

TỐI ƯU MÔ HÌNH THÔNG LƯỢNG CHÙM TIA TRUYỀN QUA HỆ CHUẨN TRỰC ĐA LÁ ELEKTA MLCi2 CHO HỆ THỐNG LẬP KẾ HOẠCH TẠI BỆNH VIỆN ĐA KHOA LÂM ĐỒNG

Ngô Hoàng Long¹, Nguyễn Khắc Sơn¹, Hà Anh Tú², Bảo Lâm³

TÓM TẮT

Mục tiêu: Nhóm kỹ sư Bệnh viện Đa khoa Lâm Đồng nghiên cứu tối ưu hóa mô hình hệ chuẩn trực MLCi2 trong hệ thống lập kế hoạch điều trị Monaco để cải thiện chất lượng xạ trị bằng máy gia tốc tuyến tính Elekta Synergy.

Thiết bị và phương pháp: Nghiên cứu sử dụng máy gia tốc tuyến tính Elekta Synergy với MLCi2, phần mềm lập kế hoạch xạ trị Monaco và hệ đầu dò đo liều 2D MatriXX Resolution (IBA). Bộ kế hoạch đảm bảo chất lượng Express QA của Monaco chứa 8 trường QA để tối ưu hóa mô hình MLC, với phân tích chỉ số Gamma cho 8 kế hoạch lâm sàng. **Kết quả:** Các kế hoạch lâm sàng sử dụng mô hình tối ưu đạt tỉ lệ vượt qua tiêu chí gamma 1%/1mm cao hơn so với mô hình mặc định. Kết quả này làm sáng tỏ sự phù hợp của mô hình MLC tối ưu hóa trong điều trị lâm sàng. **Kết luận:** Sử dụng ExpressQA để kiểm tra MLC trước khi điều trị là cần thiết, và tiêu chí gamma 1%/1mm quan trọng để đánh giá sự khác biệt của các mô hình. Nghiên cứu đề xuất tìm

hiều thêm các thông số MLC và sử dụng thiết bị QA có độ phân giải cao hơn.

Từ khoá: Elekta, Hệ thống lập kế hoạch điều trị, MLC, mô hình MLC, QA

SUMMARY

OPTIMIZATION OF THE MULTILEAF COLLIMATOR MODEL FOR ELEKTA MLCi2 SYSTEM IN MONACO TREATMENT PLANNING SYSTEM AT LAM DONG GENERAL HOSPITAL

Objective: The engineering team at Lam Dong General Hospital conducted research to optimize the multileaf collimator (MLC) model MLCi2 in the Monaco treatment planning system to enhance the quality of radiotherapy using the Elekta Synergy linear accelerator. **Equipment and Methods:** The study utilized the Elekta Synergy linear accelerator with MLCi2, Monaco treatment planning software, and the 2D MatriXX Resolution (IBA) dose measurement system. The Monaco Express QA quality assurance plan comprised 8 QA fields to optimize the MLC model, with Gamma analysis for 8 clinical treatment plans. **Results:** Clinical treatment plans using the optimized model achieved a higher pass rate for the 1%/1mm gamma criteria compared to the default model. This result elucidates the suitability of the optimized MLC model in clinical treatments. **Conclusion:** Using ExpressQA to verify MLC prior to treatment is imperative, and the 1%/1mm gamma criteria are crucial for assessing differences between models. The study suggests

¹Cử nhân Vật lý hạt nhân, Bệnh viện Đa khoa Lâm Đồng

²Kỹ sư Kỹ thuật hạt nhân, Bệnh viện Đa khoa Lâm Đồng

³Thạc sĩ Vật lý ứng dụng, Công ty Elekta
Chịu trách nhiệm chính: Nguyễn Khắc Sơn
ĐT: 0359707097

Email: nguyenkhacson200497@gmail.com

Ngày nhận bài: 14/4/2024

Ngày phản biện khoa học: 21/4/2024

Ngày duyệt bài: 26/4/2024:

further exploration of MLC parameters and employing higher resolution QA equipment.

Keywords: Elekta, Treatment planning system, MLC, MLC model, QA

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực xạ trị, mục tiêu chính là tối ưu hóa liều lượng chiếu xạ vào khối u và đồng thời giảm thiểu liều lượng vào các cơ quan khỏe mạnh xung quanh. Để đạt được mục tiêu này, các kỹ thuật xạ trị như xạ trị 2 chiều (2D), 3 chiều (3D), xạ trị điều biến cường độ (IMRT), xạ trị điều biến thể tích vòng cung (VMAT),... đã được phát triển. Các kỹ thuật tiên tiến thường mang lại hiệu quả cao hơn trong việc đạt được mục tiêu xạ trị. Một bước đột phá quan trọng trong lĩnh vực này là sự ra đời của hệ chuẩn trực đa lá (MLC). Các lá MLC cho phép định hình linh hoạt trường chiếu xạ để phù hợp với hình dạng của khối u, từ đó giúp các kỹ thuật như IMRT và VMAT được triển khai một cách hiệu quả và chính xác.

Sự xuất hiện của MLC đã mang lại nhiều lợi ích quan trọng trong điều trị ung thư, nhưng cũng đồng thời tạo ra nhiều thách thức cho các nhà sản xuất. Một trong số đó là thời gian tính toán và tài nguyên máy tính cần thiết cho quá trình lập kế hoạch xạ trị. Để giảm thiểu thời gian tính toán, việc mô hình hóa các lá MLC thông qua các thông số đặc trưng là cần thiết, vì việc mô phỏng trực tiếp sự vận chuyển bức xạ qua MLC không phù hợp trong điều kiện lâm sàng. Để đảm bảo hiệu quả và an toàn, việc kiểm tra và điều chỉnh mô hình MLC trong hệ thống lập kế hoạch xạ trị là bước quan trọng cần được thực hiện đúng cách.

Nghiên cứu này tập trung vào việc điều chỉnh các thông số như “Leaf Offset” (tham

số bù lá - biểu thị sự sai lệch của vị trí lá thực tế so với vị trí danh định), “Leaf Transmission” (tỷ lệ truyền qua lá) và “Leaf Groove Width” (độ rộng rãnh lá) của mô hình MLC, như một phương pháp hiệu quả để tối ưu hóa sự phù hợp giữa hệ thống lập kế hoạch và hệ thống gia tốc, từ đó cải thiện chất lượng điều trị cho bệnh nhân.

II. THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết bị

2.1.1. Máy gia tốc và hệ thống lập kế hoạch

Máy gia tốc Synergy của Elekta với hệ chuẩn trực MLCi2 tại Bệnh viện Đa khoa Lâm Đồng sử dụng hệ thống lập kế hoạch (TPS) điều trị Monaco 6.1.1.0. Quy trình thực hiện nghiên cứu bắt đầu ngay sau các bước kiểm tra đảm bảo chất lượng (QA) hàng năm, tuân thủ theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia và các khuyến cáo, các hướng dẫn quốc tế như TG-40 [1], TG142 [2], và dựa trên điều kiện cơ sở vật chất cùng với số liệu thực tế từ bệnh nhân tại khoa.

Để đảm bảo hệ thống MLC hoạt động ổn định nhất trong thời gian nghiên cứu, chúng tôi sử dụng iViewGT và phần mềm AutoCAL 2.4 [3] để kiểm tra bộ giới hạn chùm tia (BLD) bao gồm hệ thống MLC của máy gia tốc.

2.1.2. Thiết bị đo liều MatriXX

Thiết bị đo liều MatriXX Resolution 2D có kích thước $25,3 \times 25,3 \text{ cm}^2$, với 1521 buồng ion hoá, và có khoảng cách giữa tâm mỗi đầu dò là 6,5 mm được sử dụng để QA các kế hoạch sau khi được hiệu chuẩn liều tuyệt đối định kỳ và hiệu chuẩn mảng theo hướng dẫn của nhà sản xuất.




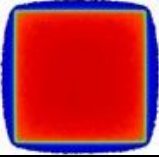


Hình 1. Hệ đầu dò MatrixX [5]



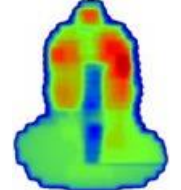
2.2. Phương pháp

2.2.1. Gói ExpressQA

Gói ExpressQA bao gồm tám trường QA được mô hình hóa theo các khuyến nghị trong AAPM TG-119 [5]. Mô tả các trường được thể hiện trong bảng 1 dưới đây.

Bảng 2. Danh sách các chùm tia trong gói ExpressQAPlan dành cho máy Elekta MLCi2 [6]

Cấu hình trường và mục đích	Hình ảnh minh họa
10 × 10 là trường mở 10×10cm ² , dùng để đánh giá hiệu chuẩn liều tuyệt đối và hiệu suất của thiết bị QA.	
20 × 20 là trường mở 20×20 cm ² , dùng để đánh giá phản ứng của thiết bị QA với trường lớn, độ phẳng và độ đối xứng của chùm tia.	
3ABUT là kế hoạch step-and-shoot đơn giản trong đó 3 segments rộng 6x24cm ² liên tiếp được khớp với nhau để tạo ra một trường thống nhất. Kế hoạch này được sử dụng để đánh giá hiệu chuẩn MLC và Leaf Offset.	
7SEGA tương tự như 3ABUT với 7 segments hẹp hơn (rộng 2cm) tạo ra 6 vị trí nối tiếp. Kế hoạch này được sử dụng để đánh giá hiệu chuẩn MLC và Leaf Offset.	

<p>FOURL là kế hoạch 4 segments hình chữ L lồng vào nhau có kích thước nhỏ dần. Trường này được sử dụng để kiểm tra độ lệch vị trí lá, khả năng truyền qua MLC, hiệu ứng tongue-and-groove và chiều rộng rãnh MLC.</p>	
<p>DMLC1 là kế hoạch quét động 10 cm, trường rộng 2 cm với Jaw mở kích thước 20x20, MLC mở kích thước 2x20 từ -10 đến +10, giúp đánh giá hiệu chuẩn MLC và Leaf Offset lớn và nhỏ.</p>	
<p>HIMRT và HDMLC là trường IMRT 33 segments đầu cổ. Mục đích của 2 trường này là đánh giá tác động của cài đặt thông số MLC trong tình huống lâm sàng phức tạp trong việc thực hiện kế hoạch lần lượt là Step and Shoot IMRT và DMLC - Dynamic MLC IMRT.</p>	

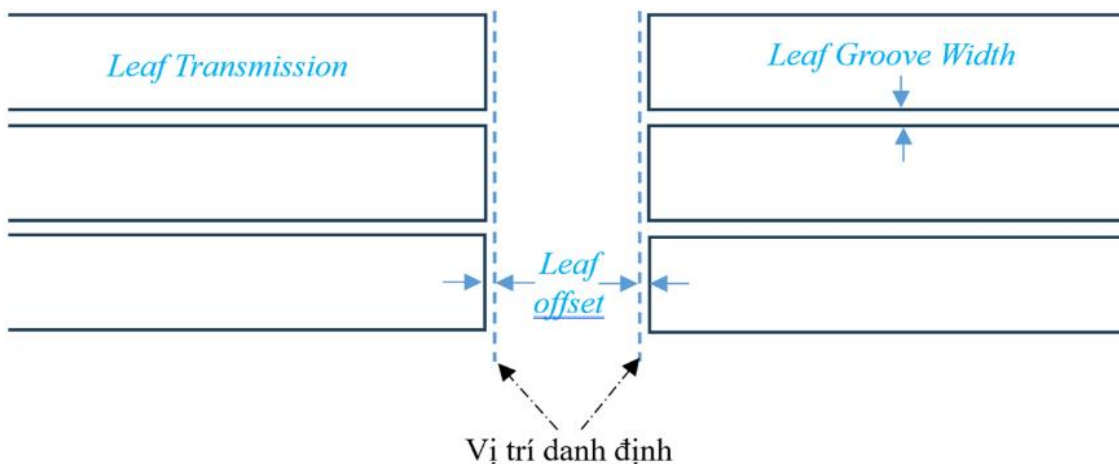
2.2.2. Tối ưu hóa mô hình MLC

Các tham số “Leaf Offset”, “Leaf Transmission” và “Leaf Groove Width” được tối ưu hóa vì vai trò quan trọng trong quá trình hiệu chỉnh và đánh giá hiệu suất MLC Geometry, được mô tả trong hình 3. Trong đó, Leaf Offset xác định sự chênh lệch

giữa vị trí lá MLC theo quy ước và giá trị thực tế được sử dụng để tính liều, Leaf Transmission đo tỉ lệ bức xạ truyền qua lá, và Leaf Groove Width xác định độ rộng của rãnh lá. Giới hạn, giá trị mặc định, và giá trị tối ưu của các tham số này được mô tả chi tiết trong bảng 2.

Bảng 3. Các thông số được tối ưu

Thông số	Giới hạn	Giá trị mặc định	Giá trị tối ưu
Leaf Transmission	0.0001 → 1	0.0073	0.004
Leaf Groove Width (mm)	0 → 2	0.7	0.4
Leaf Offset (mm)	-0.5 → 0.5	0	-0.02



Hình 2. Biểu diễn 2D về hình học của mô hình MLC trong Monaco TPS

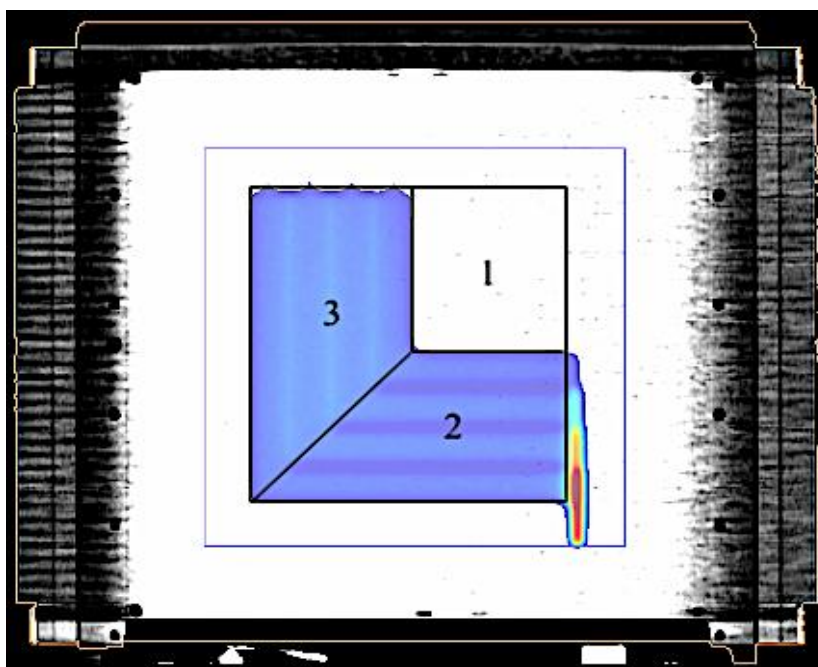
Các tính toán trên TPS của các trường 10x10, 20x20, 3ABUT, 7SEGA, FOURL, DMLC được thực hiện với Grid Spacing 0.2 cm và Statistical Uncertainty 0.5% trên mỗi điểm kiểm soát (Per Control Point). Các trường HIMRT, HDMLC và 8 kế hoạch lâm sàng được tính toán với Grid Spacing 0.3 cm và Statistical Uncertainty 0.5% trên mỗi điểm kiểm soát, tuân theo khuyến cáo của Monaco khi sử dụng gói ExpressQA.

Các trường trong gói ExpressQA được tính toán trên hệ thống lập kế hoạch dựa trên mô hình MLC mặc định. Trước hết, cần xác nhận rằng thiết bị QA hoạt động bình thường bằng cách phát trường 10x10, 20x20 trên máy gia tốc và sử dụng MatriXX để thu nhận. Kiểm tra hiệu chuẩn liều tuyệt đối được đánh giá bằng cách sử dụng trường 10x10, và hoạt động của các đầu dò trong thiết bị QA được kiểm tra hiệu chuẩn mảng bằng cách sử dụng trường 20x20. Sau khi xác nhận thiết bị QA hoạt động ổn định, các

trường 3ABUT, 7SEGA, FOURL, DMLC, HIMRT, HDMLC tiếp tục được phát tia và thu nhận trên MatriXX.

Đối với trường FOURL, chúng tôi chia thành 3 khu vực để thực hiện đánh giá và hiệu chỉnh từng thông số quan trọng, được đánh số như trong hình 3.

Thông số Leaf Transmission sử dụng khu vực 1 của trường FOURL để đánh giá, nơi các lá MLC che chắn chùm tia mà không có jaw, sao cho đường profile trong khu vực này phù hợp với kết quả đo. Thông số Leaf Groove Width được điều chỉnh thông qua việc đánh giá khu vực 2 sao cho đường profile y phù hợp với kết quả đo. Các lá MLC trong khu vực này trượt từ trái qua phải, tạo ra hiệu ứng rãnh lá rõ ràng. Thông số Leaf Offset được điều chỉnh thông qua trường 3ABUT, 7SEGA, khu vực 3 của trường FOURL, giống như các phép kiểm tra Picket Fence, sao cho đường profile x phù hợp với kết quả đo.



Hình 3. Phân chia khu vực phân tích dữ liệu đối với trường FOURL

Bằng cách hiệu chỉnh tỉ mỉ các thông số Leaf Transmission, Leaf Groove Width và Leaf Offset, chúng tôi đã tối ưu hóa mô hình MLC để tiến hành tính toán các trường còn lại và so sánh với liệu phát thực tế bằng tiêu chí gamma 1%/1mm, 2%/2mm và 3%/3mm [7].

8 trường hợp lâm sàng được tính toán liều lượng với mô hình mặc định và mô hình tối ưu sử dụng cùng thông số RT Plan. Kết quả được so sánh với dữ liệu thực tế để đánh giá tính phù hợp của mô hình tối ưu bằng 03 tiêu chí gamma nói trên.

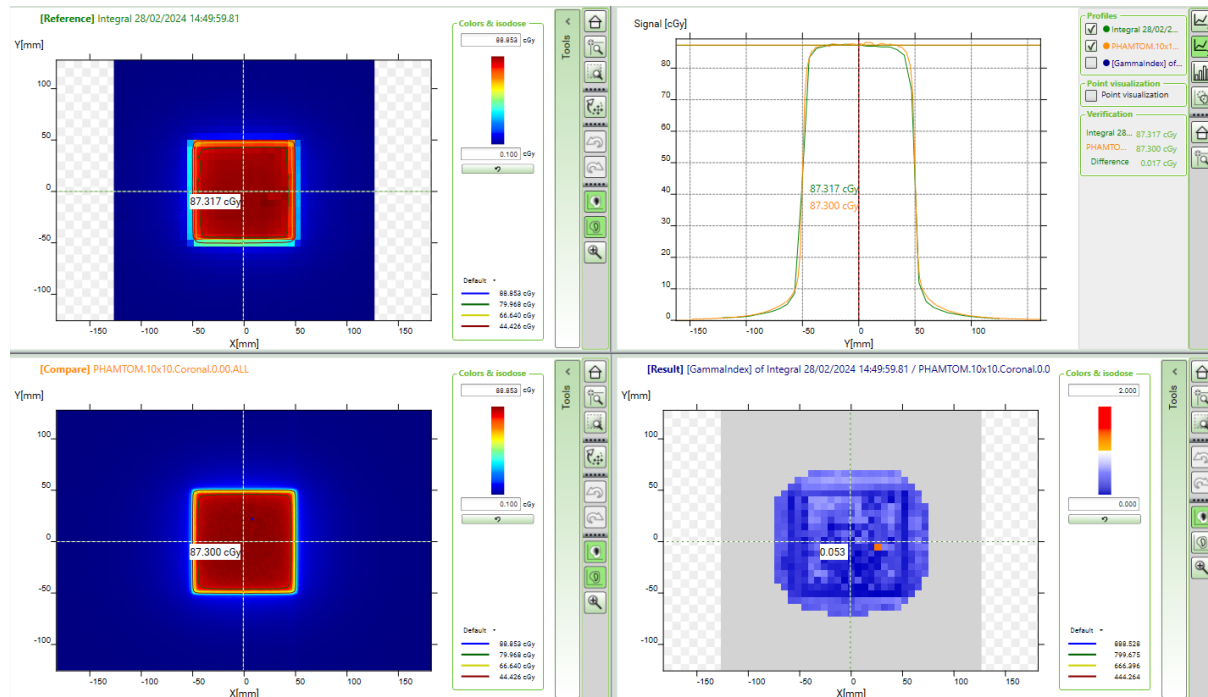
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả đo trên trường 10x10 (hình 4), chỉ chênh lệch 0.017cGy so với tính toán, gần như không đáng kể (xấp xỉ 0.02%). Khi áp dụng trường 20x20 (hình 5), tất cả các đầu dò trên thiết bị đều đáp ứng tốt và đồng đều, minh chứng cho tính ổn định và tin cậy

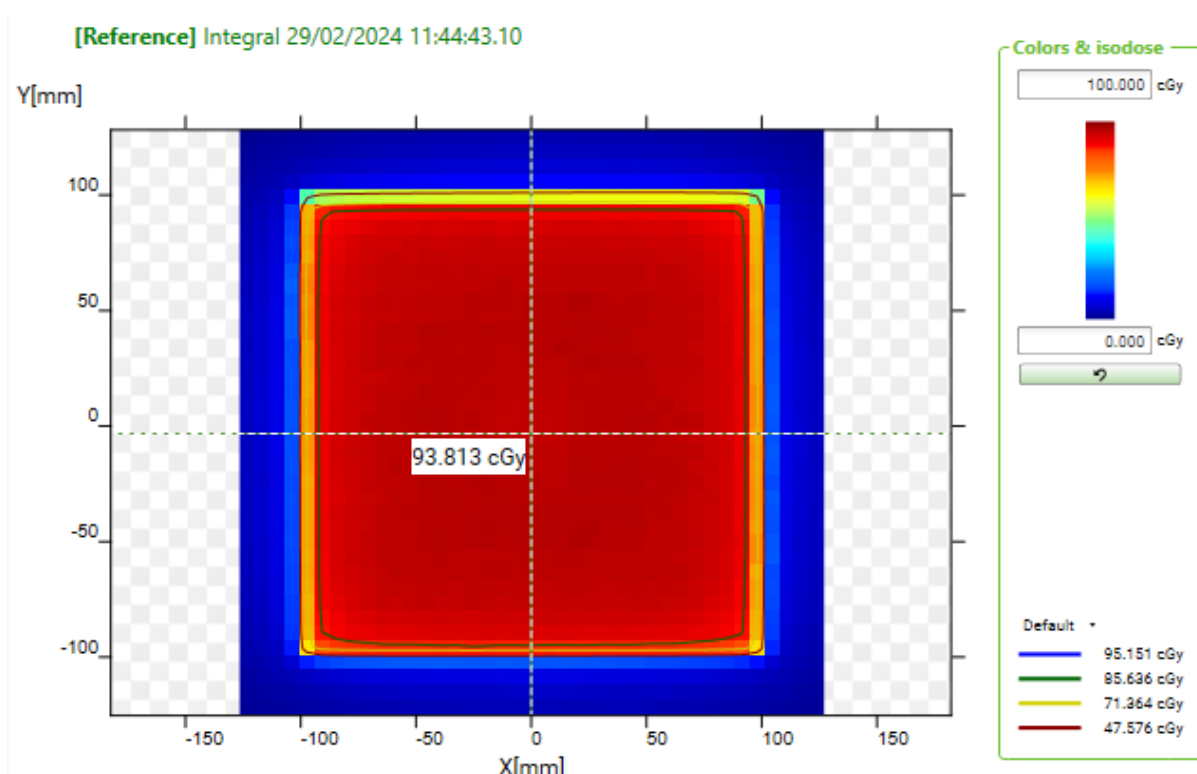
của thiết bị để có thể thực hiện các phép kiểm tra tiếp theo, đảm bảo tính chính xác giữa kết quả tính toán và đo đạc thực tế.

Các thông số Leaf Transmission, Leaf Groove Width, Leaf Offset sau khi được tối ưu đều cho thấy sự phù hợp hơn so với cài đặt mặc định (hình 6, hình 7, hình 8, hình 9, hình 10). Điều này cho thấy rằng việc tinh chỉnh các thông số kỹ thuật là cần thiết để tối ưu hóa hoạt động của hệ thống và nâng cao hiệu quả làm việc của việc xạ trị.

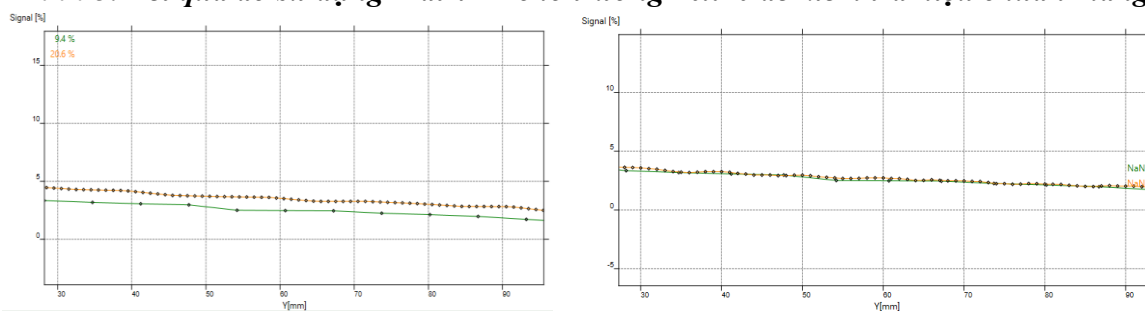
Các trường 3ABUT, 7SEGA, FOURL, DMLC, HIMRT, HDMLC và 8 kế hoạch lâm sàng đã được tính toán, đo đạc và đánh giá bằng cách sử dụng mô hình MLC mặc định và mô hình MLC tối ưu với cùng thông số RT Plan. Kết quả của việc so sánh với phép đo thực tế đã được thực hiện và đánh giá dựa trên tiêu chí gamma với các ngưỡng 1%/1mm, 2%/2mm, và 3%/3mm.



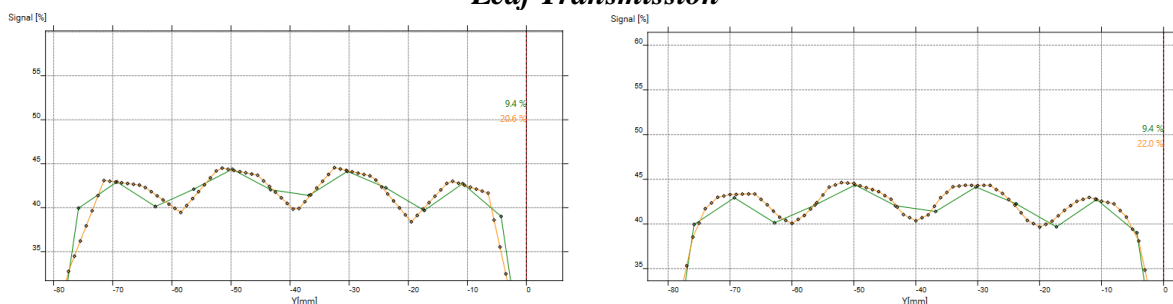
Hình 4. Kiểm tra hiệu chuẩn liều tuyệt đối sử dụng trường 10x10



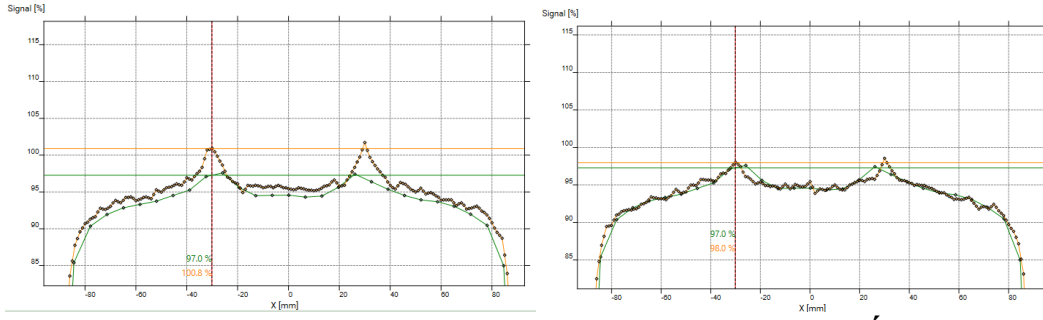
Hình 5. Kết quả đo sử dụng MatriXX cho trường 20x20 để kiểm tra hiệu chuẩn máy



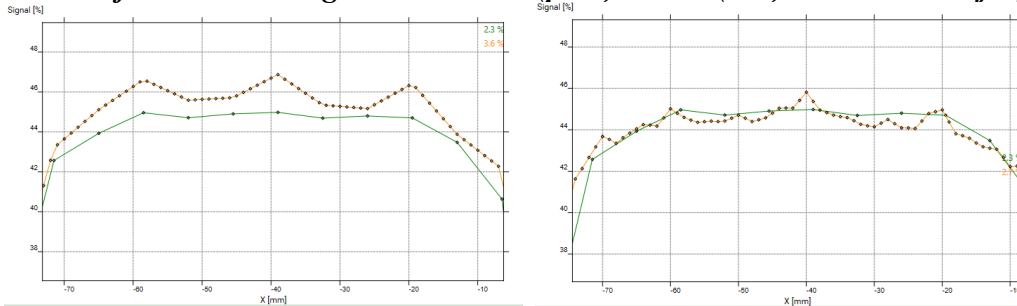
Hình 6. Profile khu vực 1 của trường FOURL trước (phải) và sau (trái) khi tối ưu Leaf Transmission



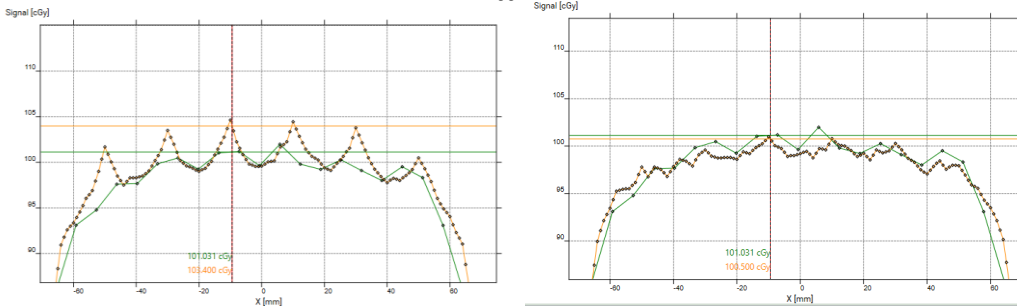
Hình 7. Profile y khu vực 2 của trường FOURL trước (phải) và sau (trái) khi tối ưu Leaf Groove Width



Hình 8. Profile x của trường 3ABUT trước (phải) và sau (trái) khi tối ưu Leaf Offset



Hình 9. Profile x khu vực 3 của trường FOURL trước (phải) và sau (trái) khi tối ưu Leaf Offset



Hình 10. Profile x của trường 7SEGA trước (phải) và sau (trái) khi tối ưu Leaf Offset

Các kết quả chi tiết được ghi nhận và trình bày trong bảng 3 và bảng 4 cung cấp cái nhìn tổng quan về hiệu suất của các trường và kế hoạch lâm sàng trong nghiên cứu này.

Các trường 3ABUT, 7SEGA, FOURL, DMLC, HIMRT, HDMLC cùng 8 kế hoạch lâm sàng khác đều cho thấy khả năng vượt qua tiêu chí gamma 1%/1mm của mô hình MLC tối ưu cao hơn so với mô hình mặc định. Nếu xét riêng 8 kế hoạch lâm sàng, mô hình tối ưu cho thấy sự phù hợp với phép đo thực tế hơn mô hình mặc định $11.46 \pm 8.79\%$,

được thể hiện chi tiết trong bảng 5. Đối với tiêu chí gamma 2%/2mm và 3%/3mm, hầu hết các mô hình MLC tối ưu đều vượt trội so với mô hình mặc định, trừ trường hợp của HDMLC và bệnh nhân 1, khi kết quả của mô hình MLC tối ưu có phần thấp hơn không đáng kể so với mô hình mặc định (thấp hơn 0.1%) khi so sánh với tiêu chí 3%/3mm.

Việc sử dụng các trường FOURL, 3ABUT, 7SEGA để điều chỉnh ba thông số Leaf Transmission, Leaf Groove Width và Leaf Offset đã chứng minh hiệu quả trong việc tối ưu hóa kết quả của mô hình.

Bảng 4. Kết quả tính toán trước và sau khi tối ưu mô hình MLC đối với gói ExpressQA (%)

STT	Gamma Trường	1%/1mm		2%/2mm		3%/3mm	
		Mặc định	Tối ưu	Mặc định	Tối ưu	Mặc định	Tối ưu
1	3ABUT	47.0	84.2	92.0	98.3	99.9	99.9
2	7SEGA	40.9	58.5	64.2	76.2	99.0	99.7
3	FOURL	65.1	94.2	95.0	99.8	99.7	100
4	DMLC	40.7	66.8	50.6	96.7	71.2	100
5	HIMRT	74.1	79.5	96.6	97.1	99.5	99.6
6	HDMLC	86.8	89.5	97.9	97.8	99.4	99.3

Bảng 5. Kết quả tính toán trước và sau khi tối ưu mô hình MLC đối với một số ca lâm sàng

STT	Gamma Trường	1%/1mm		2%/2mm		3%/3mm		Sự cải thiện ở tiêu chí 1%/1mm
		Mặc định	Tối ưu	Mặc định	Tối ưu	Mặc định	Tối ưu	
1	Trực tràng 1	66.6	75.2	97.4	97.3	100.0	100.0	8.6
2	Trực tràng 2	51.0	79.1	92.8	98.2	98.9	99.4	28.1
3	Trực tràng 3	65.3	69.8	96.9	97.7	99.9	99.9	4.5
4	Tuyến tiền liệt	66.0	85.0	98.4	99.6	100.0	100.0	19
5	Thực quản	72.4	91.3	97.4	99.7	100.0	100.0	18.9
6	Đầu cổ	59.8	65.8	80.9	82.9	95.3	98.1	6
7	Vú	60.9	66.5	82.6	90.3	95.1	98.5	5.6
8	Phổi	91.6	92.6	99.5	99.5	100.0	100.0	1
Sự cải thiện của mô hình tối ưu so với mô hình mặc định								11.46±8.79%

IV. KẾT LUẬN

Sử dụng gói ExpressQA để kiểm tra MLC là bước quan trọng để đánh giá tính chất của hệ thống MLC trên từng máy gia tốc cũng như điều chỉnh các thông số MLC khi cần thiết. Đánh giá MLC theo tiêu chí gamma chặt chẽ 1%/1mm là cần thiết để nhận biết sự khác biệt. Để tối ưu hóa mô hình MLC, cần xem xét các thông số khác của MLC cùng với việc sử dụng thiết bị QA

có độ phân giải cao để tăng độ chính xác trong quá trình đánh giá.

Nghiên cứu này nhấn mạnh sự cần thiết của việc kiểm tra đảm bảo chất lượng trước khi bắt đầu các kỹ thuật IMRT và VMAT, cũng như sau mỗi sửa chữa, thông qua việc sử dụng Express QA và TG 119. Các thay đổi nhỏ trong các tham số MLC như Leaf Transmission, Leaf Groove Width và Leaf Offset trong mô hình TPS có thể dẫn đến

biến động đáng kể về liều lượng tính toán. Đề xuất mỗi cơ sở xạ trị thực hiện kiểm tra Express QA hàng năm để đảm bảo tính ổn định của các thông số MLC theo thời gian.

V. KIẾN NGHỊ

Các hướng nghiên cứu tiếp theo mà nhóm nghiên cứu đề xuất bao gồm:

- Khảo sát cho mức năng lượng 15MV;
- Sử dụng thiết bị đo liều có độ phân giải cao hơn để cải thiện chất lượng so sánh dữ liệu thu thập với dữ liệu tính toán;
- Thực hiện tối ưu mô hình MLC với nhiều thông số hơn, như Interleaf Leakage và Leaf tip Leakage;
- Nghiên cứu mối liên hệ giữa các thông số của mô hình MLC khi chỉ thay đổi một thông số trong mô hình mặc định;
- Nghiên cứu phương pháp tìm thông số tối ưu hóa của mô hình MLC bằng định lượng;
- Khảo sát ảnh hưởng mô hình RED của phantom trên TPS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **AAPM**, “Comprehensive QA for Radiation Oncology,” Medical Physics, tập 21, 1994.
2. **AAPM**, “Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators,” Medical Physics, tập 36, 2009.
3. **Elekta**, “AutoCAL v2.4 Instructions for Use,” 2019.
4. **“IBA Dosimetry,”** [Trực tuyến]. Available: <https://www.iba-dosimetry.com/product/matrixx-resolution>.
5. **AAPM**, “Task Group 119 report: IMRT Commissioning Tests Instructions for Planning, Measurement, and Analysis,” Medical Physics, 2009.
6. **Paul Kinsella, Laura Shields, Patrick McCavana, Brendan McClean, Brian Langan**, “Determination of MLC model parameters for Monaco using commercial diode arrays,” Journal of Applied Clinical Medical Physics, tập 17, 2016.
7. **AAPM**, “A technique for the quantitative evaluation of dose distributions,” Medical Physics, 1998.