 1 isocenter, หมุนฉาย 3 arcs 1 isocenter, หมุนฉาย 3 arcs 2 isocenter และหมุนฉาย 4 arcs 2 isocenter การทวนสอบด้วย PDs พบว่าไม่จำเป็นจำนวน arcs หรือจำนวน isocenter ใดก็ตาม

สามารถผ่านเกณฑ์ gamma ได้ทั้งหมด โดยผ่านได้มากกว่า 95% ส่วนการทวนสอบด้วย ArcCHECK เมื่อใช้เกณฑ์ gamma passing rate 3%/3 mm และ 3%/2 mm สามารถผ่านเกณฑ์ที่ 95% สอดคล้องกับการศึกษาของ Ezzell และคณะ⁴ ในทุกจำนวน arcs และจำนวน isocenter ที่ทำการศึกษายกเว้นการหมุนฉาย 3 arcs 1 isocenter ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยการผ่านเกณฑ์ gamma ต่ำกว่า 95% อย่างไรก็ตามแม้ว่ารูปแบบการหมุนฉายดังกล่าวจะมีอัตราการผ่านเกณฑ์ gamma ต่ำกว่า 95% เมื่อวิเคราะห์ตามการศึกษาของ Templeton และคณะ¹⁶ สามารถให้ผ่านเกณฑ์ gamma ได้ 90% อีกทั้งค่าอัตราการผ่าน gamma ที่ได้ต่ำกว่า 95% ไม่มาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 94.4% จึงยังสามารถฉายรังสีในรูปแบบการหมุนฉายลักษณะดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามการหมุนฉายจำนวน arcs เพิ่มขึ้น โดยเกินกว่า 2 arcs ในตำแหน่งที่ใช้ isocenter เดียว อาจทำให้ปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้มีปริมาณมาก และการที่ ArcCHECK มี diodes ที่บรรจุครอบคลุมในแนว transverse โดยตำแหน่ง diodes ในแต่ละด้านสามารถตรวจจับลำรังสีที่มีการแบ่งการกระจายรังสีได้สูงกว่า ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดปริมาณรังสีได้ละเอียดกว่า ทำให้อัตราการผ่าน gamma ต่ำกว่าการแบ่งเป็น 2 isocenter แต่เมื่อเปรียบเทียบระบบทวนสอบทั้งสองระบบ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ อย่างไรก็ตามการทวนสอบทั้งสองระบบยังสามารถอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ทุกเกณฑ์ gamma จากการที่ระบบทวนสอบแผนการรักษาด้วย ArcCHECK ที่ต้องมีการเตรียมอุปกรณ์ในหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็น phantom สายไฟ สาย lan คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทำให้เกิดความไม่สะดวก และใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการทวนสอบแผนการรักษาแต่ละครั้ง ดังนั้นการทวนสอบแผนการรักษาด้วย PDs จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากลดขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ และสะดวกต่อการใช้งาน ลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ตรวจสอบ ส่งผลให้เครื่องฉายรังสีชนิดอุโมงค์หมุน HALCYON สามารถใช้งานฉายรังสีให้แก่ผู้ป่วยได้โดยไม่ต้องรอการทวนสอบแผนการรักษาที่นานเกินไป

สรุป

การทวนสอบแผนการรักษา VMAT ในเครื่องฉายรังสี HALCYON ด้วยระบบการตรวจวัดปริมาณรังสี PDs สามารถให้ร้อยละ gamma passing rate สูงกว่า ArcCHECK โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ อย่างไรก็ตามระบบการทวนสอบทั้งสองระบบสามารถผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ทุกเกณฑ์ gamma โดยจะแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด เมื่อใช้เกณฑ์การยอมรับที่มีความละเอียด ดังนั้นทั้งสองระบบสามารถนำมาทวนสอบแผนการรักษาได้ โดยในแผนการรักษา VMAT รูปแบบ 3arcs 1isocenter ควรพิจารณา และอยู่ในดุลพินิจของแพทย์ รวมถึงอาจทำการทวนสอบแผนการรักษาร่วมกันทั้งสองระบบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงานทุกท่าน จากหน่วยรังสีรักษา กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

1. Dursun P, Taskin ZC, Altinel K. The determination of optimal treatment plans for Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT). *Eur J Oper Res* 2019;272(1):372-88. doi: 10.1016/j.ejor.2018.06.023
2. Mijnheer B, Jomehzadeh A, González P, Olaciregui-Ruiz I, Rozendaal R, Shokrani P, et al. Error detection during VMAT delivery using EPID-based 3D transit dosimetry. *Phys Med* 2018;54:137-45. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.10.005
3. Yu L, Tang TL, Cassim N, Livingstone A, Cassidy D, Kairn T, et al. Analysis of dose comparison techniques for patient specific quality assurance in radiation therapy. *J Appl Clin Med Phys* 2019;20(11):189-98. doi: 10.1002/acm2.12726
4. Ezzell GA, Burmeister JW, Dogan N, LoSasso TJ, Mechalakos JG, Mihailidis D, et al. IMRT commissioning: multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. *Med Phys* 2009;36(11):5359-73. doi: 10.1118/1.3238104
5. Miften M, Olch A, Mihailidis D, Moran J, Pawlicki T, Molineu A, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement based verification QA: recommendations of AAPM Task Group No. 218. *Med Phys* 2018;45(4):e53-e83. doi: 10.1002/mp.12810
6. Vieillelveigne L, Molinier J, Brun T, Ferrand R. Gamma index comparison of three VMAT QA systems and evaluation of their sensitivity to delivery errors. *Med Phys* 2015;31(7):720-5. doi: 10.1016/j.ejmp.2015.05.016
7. Heilemann G, Poppe B, Laub W. On the sensitivity of common gamma index evaluation methods to MLC misalignments in Rapidarc quality assurance. *Med Phys* 2013;40(3):031702. doi: 10.1118/1.4789580
8. Utitsarn K, Watthanasarn T, Pimthong J, Krongkietlearts K, Pihusut C, Chaloechawalit W, et al. Comparison of two patient-specific VMAT QA systems: Portal Dosimetry versus ArcCHECK phantom. *Journal of Thai Association of Radiation Oncology* 2021;27(1):R54-R66.
9. Woon W, Ravindran PB, Ekayanake P, Lim YY, Khalid J. A study on the effect of detector resolution on gamma index passing rate for VMAT and IMRT QA. *J Appl Clin Med Phys* 2018;19(2):230-48. doi: 10.1002/acm2.12285
10. 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. *Phys Med* 2013;29(3):295-303. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.04.005
11. Ahmed S, Nelms B, Kozelka J, Zhang G, Moros E, Feygelman V. Validation of an improved helical diode array and dose reconstruction software using TG 244 datasets and stringent dose comparison criteria. *J Appl Clin Med Phys* 2016;17(6):163-78. doi: 10.1120/jacmp.v17i6.6414
12. Huang YC, Yeh CY, Yeh JH, Lo CJ, Tsai PF, Huang CH, et al. Clinical practice and evaluation of electronic portal imaging device for VMAT quality assurance. *Med Dosi* 2013;38(1):35-41. doi: 10.1016/j.meddos.2012.05.004
13. Mohamed IE, Ibrahim AG, Zidan HM, El-Bahkirlyd HS, El-sahragtid AY. Physical dosimetry of volumetric modulated arc therapy (VMAT) using EPID and 2D array for quality assurance. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* 2018;49:477-84. doi:10.1016/j.ejrnm.2018.02.003
14. Bailey DW, Kumaraswamy L, Bakhtiari M, Malhotra HK, Podgorsak MB. EPID dosimetry for pretreatment quality assurance with two commercial systems. *J Appl Clin Med Phys* 2012;13(4):3736. doi:10.1120/jacmp.v13i4.3736
15. Thiagarajan R, Nambiraj A, Sinha SN, 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(1): 50-6. doi: 10.1016/j.rpor.2015.10.004
16. Templeton AK, Chu JCH, Turian JV. The sensitivity of ArcCHECK-based gamma analysis to manufactured errors in helical tomotherapy radiation delivery. *J Appl Clin Med Phys* 2015;16(1):4814. doi: 10.1120/jacmp.v16i1.4814