

SO SÁNH THUẬT TOÁN AAA VÀ AXB GIỮA MÔ PHÒNG PRIMO MONTE CARLO VÀ HỆ THỐNG LẬP KẾ HOẠCH ĐIỀU TRỊ ECLIPSE TRONG TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ LIỀU LƯỢNG TRONG XẠ TRỊ UNG THƯ PHỔI

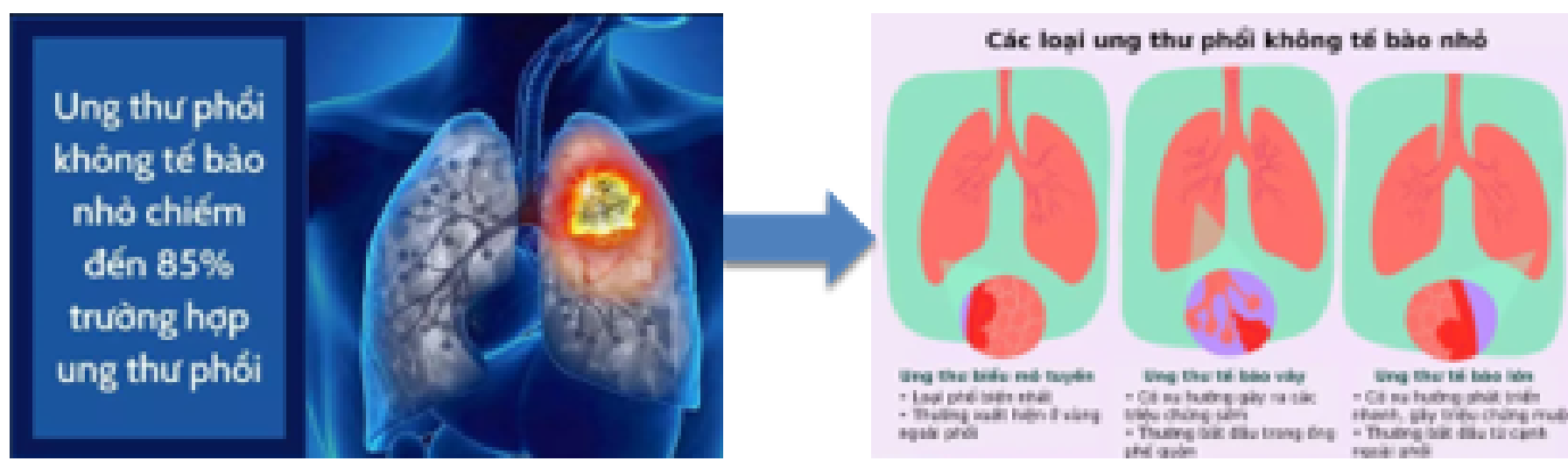
Lê Thị Hoàng Anh (1), Phạm Quang Trung (2)

(1) Khoa Vật lý kỹ thuật – Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

(2) khoa Xạ trị – Xạ phẫu – Viện Ung thư, Bệnh viện Trung ương Quân đội 108

ĐẶT VẤN ĐỀ

Ung thư phổi là một trong những nguyên nhân gây tử vong hàng đầu trên thế giới. Ung thư phổi không tế bào nhỏ (NSCLC) chiếm tỷ lệ cao trong số các ca ung thư phổi, và kỹ thuật xạ trị bằng tia X điều biến cường độ (VMAT) kết hợp với xạ trị định vị cơ thể (SBRT) đang được sử dụng rộng rãi trong điều trị NSCLC giai đoạn đầu.



Độ chính xác của kế hoạch điều trị xạ trị là yếu tố quan trọng quyết định hiệu quả điều trị và giảm thiểu tác dụng phụ cho bệnh nhân. Các hệ thống lập kế hoạch điều trị (TPS) như Eclipse sử dụng các thuật toán để tính toán liều lượng, nhưng độ chính xác của các thuật toán này có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như môi trường không đồng nhất của phổi.

Mã PRIMO Monte Carlo, dựa trên phương pháp Monte Carlo có độ chính xác cao, được giới thiệu như một công cụ tiềm năng để nâng cao độ chính xác và hiệu quả của các kế hoạch điều trị xạ trị ung thư phổi. PRIMO cho phép mô phỏng chính xác máy gia tốc tuyến tính và tính toán phân bố liều trong mô phổi, hỗ trợ việc xác minh độc lập các tính toán của TPS, tối ưu hóa việc lựa chọn thuật toán và kỹ thuật xạ trị.

ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng mã PRIMO phiên bản 0.3.64.1814, với mô hình vật lý PENELOPE, để mô phỏng máy gia tốc tuyến tính TrueBeam STx với chùm tia FFF 6MV. Độ chính xác của mô phỏng được kiểm tra bằng cách so sánh phân phối liều mô phỏng với dữ liệu đo được.

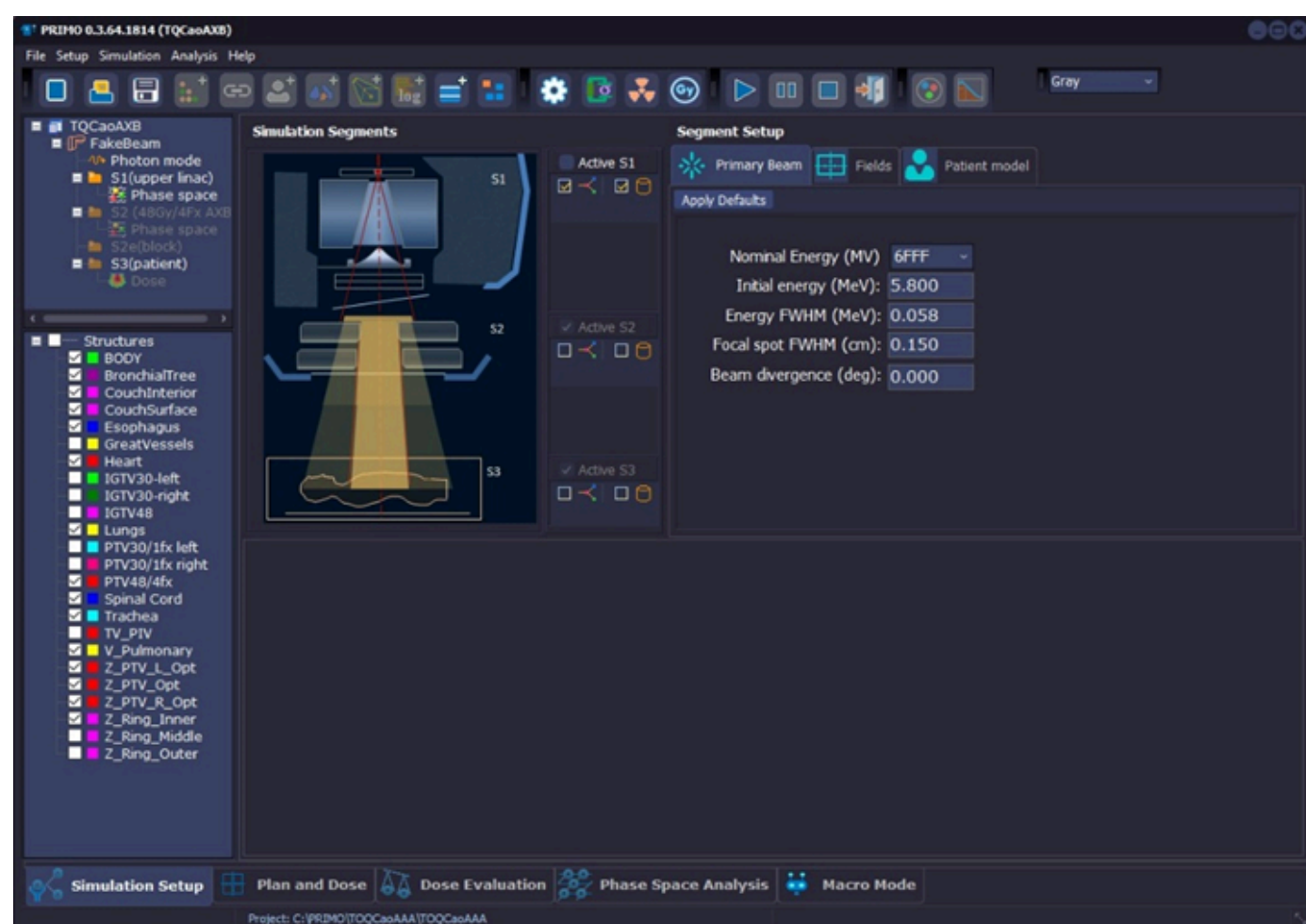
Đối tượng nghiên cứu bao gồm:

- Mô hình máy gia tốc: FakeBeam linac trong mã PRIMO, được điều chỉnh để tương ứng với TrueBeam STx Linac với chùm tia FFF 6MV.
- Dữ liệu bệnh nhân: Dữ liệu điều trị xạ trị của 30 bệnh nhân ung thư phổi được điều trị bằng VMAT tại Khoa Xạ trị, Bệnh viện Trung ương Quân đội 108. Các tệp DICOM-RT, bao gồm thông tin về vùng quan tâm, giải phẫu, liều bức xạ và kế hoạch điều trị, được sử dụng.

Phương pháp nghiên cứu được chia thành hai giai đoạn chính:

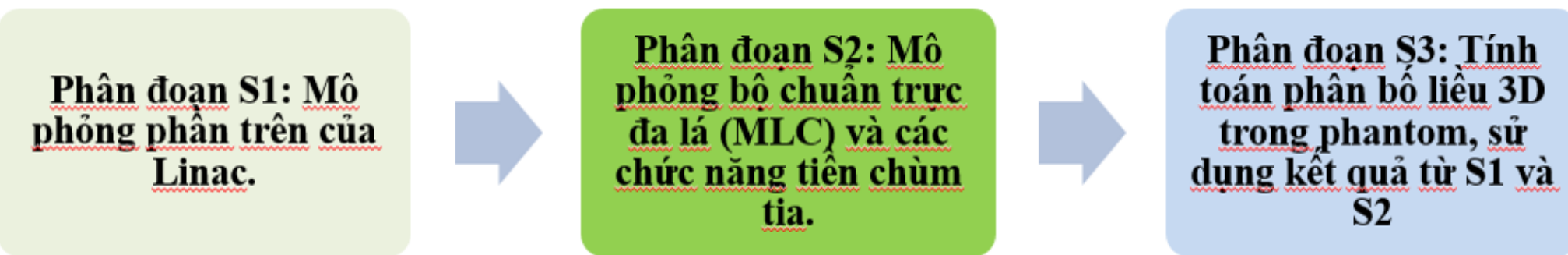
Giai đoạn 1: Xác nhận mô phỏng Linac

- Mô phỏng chùm tia: Sử dụng mô hình FakeBeam trong PRIMO để mô phỏng chùm tia FFF 6MV với các thông số được xác định trước (năng lượng, kích thước điểm hội tụ, khoảng cách nguồn-bề mặt).



Hình 1. Môi trường PRIMO với các giá trị tối ưu minh họa ba giai đoạn (S1, S2 và S3) của mô phỏng trong mã PRIMO

- Mô phỏng phân bố liều: PRIMO được sử dụng để tính toán phân bố liều trong phantom nước và so sánh với dữ liệu đo được. Quá trình mô phỏng được thực hiện theo ba phân đoạn (S1, S2, S3):



Giai đoạn 2: So sánh PRIMO với Eclipse TPS

- Tài dữ liệu bệnh nhân: Dữ liệu kế hoạch điều trị của 30 bệnh nhân ung thư phổi từ Eclipse TPS được tải lên PRIMO.
- Mô phỏng kế hoạch điều trị: PRIMO được sử dụng để mô phỏng lại kế hoạch điều trị VMAT, bao gồm ba cung không đồng phẳng.
- Phân tích các thông số liều: Các thông số liều chính của khối u (PTV) và các cơ quan nguy cơ (OAR) được phân tích và so sánh, bao gồm:

Phân tích Gamma: Đánh giá sự khác biệt về liều và vị trí giữa hai phân bố liều. Nghiên cứu sử dụng các tiêu chí 1%/1mm, 2%/2mm, và 3%/3mm.

$$\gamma = \sqrt{\frac{x^2}{DTA^2} + \frac{D^2}{DD^2}}$$

Tỷ lệ phần trăm đồng thuận (PA) của biểu đồ liều lượng-thể tích (DVH): Đánh giá mức độ tương đồng giữa các biểu đồ DVH.

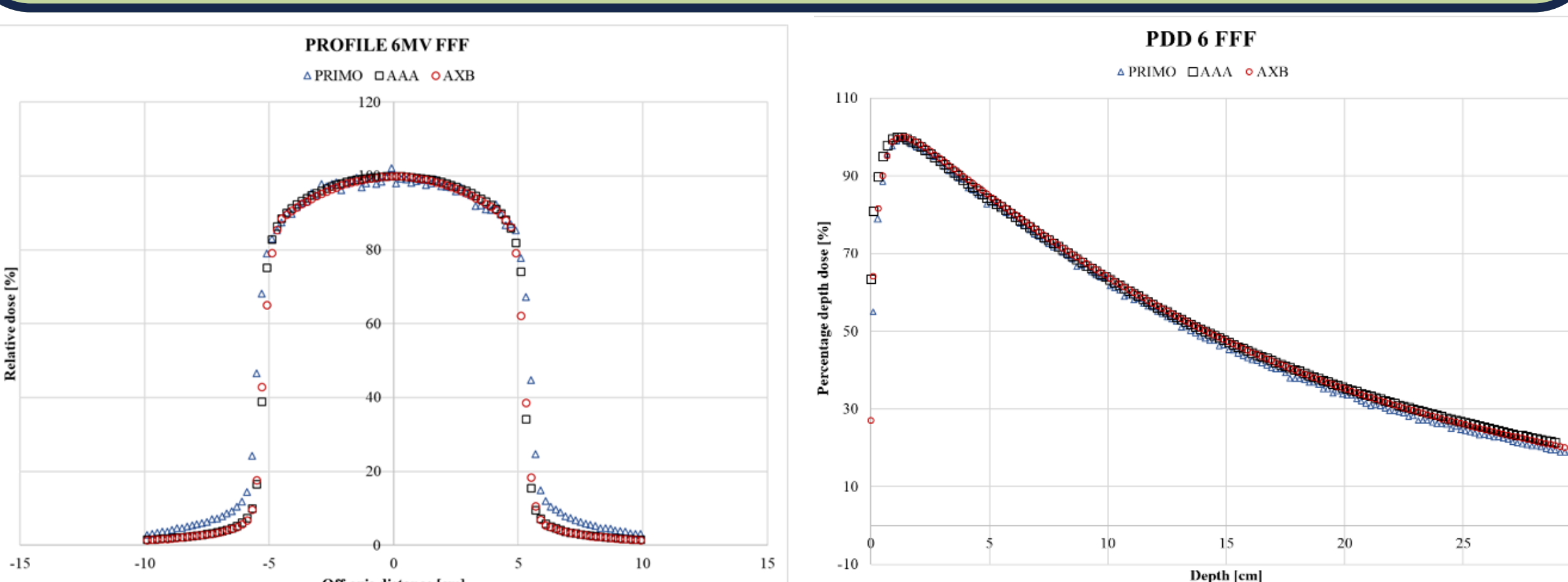
$$PA = 100 \left[1 - \frac{\delta_A}{\max(A_1, A_2)} \right]$$

- So sánh phân bố liều: Phân bố liều do PRIMO mô phỏng được so sánh với dữ liệu TPS của Eclipse bằng cách sử dụng:

Dmin, Dmean, Dmax	Chỉ số đồng nhất (HI)	Chỉ số phù hợp (CI)
	$HI(\%) = \left(\frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{DP} \right) \times 100$	$CI_{Paddick} = \frac{V_{PTV100\%}}{V_{PTV90\%}}$

Nghiên cứu được thực hiện trên hệ thống máy tính Dell Precision 351 với CPU Intel Core i7-10875H và RAM 32GB.

KẾT QUẢ



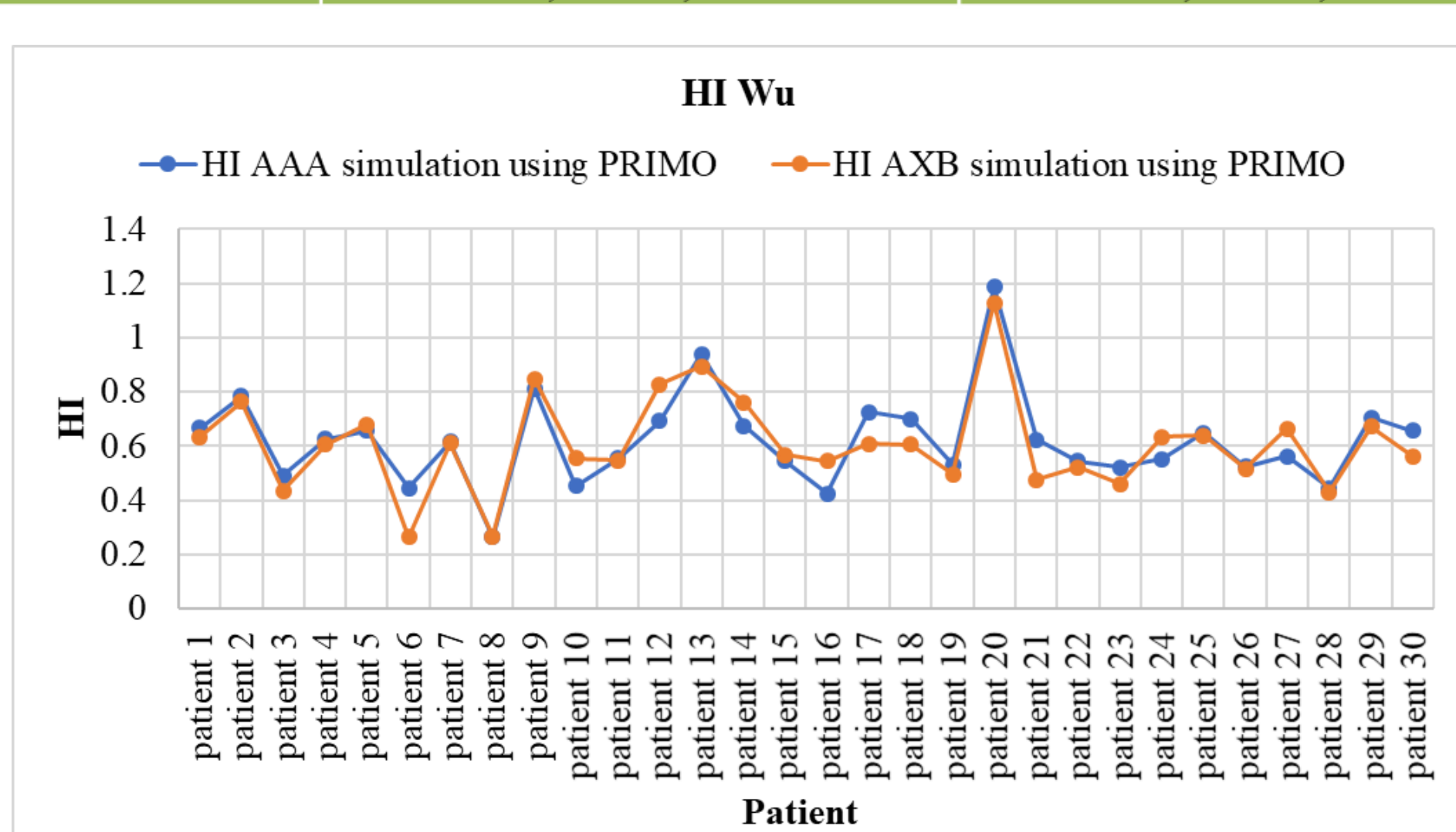
Hình 2. So sánh kết quả mô phỏng PDD và cấu hình liều của TrueBeam Chùm tia photon STx sử dụng PRIMO với Eclipse TPS trên mặt nước ảo.

Bảng 1. Các tham số mô phỏng được xác thực cho chùm photon FakeBeam 6MV FFF thu được bằng cách sử dụng mã PRIMO.

Năng lượng danh nghĩa (MV)	Năng lượng ban đầu (MeV)	Năng lượng FWHM (MeV)	Điểm tiêu cự FWHM (cm)	Độ phân kỳ chùm tia (độ)
6FFF	5.8	0,058	0,15	0,2

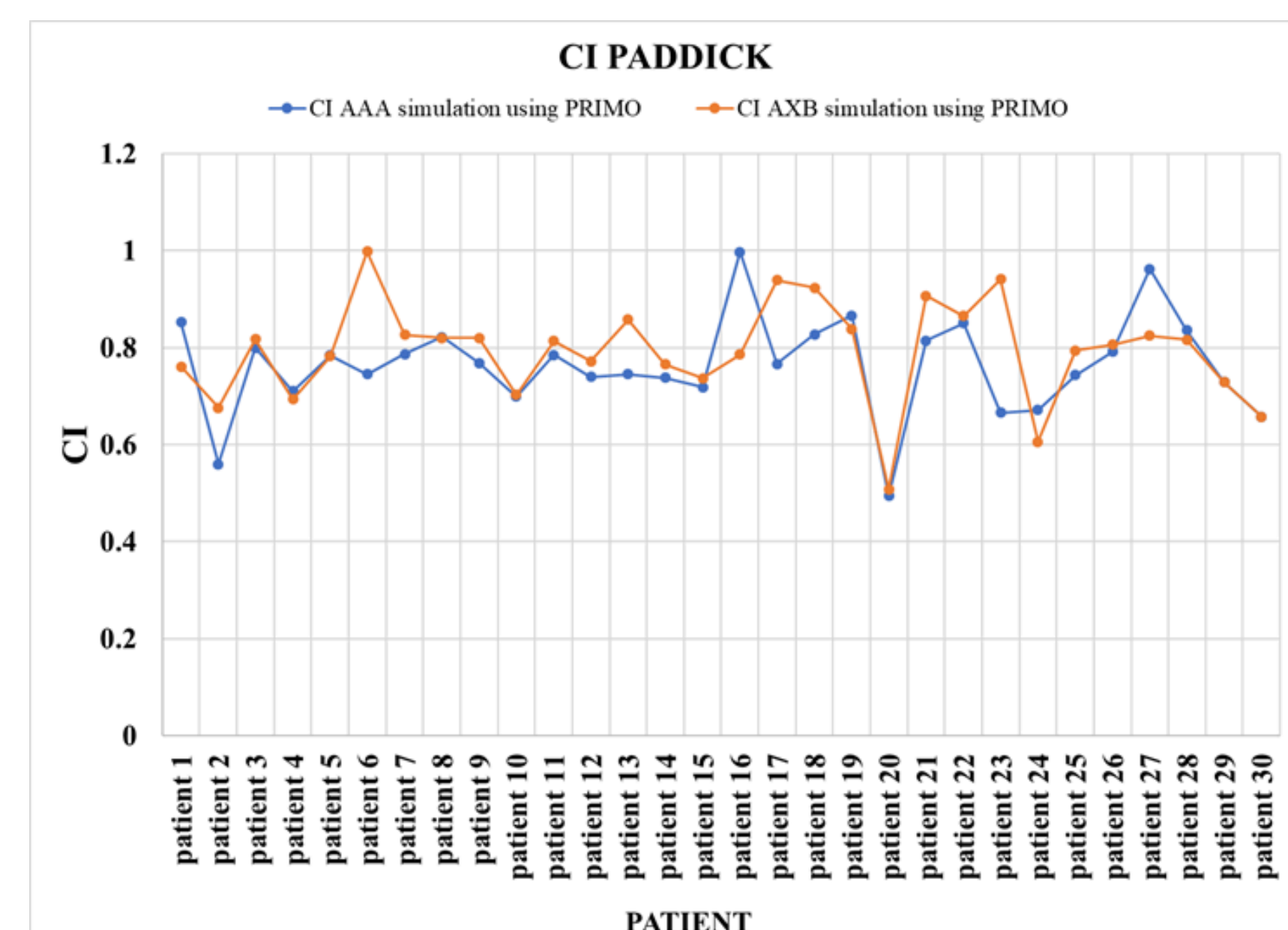
Bảng 2. Chỉ số so sánh phân bố liều trên khối u phổi theo kế hoạch SBRT giữa thuật toán AAA và AXB mô phỏng bằng PRIMO

Các chỉ số	AAA mô phỏng bằng PRIMO (Mean ± SD)	AXB mô phỏng bằng PRIMO (Mean ± SD)
CI - Paddick	0,764 ± 0,072	0,792 ± 0,075
HI Wu - 2000	0,618 ± 0,120	0,607 ± 0,124



Hình 3. So sánh chỉ số đồng nhất của các kế hoạch SBRT phổi giữa thuật toán AAA và AXB mô phỏng bằng PRIMO

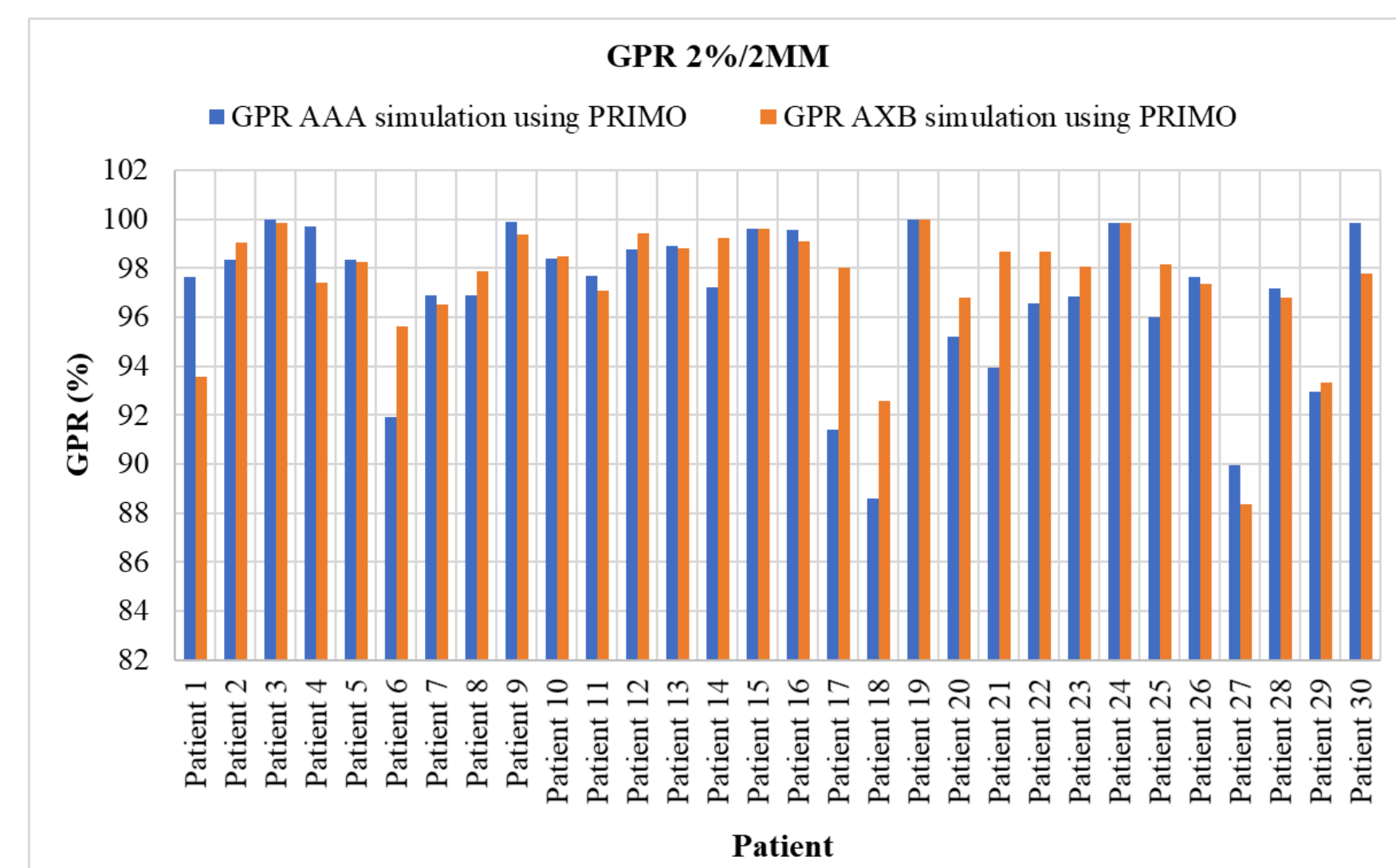
KẾT QUẢ



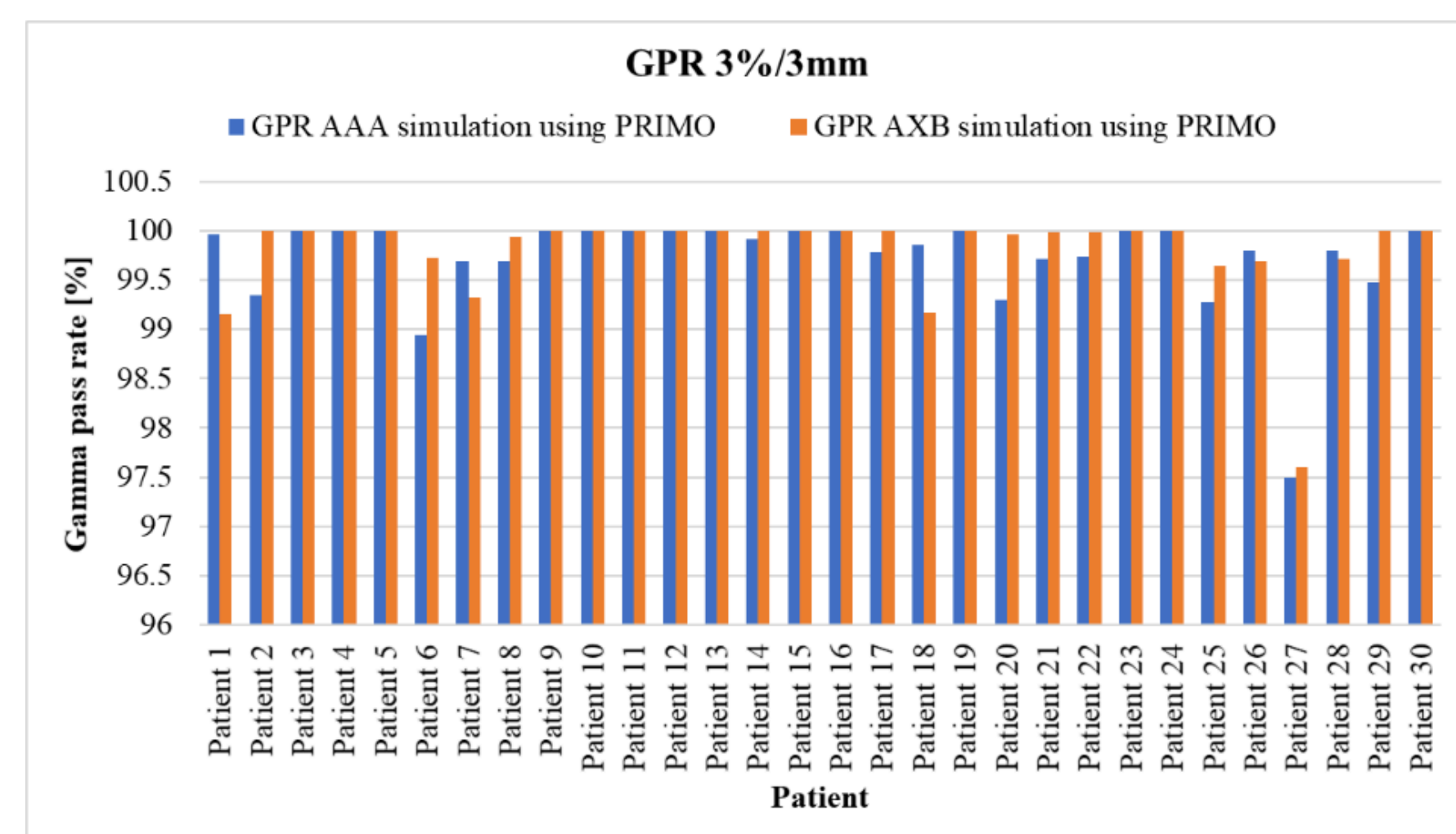
Hình 4. So sánh chỉ số phù hợp của các kế hoạch SBRT phổi giữa thuật toán AAA và AXB mô phỏng bằng PRIMO

Bảng 3. So sánh giá trị trung bình và sai số của tỷ lệ GPR và PA trên PRIMO sau khi mô phỏng các kế hoạch lập bởi hai thuật toán AAA và AXB

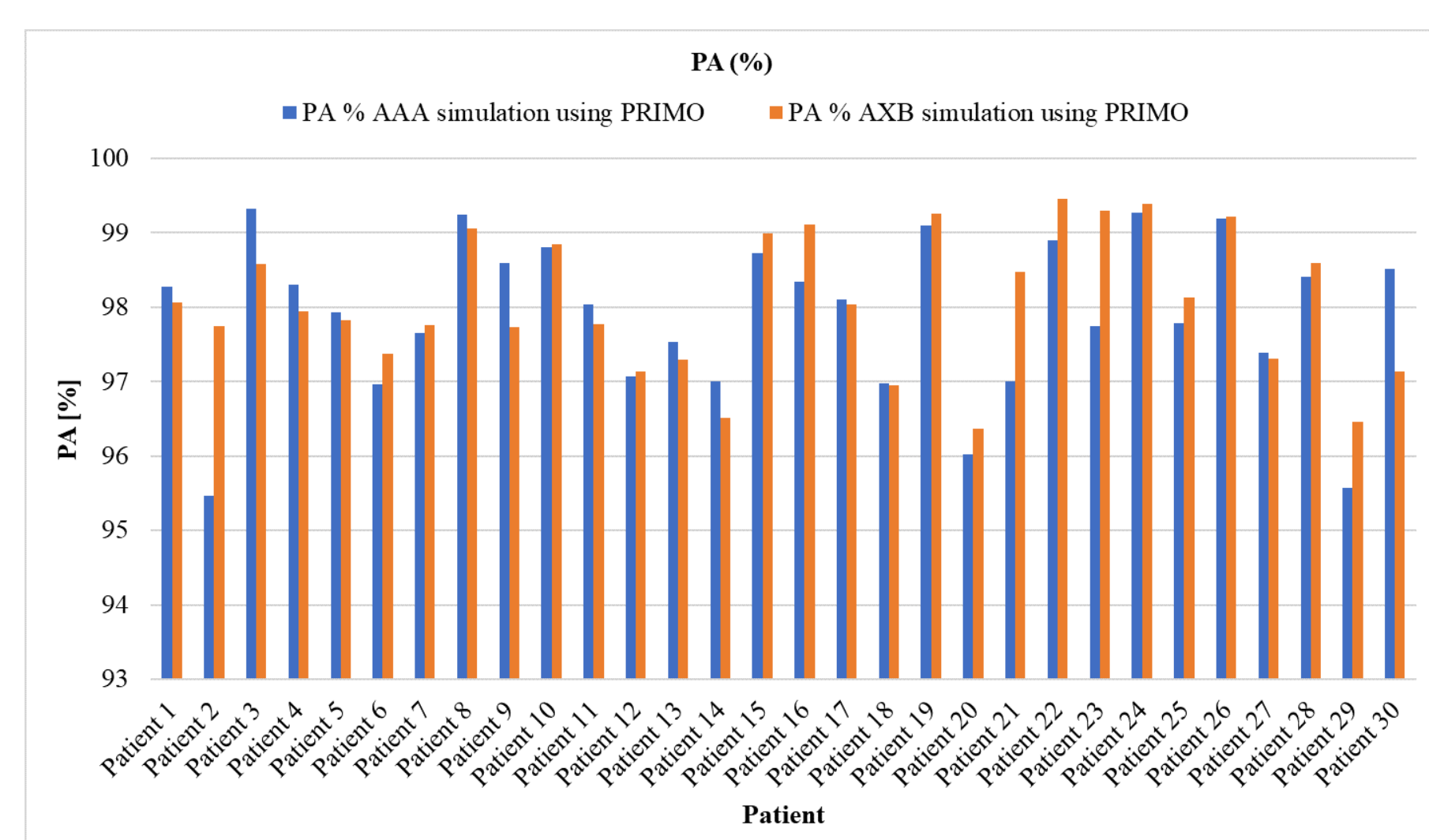
Các chỉ số	AAA mô phỏng bằng PRIMO (Mean ± SD)	AXB mô phỏng bằng PRIMO (Mean ± SD)
GPR%	2%/ 2mm	96,86 ± 2,340
	3%/ 3mm	99,725 ± 0,307
PA %	97,908 ± 0,843	98,061 ± 0,775



Hình 5. So sánh tỷ lệ thông qua Gamma 2%/2mm của các kế hoạch SBRT phổi giữa thuật toán AAA và AXB mô phỏng bằng PRIMO



Hình 6. So sánh tỷ lệ thông qua Gamma 3%/3mm của các kế hoạch SBRT phổi giữa thuật toán AAA và AXB mô phỏng bằng PRIMO



Hình 7. So sánh tỷ lệ phần trăm đồng thuận của các kế hoạch SBRT phổi giữa thuật toán mô phỏng AAA và AXB mô phỏng bằng PRIMO

Bảng 4. So sánh sự phân bố liều tới các cơ quan có nguy cơ mắc các kế hoạch SBRT ở phổi giữa thuật toán AAA và AXB trên Eclipse TPS và PRIMO

Các cơ quan nguy cấp	Eclipse TPS		Mô phỏng bằng PRIMO	
	AAA (Mean)	AXB (Mean)	AAA (Mean)	AXB (Mean)
PTV	Dmax (Gy)	67,13	67,46	71,78
	Dmin (Gy)	41,40	40,08	32,51
	Dmean (Gy)	53,26	53,74	51,41
TUY SÔNG	Dmax (Gy)	9,12	9,10	10,52
ESOPHUS	Dmax (Gy)	9,23	9,56	10,20
TRAI TIM	Dmax (Gy)	13,51	13,32	15,47

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá hai thuật toán AAA và AXB, AXB cho kết quả tốt hơn trên cả hai công cụ tính toán Eclipse TPS và PRIMO. Tuy nhiên, sự khác biệt không quá nhiều và cả hai thuật toán đều đáp ứng tốt các tiêu chí quy định. Thuật toán AXB cho kết quả tốt hơn, vì phổi là môi trường không đồng nhất, phổi chứa không khí trong quá trình hô hấp. Do đó, khi tính toán bằng thuật toán AXB trong môi trường không đồng nhất như phổi, kết quả sẽ tốt hơn, liều tính toán gần với tiêu chí đánh giá hơn so với kế hoạch tính toán bằng thuật toán AAA. Nên trong quá trình lựa chọn thuật toán lập kế hoạch, ta cần cân nhắc xem vị trí khối u ở khu vực nào để lựa chọn thuật toán tối ưu nhất. Có sự thống nhất giữa các thông số liều trong PTV và OAR thu được bằng mã PRIMO và Eclipse TPS đối với các bệnh nhân được điều trị bằng SBRT phổi.

Dựa trên kết quả của nghiên cứu này, nó cho thấy PRIMO có giao diện đồ họa tốt để mô phỏng máy gia tốc TrueBeam STx với mức năng lượng 6MV FFF. PRIMO cũng là một công cụ phù hợp để mô phỏng các loại máy gia tốc khác được sử dụng trong y học để điều trị và nghiên cứu. Đồng thời, đây cũng là một công cụ đáng tin cậy để xác minh các kế hoạch điều trị cho bệnh nhân, vì PRIMO dựa trên các mã Monte Carlo có độ chính xác cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Rodriguez, Brualla, Sempau, "PRIMO User's Manual".
- Rezzoug M, Zerfaoui M, Oulhouq Y, Rhioua A, "Using PRIMO to determine the initial beam parameters of Elekta Synergy linac for electron beam energies of 6, 9, 12, and 15 MeV". Rep Pract Oncol Radiother. 2023 Nov 16;28(5):592-600. doi: 10.5603/rpor.96865. PMID: 38179294; PMCID: PMC10764041.
- Pham Hong Lam, et al., "PHOTON BEAM MODELING: A Comparative Study of PRIMO and GATE Simulation Toolkits for the TrueBeam STx Linac". NT & RP Journal. Vol. XXXIX, No. 1, Pp. 1-87. 2024 March.
- S.H. Benedict et al., "Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101" Med. Phys., vol. 37, no. 8, pp. 4078-4101, 2010.
- I. Paddick and B. Lippitz, "A simple dose gradient measurement tool to complement the conformity index," J. Neurosurg., vol. 105, no. Supplement, pp. 194-201, 2006.
- Low, D. A., et al., "A Technique for the Quantitative Evaluation of Dose Distributions", Medical Physics, 25 (1998), 5, pp. 656-661.
- Pham Hong Lam, et al., "Evaluation and Comparison of AAA and AXB Dose Calculation Algorithms for Lung SBRT on TrueBeam STx with Eclipse 13.6", Nuclear Science and Technology, vol. 14, pp. 7-19, 2024.
- B. Sarin, et al., "Dosimetric accuracy of Acuros® XB and AAA algorithms for stereotactic body radiotherapy (SBRT) lung treatments: evaluation with PRIMO Monte Carlo code", Journal of Radiotherapy in Practice, vol. 22, 2023.