



# LẬP KẾ HOẠCH XẠ TRỊ ĐIỀU BIẾN CƯỜNG ĐỘ CHÙM PROTON BẰNG HỆ THỐNG LẬP KẾ HOẠCH CERR

## Planning impt treatment by using cerr program

Nguyễn Thị Cẩm Thu\*, Tạ Thị Vân Anh\*,  
Nguyễn Thái Bình\*\*, Mai Văn Nhơn\*

### SUMMARY

Up to now, beside two conventional methods are using electron beam and photon beam, radiotherapy using high energy proton beam has been attracted more and more scientists and hospitals. In this work, we using CERR program to make a treatment planning. The simulation results show that the treatment plan is better compared with by photon beam. The risk organs surrounding the tumour received negligible low dose. So the side effect decreases significantly. We also make a comparison the treatment planning by proton beam with by photon beam.

**Keywords:** cancer, treatment planning, high energy proton beam therapy.

### I. GIỚI THIỆU

Chùm photon bỏ năng lượng trong vật chất theo dạng hàm mũ nên năng lượng hấp thụ đạt cực đại chỉ vài cm dưới da. Chùm photon có độ đâm xuyên cao nên sau khi đi qua khối u sẽ tiếp tục đi xuyên qua khối cơ thể. Do đó, dù với kĩ thuật phân bố liều tốt nhất thì các cơ quan nằm trên đường đi của chùm tia vẫn chịu liều cao và nhiều cơ quan xung quanh bị nhận liều là điều không thể tránh khỏi [4][13]. Vậy để tạo ra phân bố liều tốt nhất thì quãng chạy của chùm tia phải chỉ cỡ kích thước của cơ thể và bỏ liều cao nhất ở một vị trí xác định [3][6]. Đó chính là đặc điểm tương tác với vật chất của các chùm hạt nặng mang điện như proton, cacbon. Tuy nhiên, do hạn chế về giá cả và kích thước máy xạ trị lớn cho nên đến nay kĩ thuật xạ trị proton chỉ mới phát triển mạnh ở các nước tiên tiến. Việc giảm đáng kể hiệu ứng phụ và khả năng gây ung thư thứ cấp [2][4][11][12] khi xạ trị bằng chùm proton đã và đang thúc đẩy cho các nghiên cứu về cải thiện kĩ thuật gia tốc chùm tia, để giảm giá thành và kích thước máy gia tốc, giúp cho phương pháp xạ trị này có thể đến được nhiều bệnh nhân trên thế giới [1][7]. Trong công trình này,

bước đầu chúng tôi giới thiệu các kế hoạch xạ trị bằng chùm proton. Để thấy rõ những ưu điểm của nó so với kế hoạch xạ trị bằng chùm photon, chúng tôi so sánh kế hoạch xạ trị bằng hai phương pháp này với nhau. Hệ thống lập kế hoạch xạ trị CERR được viết bằng ngôn ngữ lập trình Matlab được sử dụng để lập kế hoạch xạ trị cho phantom CT của khối u ở tuyến tiền liệt.

### II. CÔNG CỤ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 1. Hệ thống lập kế hoạch xạ trị CERR



Hình 1. Giao diện của hệ thống lập kế hoạch xạ trị CERR

\* Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Tp. Hồ Chí Minh.

\*\* Prowess Inc, Concord, USA.

CERR[8] được viết bằng ngôn ngữ lập trình Matlab, được phát triển bởi một nhóm các nhà khoa học của Đại học Washington ở St. Louis với mục đích nghiên cứu về xạ trị và trao đổi các kết quả nghiên cứu giữa các hệ thống lập kế hoạch xạ trị với nhau.

**2. Thuật toán tính liều của chương trình CERR**

Có 3 thuật toán để tính phân bố liều cho chùm proton: Ray Tracing [9][15], Pencil Beams - thuật toán

$$D(x, y, z) = \iint dx' dy' \psi_0(x', y') \frac{C(x', y', z)}{2\pi [\sigma_{tot}(x', y', z)]^2} \exp\left(-\frac{(x'-x)^2 + (y'-y)^2}{2[\sigma_{tot}(x', y', z)]^2}\right)$$

**3. Thuật toán tối ưu hóa kế hoạch của CERR**

Dựa vào liều chỉ định của bác sĩ và liều cực đại lên các cơ quan lành để xây dựng hàm mục tiêu cho kế hoạch xạ trị. Hàm mục tiêu có thể dựa vào mục tiêu liều lượng, mục tiêu liều - thể tích hoặc mục tiêu liều đồng nhất tương đương. CERR tối ưu kế hoạch dựa trên mục tiêu về liều lượng.

$$OF = \sum_{n=1}^N \omega_{nT} \sum_{i=1}^{N_n} (D_{iT} - D_{nT})^2 + \sum_{m=1}^M \omega_{mOAR} \sum_{j=1}^{N_m} (D_{jOAR} - D_{mOAR})^2$$

Với N: số thể tích thành phần của khối u; N<sub>n</sub>: tổng số voxel của thành phần khối u thứ n; D<sub>nT</sub>: liều chỉ định của thành phần khối u thứ n; D<sub>iT</sub>: liều thực tế bỏ tại voxel thứ i của thành phần khối u thứ n; M: số cơ quan trọng cần bảo vệ; N<sub>m</sub>: tổng số voxel của cơ quan trọng thứ m; D<sub>jOAR</sub>: liều thực tế bỏ tại voxel thứ j của cơ quan quan trọng thứ m; D<sub>mOAR</sub>: liều tối đa bỏ tại cơ quan trọng thứ m; ω<sub>nT</sub>: hệ số quan trọng của thành phần khối u thứ n; ω<sub>mOAR</sub>: hệ số quan trọng của cơ quan trọng thứ m.

Kế hoạch tối ưu nhất khi hàm mục tiêu đạt giá trị nhỏ nhất. Để giải bài toán tối ưu này, có hai phương pháp tổng quát là tìm tối ưu có định hướng (phương pháp Newton với xấp xỉ chéo ma trận Hessian...) và tìm tối ưu không có định hướng (thuật toán gene...). Phương pháp Newton với xấp xỉ chéo ma trận Hessian được sử dụng trong CERR[5].

chùm tia bút chì [14][16] và thuật toán Monte Carlo [13] [14]. Thuật toán chùm tia bút chì là thuật toán tính gần đúng sự phân bố liều cho kết quả có độ tin cậy cao hơn Ray Tracing và thời gian tính toán hợp lí, ngắn hơn Monte Carlo [10]. Liều phân bố tại một voxel do một chùm tia được tính bằng tổng tất cả các phân bố liều do tất cả các chùm tia bút chì của chùm tia đó đóng góp tại voxel đó.

**Dữ liệu của bệnh nhân**

Trong công trình này, chúng tôi lập kế hoạch xạ trị điều biến cường độ chùm proton (IMPT-Intensity Modulated Proton Therapy) cho khối u ở tuyến tiền liệt. Phantom CT có tổng cộng 55 lát cắt, khối u nằm trong 47 lát cắt ở giữa. Kích thước của mỗi voxel của phantom CT là 0.977x0.977x0.2(cm<sup>3</sup>).

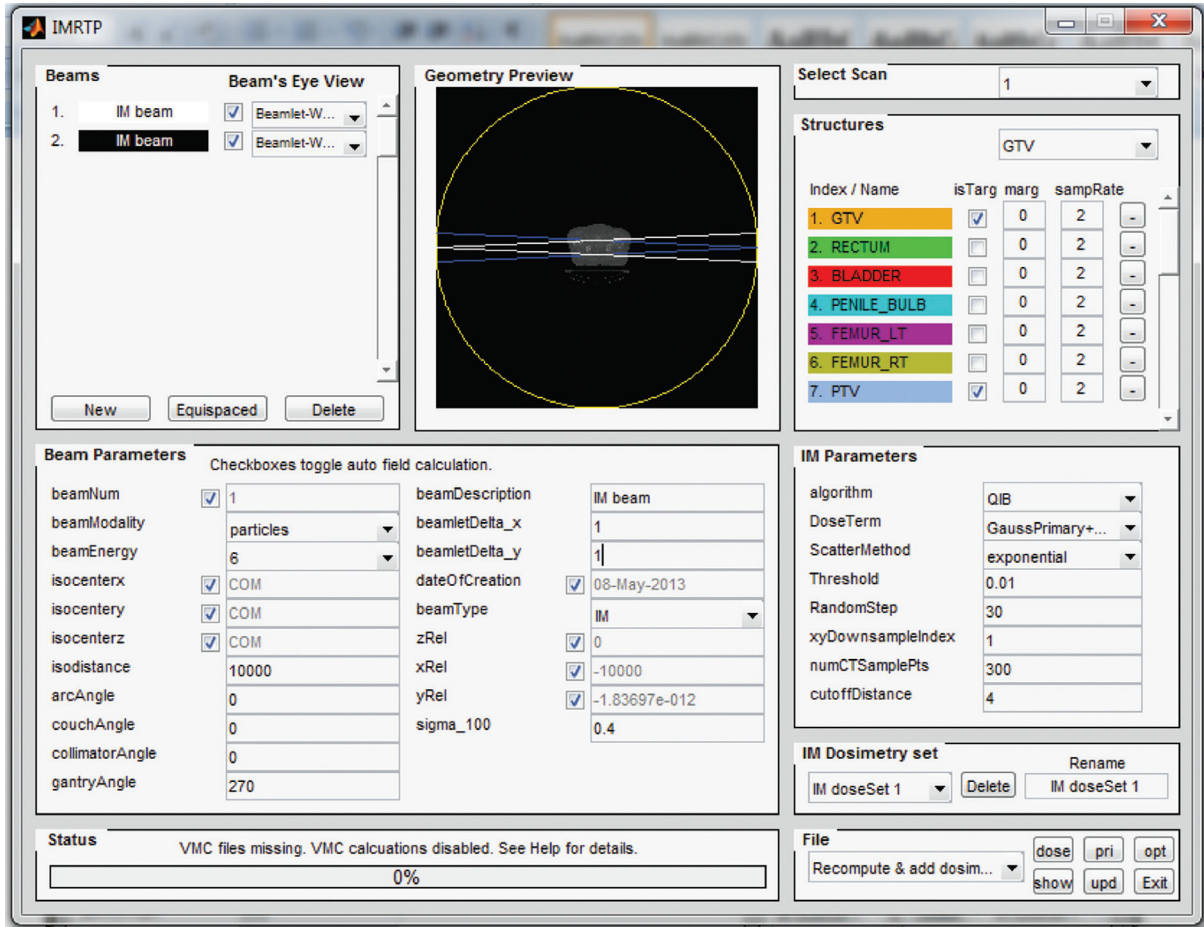
**III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**1. Phân bố liều bằng kĩ thuật IMPT và so sánh với kết quả bằng kĩ thuật IMRT**

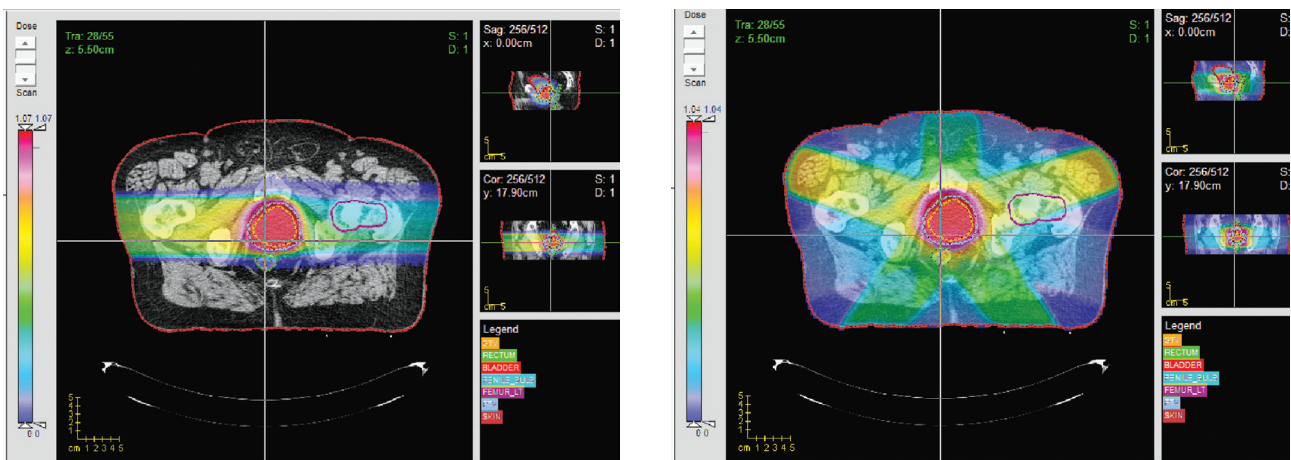
Trên hình 2 thể hiện hướng chiếu của chùm tia đối với khối u, các thông số của chùm tia, cấu trúc của khối u và các thông số cho thuật toán tối ưu.

Kết quả phân bố liều trên 3 hướng: S-I (hướng trên dưới theo lát cắt ngang), L-R (hướng từ trái qua phải), A-P (hướng trước sau) ở các hình 3, hình 4, hình 5.

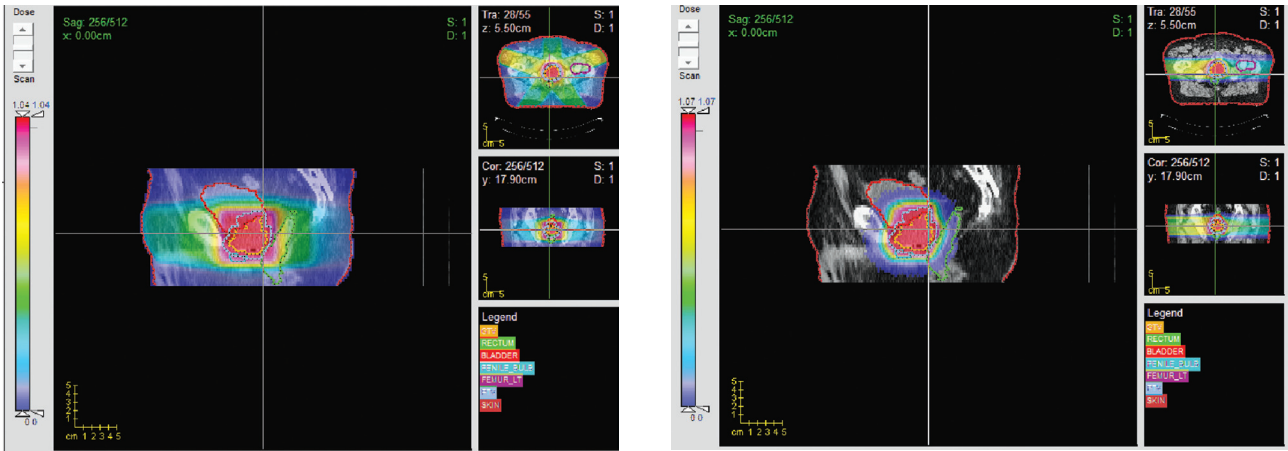
Liều yêu cầu phải đạt trong kế hoạch cho một lần xạ là 1.05Gy. Các hình 3, 4 và 5 cho thấy cả hai kế hoạch đều đạt yêu cầu này. Kế hoạch IMPT có phân bố liều cao bao khí PTV tốt hơn so với kế hoạch IMRT. Thể tích cơ quan lành nhận liều đối với IMRT gần như là toàn bộ lát cắt; tất cả các cơ quan xung quanh: mô, bàng quang, ruột thẳng, xương đùi, dương vật đều nhận liều. Trong kế hoạch IMPT, các cơ quan xung quanh nhận liều rất ít hoặc bằng 0. Chính vì vậy, xạ trị bằng chùm proton sẽ hạn chế đáng kể các hiệu ứng phụ và ung thư thứ cấp.



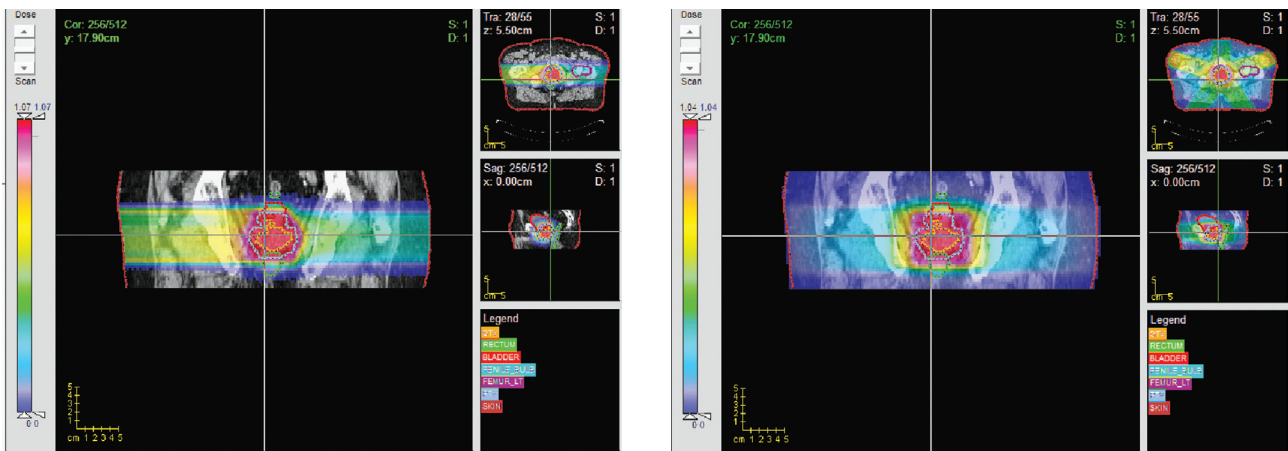
Hình 2. Các thông số của chùm proton và các thông số của thuật toán tối ưu cho chùm



Hình 3. Phân bố liều lên một lát cắt ngang bằng kỹ thuật IMPT (bên trái) và bằng kỹ thuật IMRT (bên phải)



Hình 4. Phân bố liều trên một mặt phẳng dọc theo cơ thể từ trái qua phải (hướng L-R) từ phương pháp IMPT (bên trái) và phương pháp IMRT (bên phải)



Hình 5. Phân bố liều trên một mặt phẳng dọc theo cơ thể từ trước ra sau (hướng S-I) từ phương pháp IMPT (bên trái) và phương pháp IMRT (bên phải).

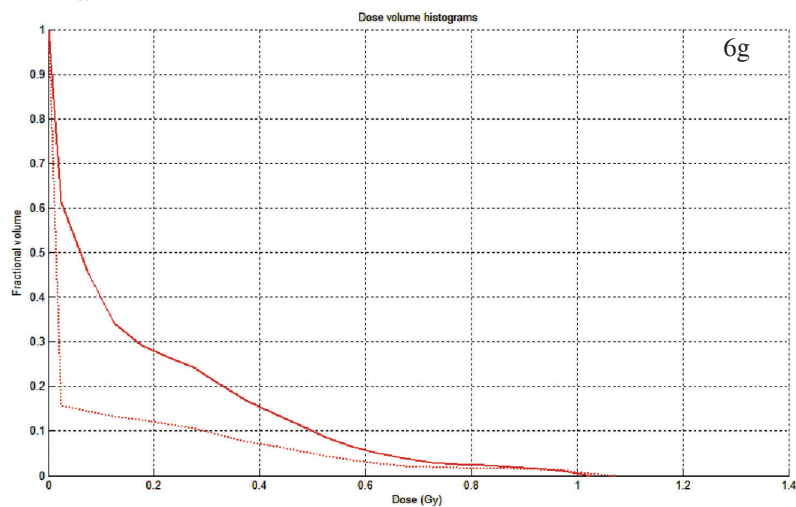
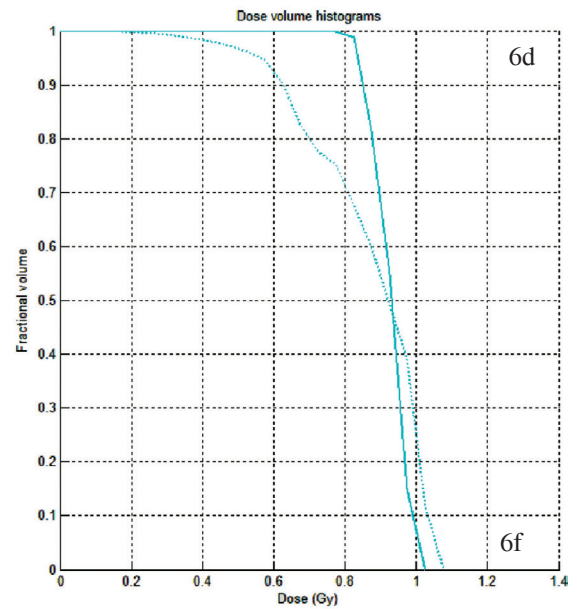
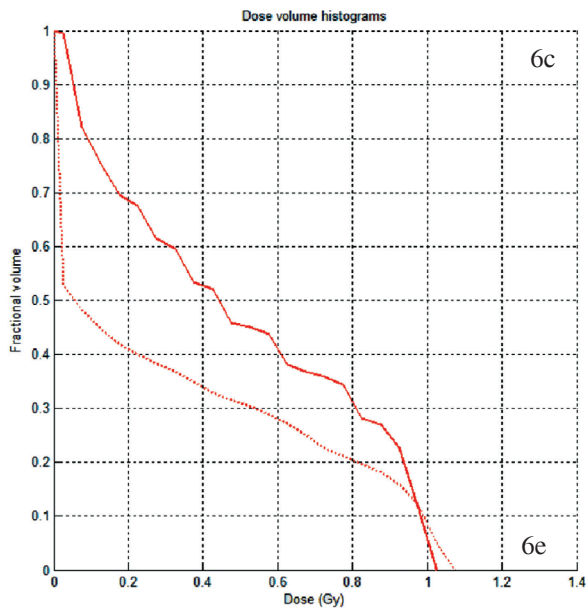
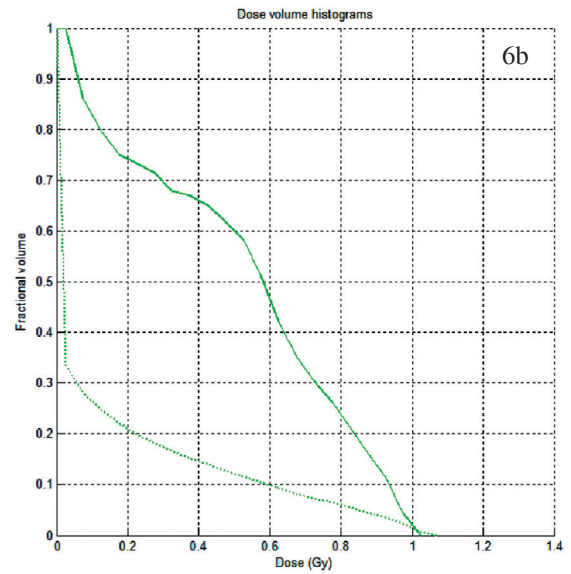
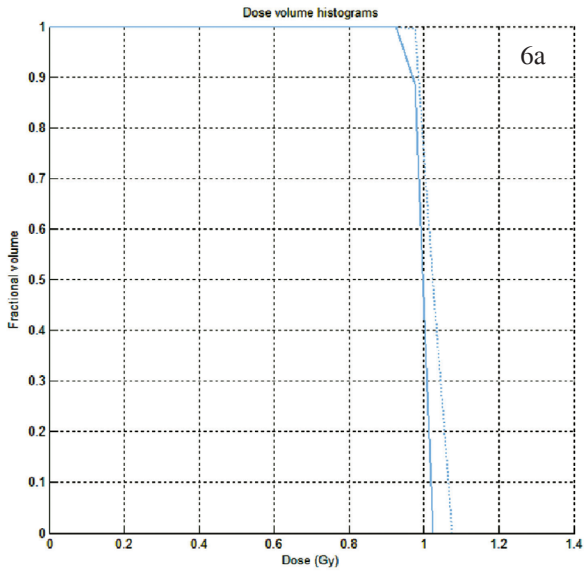
## 2. Đánh giá kế hoạch bằng DVH - giảm đồ liều theo thể tích

Hình 6a) thể hiện giá trị liều theo thể tích của PTV đối với 2 kế hoạch IMPT và IMRT. Cả hai kế hoạch đều đạt yêu cầu trên 95% thể tích của PTV nhận giá trị liều từ 95% đến 107% liều chỉ định của bác sĩ. Tuy nhiên, đối với kế hoạch IMPT các cơ quan lành: ruột, bàng quang, dương vật, xương đùi trái, xương đùi phải

và da, phần nhận liều cao có thể tích nhỏ hơn so với kế hoạch IMRT (hình 6b), c), d), e), f), g) bên dưới). Đường cong phân bố liều của IMPT theo thể tích giảm nhanh khi liều tăng.

Hình 6a), b), c), d), e), f), g) so sánh phân bố liều lên PTV, ruột, bàng quang, dương vật, xương đùi trái, xương đùi phải, da của kế hoạch IMPT (nét liền) và IMRT (nét đứt).





#### IV. KẾT LUẬN

Trong công trình này, chúng tôi đã lập được kế hoạch xạ trị proton cho khối u ở tuyến tiền liệt. Kết quả cho thấy kế hoạch IMPT tối ưu hơn so với kế hoạch IMRT. Khi xạ trị bằng IMPT, bệnh nhân sẽ nhận liều lên các cơ quan lành xung quanh ít hơn nhiều so với IMRT. Tuy nhiên, IMPT đòi hỏi phải có độ chính xác cao nên yêu cầu đặt ra cho kĩ thuật lập kế hoạch xạ trị và kĩ thuật phân bố liều của thiết bị cũng phải có độ chính xác cao. Trong công trình tiếp theo, chúng tôi sẽ khảo sát

và đánh giá ảnh hưởng của sai số trong quá trình xạ trị lên sự phân bố liều.

Để đầu tư cho kĩ thuật IMPT tại các bệnh viện sẽ cần những tiến bộ hơn nữa trong việc giảm kích thước của máy xạ trị proton, để giảm giá thành của thiết bị. Có nhiều nhóm các nhà khoa học của các bệnh viện và các trường đại học đang đầu tư nghiên cứu rất nhiều về lĩnh vực này [1][7][18]. Chúng tôi hi vọng trong tương lai, nước ta sẽ sớm có những thiết bị này để đáp ứng nhu cầu chữa bệnh hiệu quả cao cho bệnh nhân ung thư.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. I. Papash et al, "Commercial accelerators: Compact super conducting synchrocyclotrons with magnetic field up to 10 T for proton and carbon therapy", *Physics of Particles and Nuclei Letters*, Volume 9, Issue 6-7, pp 517-529, November 2012.
2. Alfred R. Smith, "Vision 20/20: proton therapy", *Medical Physics* 36, pp 556-568, 2009.
3. A. Lomax, "Intensity modulation methods for proton radiotherapy," *Phys. Med. Biol.* 44, pp 185–205, 1999.
4. Basit S. Athar, Harald Paganetti, "Comparison of second cancer risk due to out-of-field doses from 6-MV IMRT and proton therapy based on 6 pediatric patient treatment plans", *Radiotherapy and Oncology* 98, pp 87-92, 2011.
5. Ezzell, G., "Genetic and geometric optimization of three-dimensional radiation therapy treatment planning", *Med Phys* 23(3), pp 293-305, 1996.
6. ICRU Report 78, *Prescribing, Recording, and Reporting Proton-Beam Therapy*, Journal of the ICRU, Oxford University Press, Vol. 7 No 2, 2007.
7. J.N.A. Matthews: "Accelerators shrink to meet growing demand for proton therapy", *Physics Today*, p. 22, March 2009.
8. J. O. Deasy, A. I. Blanco, and V. H. Clark, "CERR: A computational environment for radiotherapy research," *Med. Phys.* 30, pp 979–985, 2003.
9. Lee, M., Nahum, A. E., and Webb, S., *An empirical method to build up a model of proton dose distribution for a radiotherapy treatment planning package*, *Phys. Med. Biol.*, 38, pp 989–998, 1993.
10. Linda Hong et al, *A pencil beam algorithm for proton dose calculations*, *Phys. Med. Biol.* 41, pp 1305–1330, 1996.

#### TÓM TẮT

Cho đến nay, ngoài phương pháp truyền thống là chùm electron và chùm tia photon để xạ trị thì việc sử dụng chùm proton mang năng lượng cao đã và đang thu hút nhiều bệnh viện và các nhà khoa học đầu tư và phát triển. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày sử dụng hệ thống xạ trị CERR (Computational Environment for Radiotherapy Research) để lập kế hoạch điều trị khối u tuyến tiền liệt. Kết quả cho thấy việc xạ trị bằng chùm proton mang lại những kế hoạch xạ trị tối ưu; tập trung liều tối đa vào u và hạn chế đến cực tiểu liều vào các cơ quan lành xung quanh; giảm đáng kể hiệu ứng phụ xảy ra sau quá trình xạ trị. Ngoài ra, chúng tôi cũng so sánh việc lập kế hoạch xạ trị bằng chùm proton với bằng chùm photon để khẳng định lại kết quả trên.

**Từ khóa:** bệnh ung thư, kế hoạch xạ trị, xạ trị bằng chùm proton.