



การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบการกระจายรังสีแบบ 3 มิติ ของแผนการฉายรังสีแบบ IMRT และ VMAT ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Mobius3D กับ Portal Dosimetry

อัฉรีย์ ศรีนุเคราะห์

กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาสารคามราชสิมา

Comparison of Mobius3D software and Portal Dosimetry for 3D dose verification of IMRT and VMAT plans

Adcharee Seenukroah

Department of Radiology, Maharat Nakhon Ratchasima Hospital, Thailand

Received: 28 June 2021 / Edit: 9 November 2021 / Accepted: 12 November 2021

หลักการและวัตถุประสงค์: โปรแกรม Mobius3D ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้ Log File เพื่อทำ QA (quality assurance) แผน IMRT (intensity modulated radiation therapy) และ VMAT (volumetric modulated radiation therapy) ข้อดี คือ ไม่ต้องวัดรังสี แต่ยังมีกรอภิปรายถึงความถูกต้อง จึงศึกษาเปรียบเทียบกับระบบวัดรังสี portal dosimetry (PD)

วิธีการศึกษา: แผน VMAT และ IMRT ทั้งหมด ของ 4 ส่วน ได้แก่ อุ้งเชิงกราน, สมอ, ทรวงอก และ ศีรษะและลำคอ จาก Eclipse (treatment planning system, TPS) ของโรงพยาบาลมหาสารคามราชสิมา ช่วงเดือนพฤษภาคม 2562 ถึง ธันวาคม 2563 แยกเป็น VMAT (n = 178), IMRT ปกติ (n = 8) และ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย (n = 16) ถูกศึกษาย้อนหลัง โดยทำ QA ซ้ำ ด้วยโปรแกรม Mobius3D เวอร์ชัน 2.1 แล้วต่อเนื่องด้วย PD ในเดือนมีนาคม 2564 จากนั้น 2 เดือน เลือก VMAT (6 MV) ที่ผล QA แตกต่างไม่เกิน 0.5% ศึกษาซ้ำ

ผลการศึกษา: แผน VMAT และ IMRT ปกติ มีสัดส่วนของอัตราผ่านของค่า Gamma ในเกณฑ์ยอมรับได้ $\geq 86\%$ ทั้งสองระบบ แต่ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย มีสัดส่วน $\leq 37.5\%$ จากโปรแกรม Mobius3D หลังจาก 2 เดือน ปริมาตรรังสีเพิ่มขึ้น แต่ผล QA ซ้ำ (n = 24) ด้วยโปรแกรม Mobius3D ไม่แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.01 ทั้งหมด)

สรุปผล: โปรแกรม Mobius3D เหมาะสมสำหรับ QA แผน VMAT และ IMRT ปกติ แต่ไม่ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสี และไม่ควรรู้ใช้กับ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย

คำสำคัญ: การฉายรังสีแบบปรับความเข้ม, การฉายรังสีแบบปรับความเข้มหมุนรอบตัวผู้ป่วย, โปรแกรม Mobius3D

Background and Objective: The log file-based Mobius3D software has been developed for quality assurance (QA) processes of intensity modulated radiation therapy (IMRT) and volumetric modulated radiation therapy (VMAT) plans without measurement. However, there is much debate regarding the accuracy of this software. This study aimed to verify the accuracy of Mobius3D software in comparison with the measurement-based portal dosimetry (PD) system.

Methods: All of VMAT and IMRT plans from 4 sites (pelvis, brain, chest and head and neck) of patients treated in Maharat Nakhon Ratchasima hospital during May 2019 to December 2020, planned with the Eclipse treatment planning system (TPS), were retrospectively studied. Those plans were categorized into VMAT (n = 178), ordinary IMRT (n = 8) and split large field IMRT (n = 16) and repeated QA processes by Mobius3D software version 2.1 and PD, consequently, in March 2021. The 6 MV VMAT plans with $\leq 0.5\%$ discrepancies were purposely selected and re-studied 2 months later.

Results: The proportions of accepted gamma passing rate of VMAT and ordinary IMRT plans were $\geq 86\%$ from both systems while of split large field IMRT plans were $\leq 37.5\%$ from Mobius3D software. Two months later, output increased, no statistically significant difference were observed for the repeated QA results (n = 24) of Mobius3D software (all with p>0.01).

Conclusion: The Mobius3D software is suitable for QA processes of VMAT and ordinary IMRT plans. However, this software can not detect output variation and is not recommended for split large field IMRT plan.

Keywords: intensity modulated radiation therapy, volumetric modulated radiation therapy, Mobius3D software

*Corresponding author: Adcharee Seenukroah, Email: adcharee_s@hotmail.com

บทนำ

การฉายรังสีแบบปรับความเข้ม (Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT) และ แบบปรับความเข้มหมุนรอบตัวผู้ป่วย (Volumetric Modulated Radiation Therapy, VMAT) มีความซับซ้อน และจำเพาะต่อผู้ป่วยแต่ละราย จึงจำเป็นต้องทำการประกันคุณภาพ (Quality Assurance, QA) ก่อนการรักษาจริง ระบบ QA แบบดั้งเดิมใช้วิธีการวัดรังสี ตัวอย่างเช่น Portal Dosimetry (PD) แต่ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาโปรแกรม Mobius3D (M3D) ที่ใช้ log file จากเครื่องเร่งอนุภาค (linear accelerator, LINAC) ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างการฉายรังสีมาคำนวณเป็นปริมาณรังสีภายในร่างกาย

โปรแกรม Mobius3D ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Mobius3D และ MobiusFX โดยส่วนแรกคือ Mobius3D ทำการคำนวณปริมาณรังสีแบบ 3 มิติซ้ำ ด้วยอัลกอริทึม CCCS (collapsed cone convolution superposition) โดยใช้ข้อมูลภาพ 3 มิติของผู้ป่วย และเทคนิคการฉายรังสี ผลที่ได้เรียกว่า plan check ส่วนที่สองคือ MobiusFX ซึ่งใช้ log file ที่ได้จากเครื่องเร่งอนุภาค ได้แก่ ตำแหน่งของ MLC (multileaf collimator), มุมของ Gantry สำหรับ IMRT หรือ ความเร็วของการหมุน Gantry สำหรับ VMAT และอัตราปริมาณรังสีในแต่ละช่วงเวลา 50 ms ในการคำนวณปริมาณรังสีแบบ 3 มิติซ้ำอีกครั้ง ผลที่ได้เรียกว่า QA check

การทำ QA ด้วยโปรแกรม Mobius3D มีข้อดี คือ ไม่ต้องมีการวัดรังสีตามวิธีการดั้งเดิม ทำให้ช่วยลดภาระงาน อย่างไรก็ตาม ยังมีความสงสัยถึงความถูกต้องว่าจะแทนที่วิธีการดั้งเดิมได้หรือไม่ Ju-Young Song และคณะ¹ ศึกษาแผน VMAT ของต่อมลูกหมาก (prostate gland), ศีรษะและลำคอ (head and neck, H&N) และทรวงอก (Chest) ส่วนละ 10 แผน และ Vazquez Quino และคณะ² ศึกษาในแผน VMAT ของส่วนต่าง ๆ 15 แผน พบว่า โปรแกรม Mobius3D มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถตรวจพบความเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีจากเครื่องเร่งอนุภาคได้ Childress และคณะ³ มีความเห็นขัดแย้งกันถึงการนำโปรแกรม Mobius3D มาใช้ทดแทนวิธีวัดรังสีแบบดั้งเดิม มีหลายงานวิจัยที่สนับสนุนว่าโปรแกรม Mobius3D เป็นเครื่องมือ QA ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ได้แก่ การศึกษาของ Clemente-Gutierrez และ Perez-Vara⁴ ที่ศึกษาในแผน VMAT ของ H&N, ทรวงอก และ ช่องท้อง (abdomen) ส่วนละ 2 แผน และ อังเชิงกราน (pelvis) 6 แผน, การศึกษาของ Fontenot⁵ ที่ศึกษาแผน VMAT ของต่อมลูกหมาก, ทรวงอก และ H&N ส่วนละ 10 แผน และ Majithia และคณะ⁶ ที่ศึกษาการกระจายรังสีแบบ 3 มิติในแฟนทอม (phantom) 4 รูปแบบ โดยแต่ละงานวิจัยได้ทำการวัดปริมาณรังสีที่คำนวณได้จากโปรแกรม Mobius3D เปรียบเทียบกับระบบวางแผนการรักษา (treatment planning system, TPS) แล้วพบว่า โปรแกรม Mobius3D คำนวณปริมาณรังสีได้ไม่มีความแตกต่างกับ TPS และระบบวัดรังสี อย่างไรก็ตาม Nelson และคณะ⁷ และ Galavis และคณะ⁸ ที่ศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรม Mobius3D กับวิธีการวัดรังสี แนะนำว่า ต้องมีการปรับค่า dosimetric leaf gap (DLG) ให้เหมาะสม มิฉะนั้น การ QA ด้วยโปรแกรม Mobius3D จะผิดพลาดได้

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์การใช้งานได้จริงของโปรแกรม Mobius3D นี้ เมื่อใช้กับกระบวนการ QA ของแผน IMRT และ VMAT เปรียบเทียบกับระบบ PD แบบดั้งเดิม และทดสอบความสามารถในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีจากเครื่องเร่งอนุภาคด้วย

วิธีการศึกษา

ศึกษาย้อนหลัง (retrospective study) แผน VMAT และ IMRT ทั้งหมดของผู้ป่วยที่มารับการฉายรังสีในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ช่วงเดือนพฤษภาคม 2562 ถึงธันวาคม 2563 ประกอบด้วย 4 ส่วนการรักษา ได้แก่ อังเชิงกราน, สมอ, ทรวงอก และ ศีรษะและลำคอ ซึ่งถูกวางแผนด้วย TPS Eclipse เวอร์ชัน 15.5 โดยใช้ อัลกอริทึม AAA (anisotropic analytical algorithm) เวอร์ชัน 15.5.12 และฉายรังสีด้วยเครื่องเร่งอนุภาครุ่น CLINAC iX (Varian) ศึกษาโดยทำ QA ทุกแผนซ้ำ ในเดือนมีนาคม 2564

ในการศึกษานี้ ลดการใส่ข้อมูลลำรังสีของเครื่องเร่งอนุภาคเข้าสู่โปรแกรม Mobius3D เวอร์ชัน 2.1 ให้น้อยที่สุด ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต และหาค่าแก้ DLG สำหรับ 6 MV และ 10 MV ได้เท่ากับ -0.369 และ -0.877 ตามลำดับ ทำการศึกษาโดยส่งแผนการฉายรังสีดั้งเดิมไปวิเคราะห์ด้วย Mobius3D จากนั้นฉายรังสีเสมือนจริง โดยไม่มีผู้ป่วย เพื่อวิเคราะห์ด้วย MobiusFX แล้วทำ QA ด้วย PD ต่อเนื่องกัน เปรียบเทียบผล QA จากโปรแกรม Mobius3D กับ PD โดยใช้เกณฑ์ความแตกต่างของปริมาณรังสี และ DTA (distance to agreement) เท่ากับ 3%, 3 mm

จากนั้น 2 เดือน เลือกแผน VMAT พลังงาน 6 MV ที่มีอัตราผ่าน (passing rate) ของค่า Gamma จากการ QA ด้วยทั้งสองระบบ แตกต่างกันไม่เกิน 0.5% ทำการศึกษาซ้ำ การเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณรังสีด้วยโปรแกรม Mobius3D กับ TPS รวมทั้งอัตราผ่านของค่า Gamma จากโปรแกรม Mobius3D กับ PD ถูกวิเคราะห์ โดยใช้ paired t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ผลการศึกษา

แผนการฉายรังสีที่ศึกษา ส่วนใหญ่ใช้ 6 MV แบ่งเป็น VMAT จำนวน 178 แผน, IMRT ขนาดปกติ จำนวน 8 แผน และ IMRT ขนาดใหญ่ (กว้างกว่า 14 cm) ที่ถูกแบ่งย่อยลำรังสี (split large field IMRT) จำนวน 16 แผน ผลของการคำนวณปริมาณรังสีแบบ 3 มิติในผู้ป่วยซ้ำ ด้วยโปรแกรม Mobius3D เปรียบเทียบกับ TPS Eclipse ถูกแสดงเป็นปริมาณรังสีเฉลี่ย (mean dose) และการครอบคลุมเป้าหมาย 90% (90% target coverage) และผลการทำ QA แผนการฉายรังสีด้วยโปรแกรม Mobius3D และระบบ PD ถูกแสดงเป็นอัตราผ่านของค่า Gamma ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (3%, 3 mm)

จากการศึกษา พบว่า ส่วนใหญ่โปรแกรม Mobius3D คำนวณปริมาณรังสีได้แตกต่างจาก TPS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น ปริมาณรังสีเฉลี่ยจาก QA check ของ IMRT ปกติ และ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย (p = 0.018 และ 0.012 ตามลำดับ) (ตารางที่ 1)

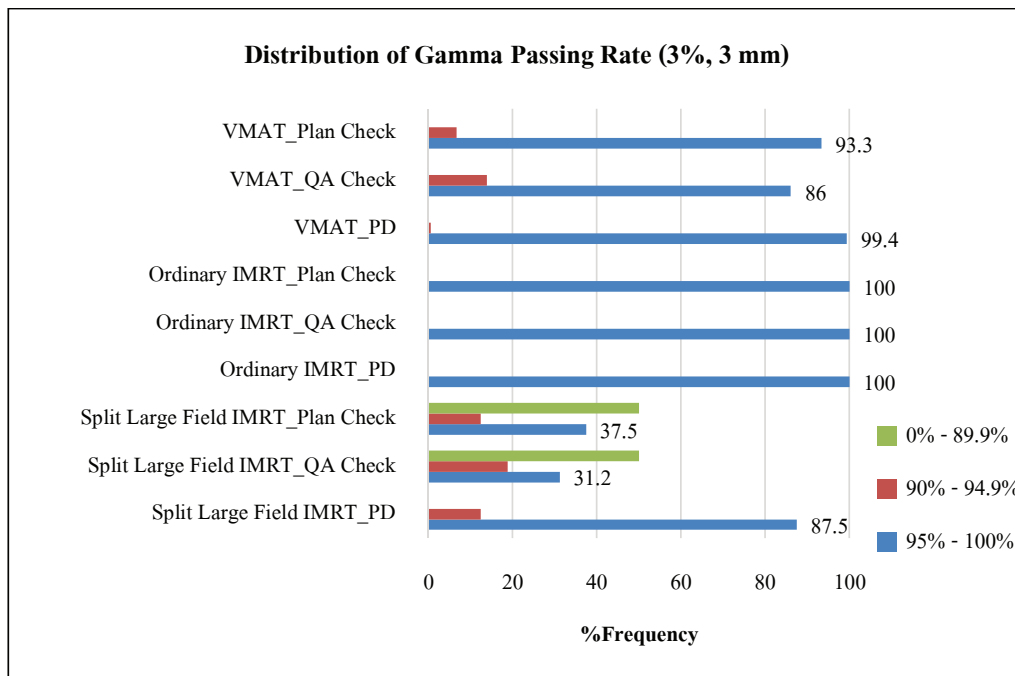
ตารางที่ 1 ผลการคำนวณปริมาณรังสีด้วยโปรแกรม Mobius3D เปรียบเทียบกับ TPS

Plans	Plan Check	QA Check	Plan Check vs TPS (p-values)	QA Check vs TPS (p-values)
VMAT (n = 178):				
%Diff. of Mean Dose	1.62 ± 0.74%	1.83 ± 0.76%	<0.001	<0.001
%Diff. of 90% Target Coverage	0.29 ± 1.21%	0.55 ± 1.22%	0.001	<0.001
Ordinary IMRT (n = 8):				
%Diff. of Mean Dose	-0.91 ± 0.40%	-0.59 ± 0.41%	0.003	0.018
%Diff. of 90% Target Coverage	-1.72 ± 0.56%	-1.28 ± 0.59%	0.001	0.003
Split Large field IMRT (n = 16):				
%Diff. of Mean Dose	-2.18 ± 2.24%	-1.57 ± 2.25%	0.001	0.012
%Diff. of 90% Target Coverage	-3.61 ± 2.76%	-2.83 ± 2.68%	<0.001	0.001

อัตราผ่านของค่า Gamma จากการทำ QA ของแผน VMAT และ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อยแตกต่างจากค่าของ PD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01 ทั้งหมด) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราผ่านของค่า Gamma จากการทำ QA ด้วยโปรแกรม Mobius3D เปรียบเทียบกับระบบ PD

Plans	Gamma Passing Rate (3%, 3 mm)			Plan Check vs PD (p-values)	QA Check vs PD (p-values)
	Plan Check	QA Check	PD		
VMAT	97.7 ± 1.7%	97.2 ± 2.1%	98.2 ± 1.1%	0.001	<0.001
Ordinary IMRT	99.0 ± 0.4%	99.3 ± 0.4%	98.7 ± 0.7%	0.442	0.144
Split Large field IMRT	87.1 ± 12.5%	89.1 ± 8.4%	96.9 ± 2.4%	0.003	0.001



แผนภูมิที่ 1 การกระจายของอัตราผ่านของค่า Gamma จากการทำ QA ด้วยโปรแกรม Mobius3D และ PD

แผน VMAT และ IMRT ปกติ มีอัตราผ่านของค่า Gamma ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (95% ขึ้นไป) ในสัดส่วนไม่น้อยกว่า 86% จากทั้งสองระบบ ในขณะที่ของ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย มีสัดส่วนไม่เกิน 37.5% จากโปรแกรม Mobius3D (แผนภูมิที่ 1)

หลังจาก 2 เดือน ค่าปริมาณรังสี 6MV เพิ่มขึ้น 0.42% อัตราผ่านของค่า Gamma ของแผน VMAT จำนวน 24 แผน ที่ถูกศึกษาซ้ำ จาก PD แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ในขณะที่ จากโปรแกรม Mobius3D ไม่แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของของอัตราผ่านของค่า Gamma จากการทำ QA แผน VMAT (n = 24) ซ้ำ หลังจาก 2 เดือน

QA Methods	%Change of Gamma Passing Rate (3%, 3 mm)	Original vs Repeated QA Results (p-values)
Plan Check	0.21 ± 0.48%	0.043
QA Check	0.31 ± 0.57%	0.015
PD	-1.88 ± 1.01%	<0.001

วิจารณ์

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ส่วนใหญ่โปรแกรม Mobius3D คำนวณปริมาณรังสีได้แตกต่างจาก TPS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราผ่านของค่า Gamma ของแผน VMAT และ IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย จากการทำ QA ด้วยโปรแกรม Mobius3D แตกต่างจากระบบวัดรังสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั้น แตกต่างจากงานวิจัยอื่น⁴⁻⁶ และพบว่า แผน IMRT ขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งย่อย มีอัตราผ่านของค่า Gamma ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในสัดส่วนที่น้อย จึงไม่ควรใช้โปรแกรมนี้สำหรับทำ QA ของ IMRT ขนาดกว้างกว่า 14 ซม. ซึ่งจะต้องถูกแบ่งย่อยลำรังสี เมื่อทำการฉายรังสี หากเครื่องเร่งอนุภาคนั้นไม่มีลิซิทธีในการฉาย IMRT ขนาดใหญ่ นับว่าเป็นข้อมูลที่ยังไม่เคยมีรายงานในงานวิจัยอื่นมาก่อน และจากการศึกษาซ้ำหลังจาก 2 เดือน พบว่าโปรแกรม Mobius3D มีผลการทำ QA ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากค่าเดิม เป็นการยืนยันว่าโปรแกรม Mobius3D มีข้อจำกัดในการตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีจากเครื่องเร่งอนุภาค สอดคล้องกับการศึกษาของ Song และคณะ¹ และ Vazquez-Quino และคณะ²

สรุป

โปรแกรม Mobius3D ที่มีการแก้ค่า DLG อย่างเหมาะสมสามารถใช้สำหรับกระบวนการ QA แผน VMAT และ IMRT ขนาดปกติ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ต้องควบคุมคุณภาพของปริมาณรังสีจากเครื่องเร่งอนุภาคให้ถูกต้องอยู่เสมอ เนื่องจากโปรแกรม Mobius3D ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีได้ และไม่ควรใช้ในการทำ QA แผน IMRT ขนาดใหญ่ หากไม่มีลิซิทธีในการฉายรังสี IMRT ขนาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

1. Song JY, Jeong JU, Yoon MS, Ahn SJ, Chung WK, Nam TK. Dosimetric evaluation of MobiusFX in the RapidArc delivery quality assurance comparing with 3DVH. PLOS ONE 2017;12(8):1-16.

2. Vazquez-Quino L, Huerta-Hernandez C, Morrow A, Massingill B, Rangaraj D. MobiusFX evaluation and comparison against a commercial 4D detector array for VMAT plan QA. Med Phys 2016;43(6):3533-4.
3. Childress N, Chen Q, Rong Y. Parallel/opposed: IMRT QA using treatment log files is superior to conventional measurement-based method. J Appl Clin Med Phys 2015;16(1):4-7.
4. Clemente-Gutiérrez F, Pérez-Vara C. Dosimetric validation and clinical implementation of two 3D dose verification systems for quality assurance in volumetric-modulated arc therapy techniques. J Appl Clin Med Phys 2015;16(2):198-217.
5. Fontenot JD. Evaluation of a novel secondary check tool for intensity-modulated radiotherapy treatment planning. J Appl Clin Med Phys 2014;15(5):207-15.
6. Majithia L, Di Costanzo D, Weldon M, Gupta N, Rong Y. Validation of photon dose calculation using Mobius3D system compared to AAA and Acuros XB systems. Med Phys 2013;40(6):335.
7. Nelson C, Garcia M, Calderon E, Kirsner S. Validation of Mobius3D and FX for Elekta linear accelerators. Med Phys 2016;43(6):3533.
8. Galavis P, Osterman K, Jozsef G, Becker S, Dewyngaert K. Validation and implementation of model-based patient specific quality assurance using Mobius3D and MobiusFX in a clinical setting. Med Phys 2014;41(6):350.

