

ẢNH HƯỞNG CỦA THUỐC CẢN QUANG TÍNH MẠCH TRÊN CT MÔ PHỎNG ĐẾN TÍNH TOÁN LIỀU XẠ TRỊ VMAT-DIBH TIỀN PHẪU UNG THƯ THỰC QUẢN

Trần Bá Bách*, Nguyễn Đình Long, Đoàn Trung Hiệp,
Dương Văn Nghĩa, Lê Đức Anh

TÓM TẮT

Đặt vấn đề: Xạ trị VMAT-DIBH tiền phẫu ung thư thực quản yêu cầu độ chính xác cao trong xác định thể tích điều trị (PTV) và các cơ quan nguy cơ (OARs) như tim (Heart). Việc sử dụng thuốc cản quang tĩnh mạch trên CT mô phỏng (CCT) giúp cải thiện độ tương phản hình ảnh, hỗ trợ quá trình contour. Tuy nhiên, sự gia tăng tỷ trọng thể hiện qua đơn vị Hounsfield Units (HU) trên ảnh CT mô phỏng do thuốc cản quang có thể gây ra sai số trong tính toán liều xạ trị. Nghiên cứu này nhằm đánh giá định lượng sai số tính liều do thuốc cản quang và hiệu quả của việc hiệu chỉnh tỷ trọng trong lập kế hoạch xạ trị VMAT-DIBH tiền phẫu ung thư thực quản.

Đối tượng và phương pháp: Nghiên cứu hồi cứu trên 15 bệnh nhân ung thư thực quản tiền phẫu. Mỗi bệnh nhân có ba chuỗi CT mô phỏng: DIBH không tiêm thuốc cản quang (NCCT), DIBH có tiêm thuốc cản quang (CCT), và thở tự do có nuốt dung dịch thuốc cản quang (FBCT). Với mỗi bệnh nhân, 4 kế hoạch xạ trị được lập và tính liều trên hệ thống Eclipse v13.0, sử dụng thuật toán Acuros XB: kế hoạch tham chiếu NCCT trên chuỗi ảnh NCCT, kế hoạch CCT trên chuỗi ảnh CCT, kế hoạch CCT_HU0 trên chuỗi ảnh CCT_HU0 (HU của vùng ngấm thuốc được gán bằng 0), và kế hoạch CCT_HU trên chuỗi ảnh CCT_HU (HU của vùng ngấm thuốc được gán bằng HU trung bình trong vùng này của chuỗi NCCT). Các thông số liều của PTV và Heart được so sánh bằng phép kiểm định thống kê cặp đôi Wilcoxon.

Kết quả: Giá trị HU trung bình của vùng ngấm thuốc cản quang (zContrastAgent) trên CCT là 295 ± 60 HU, cao hơn đáng kể so với 130 ± 17 HU trên NCCT. Kế hoạch CCT cho thấy sự thay đổi liều đáng kể so với kế hoạch tham chiếu NCCT, đặc biệt trên các thể tích ngấm thuốc (zCA_PTV và zCA_Heart). Cụ thể, sai số liều trung bình D_{mean} trên zCA_PTV là -0,65% (cao nhất lên tới -1,42%) và trên zCA_Heart là -0,42% (cao nhất lên tới -1,94%). Việc hiệu chỉnh tỷ trọng bằng cách gán HU về giá trị ban đầu (kế hoạch CCT_HU) đã giúp giảm thiểu sai số liều một cách hiệu quả, đưa các thông số liều trở về gần tương đương với kế hoạch tham chiếu NCCT hơn là so với phương pháp gán HU bằng 0 (CCT_HU0), phương pháp này làm tăng liều trên cả hai thể tích ngấm thuốc.

Bệnh viện Đa khoa Quốc tế Vinmec Times City

*Chịu trách nhiệm chính: Trần Bá Bách

Email: v.bachtb@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/10/2025

Ngày phản biện: 15/11/2025

Ngày chấp nhận đăng: 01/12/2025

Kết luận: Sự hiện diện của thuốc cản quang tĩnh mạch gây ra sai số liều đáng kể trên các thể tích ngấm thuốc, đặc biệt là các cấu trúc mạch máu và mô tim. Việc hiệu chỉnh tỷ trọng là cần thiết để đảm bảo độ chính xác của kế hoạch xạ trị. Kỹ thuật hiệu chỉnh bằng cách gán lại HU về giá trị ban đầu của chuỗi NCCT cho thấy hiệu quả vượt trội trong việc giảm sai số so với phương pháp gán HU bằng 0. Nghiên cứu khuyến nghị sử dụng chuỗi CT có thuốc cản quang để contour chính xác, nhưng cần có quy trình hiệu chỉnh tỷ trọng nghiêm ngặt trước khi tính toán liều.

Từ khóa: Xạ trị ung thư thực quản, VMAT-DIBH, thuốc cản quang, dosimetry, Acuros XB, hiệu chỉnh tỷ trọng.

DOSIMETRIC IMPACT OF CONTRAST-ENHANCED CT ON VMAT-DIBH TREATMENT PLANNING FOR PREOPERATIVE ESOPHAGEAL CANCER

ABSTRACT

Background: Pre-operative VMAT-DIBH radiotherapy for esophageal cancer requires high accuracy in defining the planning target volume (PTV) and organs at risk (OARs) such as the heart. The use of intravenous contrast agents on simulation CT (CCT) helps improve image contrast, thereby supporting the contouring process. However, the increase in tissue density, represented by Hounsfield Units (HU) on the simulation CT images due to the contrast agent, can introduce errors in dose calculation. This study aimed to quantitatively evaluate the dosimetric error caused by the contrast agent and the effectiveness of density correction methods in pre-operative VMAT-DIBH radiotherapy planning for esophageal cancer.

Materials and Methods: This was a retrospective study on 15 patients with pre-operative esophageal cancer. Each patient had three simulation CT scans: DIBH non-contrast (NCCT), DIBH contrast-enhanced (CCT), and free-breathing with oral contrast (FBCT). For each patient, four radiotherapy plans were created and dose-calculated on the Eclipse v13.0 system using the Acuros XB algorithm: a reference NCCT plan on the NCCT image series, a CCT plan on the CCT image series, a CCT_HU0 plan on the CCT_HU0 image series (where the HU of the contrast-enhanced region was set to 0), and a CCT_HU plan on the CCT_HU image series (where the HU of the contrast-enhanced region was set to the mean HU of this region from the NCCT series). Dosimetric parameters for the PTV and Heart were compared using a paired Wilcoxon statistical test.

Results: The mean HU value of the contrast-enhanced region (zContrastAgent) on CCT was 295 ± 60 HU, which was significantly higher than the 130 ± 17 HU on NCCT. The CCT plan showed significant dose changes compared to the reference NCCT plan, especially in the contrast-enhanced volumes (zCA_PTV and zCA_Heart). Specifically, the mean dose error (Dmean) for zCA_PTV was -0.65% (with errors reaching as low as -1.42%) and for zCA_Heart was -0.42% (with errors reaching as low as -1.94%). Density correction by assigning the original HU value (the CCT_HU plan) effectively minimized the dosimetric errors, bringing the dose parameters closer to the NCCT reference plan compared to the method of assigning HU to 0 (the CCT_HU0 plan), which increased the dose in both contrast-enhanced volumes.

Conclusion: The presence of intravenous contrast agent causes significant dosimetric errors in the contrast-enhanced volumes, particularly in blood vessels and heart tissue. Density correction is essential to ensure the accuracy of radiotherapy planning. The correction technique of reassigning HU to the original value from the NCCT series showed superior effectiveness in reducing errors compared to the method of assigning HU to 0. The study recommends using contrast-enhanced CT for accurate contouring, but a rigorous density correction protocol is needed before dose calculation.

Keywords: Esophageal cancer radiotherapy, VMAT-DIBH, contrast agent, dosimetry, Acuros XB, density correction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ung thư thực quản là một trong những bệnh ung thư phổ biến và gây tử vong cao trên toàn thế giới [1]. Đối với các trường hợp ung thư thực quản giai đoạn tiến triển tại vùng, hóa xạ trị tiền phẫu được coi là một phương thức điều trị chuẩn mực [1]. Việc áp dụng các kỹ thuật xạ trị hiện đại như xạ trị điều biến thể tích theo cung xoay (VMAT) kết hợp với kỹ thuật kiểm soát nhịp thở cuối thì hít vào (DIBH) đã mang lại nhiều lợi ích vượt trội. Các kỹ thuật này không chỉ giúp tập trung liều cao vào thể tích mục tiêu (PTV) mà còn tối ưu hóa việc bảo vệ các cơ quan nguy cơ (OARs) quan trọng trong lồng ngực như tim, phổi và tủy sống, góp phần giảm thiểu độc tính muộn cho bệnh nhân [1].

Để lập kế hoạch xạ trị, việc chụp CT mô phỏng là một bước không thể thiếu, cung cấp thông tin hình thái và tỷ trọng mô chi tiết cho hệ thống lập kế hoạch xạ trị (TPS) [2]. Tuy nhiên, việc xác định chính xác ranh giới của khối u và các hạch di căn trong vùng trung thất, đặc biệt là các cấu trúc mạch máu và các hạch cạnh thực quản, thường gặp nhiều khó khăn trên CT không tiêm thuốc cản quang (NCCT) do độ tương phản thấp. Để khắc phục hạn chế này, việc sử dụng thuốc cản quang tĩnh mạch (CCT) là một thực hành lâm sàng phổ biến nhằm tăng cường độ tương phản, giúp các bác sĩ contour các thể tích điều trị và cơ quan lành một cách chính xác hơn [2].

Thế nhưng, việc tiêm thuốc cản quang chứa iodine gây ra một sự thay đổi lớn về tỷ trọng mô, được biểu hiện thông qua sự tăng đột ngột của giá trị Hounsfield Unit (HU) trong các cấu trúc ngâm

thuốc [2]. Điều này đặt ra một thách thức lớn về vật lý y học, bởi lẽ các thuật toán tính toán liều xạ trị hiện đại như Acuros XB (AXB) hoạt động dựa trên việc chuyển đổi chính xác giá trị HU thành mật độ điện tử của mô để mô phỏng tương tác của tia xạ với vật chất [3]. Do đó, sự gia tăng HU gây ra bởi thuốc cản quang có thể dẫn đến sai số trong tính toán liều, ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của kế hoạch xạ trị.

Đã có nhiều nghiên cứu trên thế giới đánh giá ảnh hưởng của thuốc cản quang đến tính toán liều, nhưng kết quả vẫn còn nhiều điểm chưa thống nhất [2]. Một số nghiên cứu trên các bệnh nhân ung thư đầu và cổ cho thấy sự khác biệt liều không đáng kể khi sử dụng thuật toán AXB (sai số < 0,31%), do ảnh hưởng của thuốc cản quang chủ yếu diễn ra cục bộ trong một thể tích nhỏ [5]. Ngược lại, một số nghiên cứu khác lại báo cáo sai số liều đáng kể ở vùng thực quản ngực dưới [2]. Sự khác biệt này cho thấy ảnh hưởng của thuốc cản quang phụ thuộc vào nhiều yếu tố: vị trí giải phẫu (vùng ngực có độ không đồng nhất cao hơn đầu cổ), kỹ thuật xạ trị và đặc biệt là thuật toán tính liều [2]. Một mâu thuẫn lâm sàng quan trọng được đặt ra là: Liệu lợi ích của việc contour chính xác trên CCT có đủ lớn để bù đắp cho sai số liều do thuốc cản quang gây ra, hay chúng ta cần phải thực hiện việc hiệu chỉnh tỷ trọng?

Hiện nay, các kế hoạch điều trị vẫn thường được tính toán trên chuỗi CT không tiêm thuốc cản quang (NCCT), mặc dù các thể tích điều trị lại được contour dựa trên sự kết hợp hình ảnh từ CCT. Điều này tiềm ẩn nguy cơ sai sót do sự không nhất quán giữa hình thái giải phẫu và thông tin tỷ trọng. Do đó, một phân tích định lượng về

mức độ sai số tính liều do thuốc cản quang và đánh giá vai trò của việc hiệu chỉnh tỷ trọng là vô cùng cần thiết để tối ưu hóa quy trình lập kế hoạch xạ trị.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm hai mục tiêu chính:

- Đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ trọng do thuốc cản quang tĩnh mạch trên CT mô phỏng đến tính toán liều xạ trị VMAT-DIBH tiền phẫu ung thư thực quản.
- Đánh giá vai trò của việc hiệu chỉnh tỷ trọng đến việc giảm sai số tính liều khi sử dụng chuỗi ảnh CT mô phỏng có tiêm thuốc cản quang.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu được thiết kế theo phương pháp hồi cứu, mô phỏng tính toán liều dựa trên dữ liệu của 15 bệnh nhân ung thư thực quản tiền phẫu đã được xạ trị tại Khoa Xạ trị từ năm 2019 đến năm 2024. Bệnh nhân được lựa chọn ngẫu nhiên từ cơ sở dữ liệu bệnh án đã được phê duyệt điều trị lâm sàng.

2.2. Đặc điểm đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là 15 bệnh nhân ung thư thực quản có chỉ định xạ trị tiền phẫu. Đặc điểm của các bệnh nhân được tổng hợp từ dữ liệu lâm sàng và thể tích các cấu trúc giải phẫu đã được contour trên CT mô phỏng.

Bảng 1. Đặc điểm đối tượng và thể tích các cấu trúc giải phẫu (n=15)

Thông số	Giá trị trung bình $\pm$ SD
Tuổi (năm)	60,33 $\pm$ 8,40
Thể tích PTV (cm ³)	679,86 $\pm$ 210,12
Thể tích Heart (cm ³)	542,71 $\pm$ 119,55
Thể tích zCA_PTV (cm ³)	96,82 $\pm$ 31,97
Thể tích zCA_Heart (cm ³)	286,92 $\pm$ 96,15

Ghi chú: zCA_PTV là thể tích giao của PTV và vùng ngấm thuốc cản quang. zCA_Heart là thể tích giao của Heart và vùng ngấm thuốc cản quang.

2.3. Quy trình chụp và lập kế hoạch

Tất cả 15 bệnh nhân đều được chụp ba chuỗi CT mô phỏng trên máy GE Optima 580 và hệ thống quản lý nhịp thở Varian RPM: chuỗi CT mô phỏng nhin thở cuối thì hít vào không tiêm thuốc cản quang (NCCT), chuỗi CT mô phỏng nhin thở cuối thì hít vào có tiêm thuốc cản quang (CCT), và chuỗi CT mô phỏng thở tự do có nuốt dung dịch thuốc cản quang (FBCT). Các chuỗi ảnh CT này cùng với các dữ liệu lâm sàng khác (PET/CT, MRI) được fusion/registration để các bác sĩ xạ trị ung bướu contour chính xác các thể tích điều trị (GTV, CTV, PTV) và các cơ quan nguy cơ (OARs) [2]. Chỉ định liều xạ trị tiền phẫu là 41,4 Gy trong 23 phân liều, mỗi phân liều 1,8 Gy. Một số tiêu chuẩn chấp nhận kế hoạch chính được đặt ra:

$D_{95\%} \geq 95\%$ liều kê cho PTV và $V_{20Gy} \leq 35\%$ cho Phổi (Lungs), $D_{mean} \leq 26$ Gy cho Tim [5].

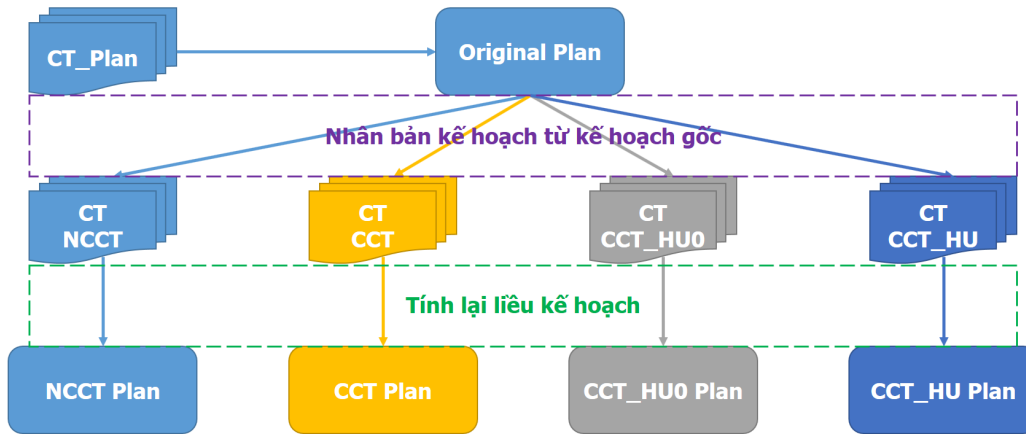
Kế hoạch xạ trị lâm sàng được lập trên chuỗi ảnh NCCT đã được phê duyệt và điều trị cho bệnh nhân trên máy xạ trị Vaarrian Clinac iX. Việc tính toán liều được thực hiện bằng thuật toán Acuros XB (AXB) trên hệ thống lập kế hoạch Eclipse v13.0 (Varian) [3]. Thuật toán AXB, một thuật toán dựa trên phương trình Boltzmann, được biết đến là thuật toán có độ chính xác cao trong các môi trường không đồng nhất và khi có vật liệu có tỷ trọng cao như xương hoặc thuốc cản quang, so với các thuật toán dựa trên mô hình tương phản như AAA [3].

2.4. Lập các kế hoạch nghiên cứu mô phỏng

Với mỗi bệnh nhân, 4 kế hoạch xạ trị được lập và tính lại liều trên hệ thống Eclipse v13.0, sử dụng thuật toán Acuros XB: Kế hoạch tham chiếu

NCCT trên chuỗi NCCT, kế hoạch CCT trên chuỗi CCT, kế hoạch CCT_HU0 trên chuỗi CCT_HU0 (HU của vùng ngấm thuốc được gán bằng 0) và kế hoạch CCT_HU trên chuỗi CCT_HU (HU của vùng ngấm thuốc được gán bằng HU trung bình trong vùng này của chuỗi NCCT).

Tất cả các thông số tính liều và thuật toán Acuros XB được giữ nguyên so với kế hoạch gốc ban đầu cho cả bốn kế hoạch để đảm bảo tính nhất quán của nghiên cứu.



Hình 1: Sơ đồ minh họa quy trình lập kế hoạch nghiên cứu.

2.5. Thu thập và phân tích số liệu

Các thông số liều sau được thu thập cho mỗi bệnh nhân và mỗi kế hoạch:

- Đối với PTV: Các chỉ số bao phủ và đồng nhất liều: $D_{\text{nearmax}} (D_{2\%})$, $D_{\text{nearmin}} (D_{98\%})$, $D_{\text{mean}} (D_{50\%})$, $D_{95\%}$, CI (Conformity Index), và HI (Homogeneity Index) [6].

- Đối với Tim: Các chỉ số liều liên quan đến độc tính tim: D_{max} , D_{mean} , $V_{20\text{Gy}}$, $V_{30\text{Gy}}$, $V_{40\text{Gy}}$ [5].

- Đối với các thể tích giao (zCA_PTV và zCA_Heart): Các chỉ số liều tương tự như trên.

Các phép so sánh được thực hiện bằng phép kiểm định thống kê cặp đôi Wilcoxon để đánh giá

sự khác biệt giữa các kế hoạch CCT, CCT_HU0, CCT_HU với kế hoạch NCCT. Mức ý nghĩa thống kê được đặt là $p < 0,05$.

3. KẾT QUẢ

3.1. Sự thay đổi tỷ trọng Hounsfield Unit (HU)

Phân tích dữ liệu cho thấy giá trị HU trung bình của vùng ngấm thuốc cản quang (zContrastAgent) trên chuỗi CCT cao hơn đáng kể so với trên chuỗi NCCT. Giá trị HU trung bình trên CCT là 295 HU (độ lệch chuẩn 60 HU), trong khi trên NCCT chỉ là 130 HU (độ lệch chuẩn 17 HU). Sự chênh lệch HU trung bình là 165 HU, phản ánh mức độ tăng tỷ trọng đáng kể do thuốc cản quang gây ra.

Bảng 2. So sánh giá trị HU trung bình của cấu trúc zContrastAgent trên NCCT và CCT (n=15)

Thông số	Giá trị trung bình $\pm$ SD (HU)
HU trung bình trên NCCT	130 $\pm$ 17
HU trung bình trên CCT	295 $\pm$ 60
Độ chênh lệch HU	165 $\pm$ 62

3.2. So sánh các thông số liều của PTV và zCA_PTV

Các thông số liều của toàn bộ thể tích PTV cho thấy sự khác biệt nhỏ giữa các kế hoạch và các

khác biệt này là không có ý nghĩa thống kê. Tuy nhiên, khi phân tích liều trên thể tích zCA_PTV (vùng PTV ngấm thuốc), sự khác biệt trở nên đáng kể hơn.

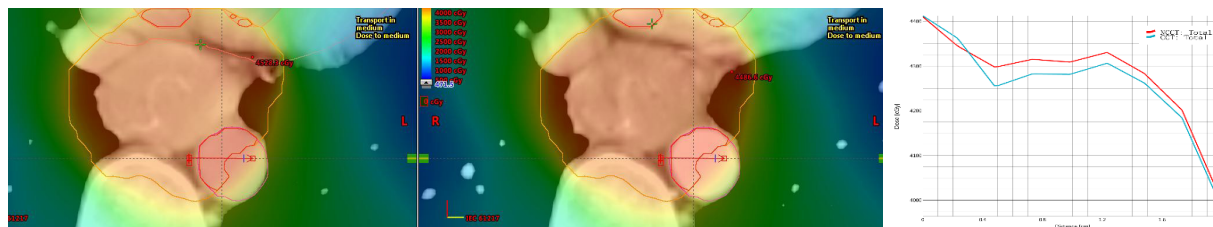
Bảng 3. So sánh thông số liều của PTV và zCA_PTV giữa 4 kế hoạch (n=15)

Thông số	NCCT (Gy)	CCT (Gy)	CCT_HU0 (Gy)	CCT_HU (Gy)	p-value (CCT vs NCCT)	p-value (CCT_HU0 vs NCCT)	p-value (CCT_HU vs NCCT)
PTV							
D _{mean}	43,04±0,59	43,06±0,57	43,09±0,61	43,05±0,58	0,609	0,105	0,887
D _{95%}	40,45±0,78	40,45±0,79	40,45±0,78	40,45±0,78	0,705	0,157	0,157
HI	0,13±0,03	0,13±0,02	0,13±0,03	0,13±0,02	0,527	0,414	1,000
zCA_PTV							
D _{mean}	42,96±0,71	42,68±0,72	43,50±0,79	43,05±0,84	0,002	0,001	0,649
D _{95%}	40,92±0,96	40,62±0,95	41,44±0,97	40,86±0,87	0,001	0,001	0,221

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn (SD).

Trên toàn bộ thể tích PTV, kế hoạch CCT và CCT_HU0 không cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về liều trung bình ($p = 0,609$ và $p = 0,105$) so với kế hoạch tham chiếu NCCT. Tuy nhiên, khi phân tích liều trên thể tích zCA_PTV (vùng PTV ngấm thuốc), sự thay đổi trở nên rõ rệt và có ý nghĩa thống kê. Cụ thể, D_{mean} trên kế hoạch CCT thấp hơn 0,65% so với NCCT ($p = 0,002$), trong khi trên kế hoạch CCT_HU0 lại cao hơn so với NCCT ($p = 0,001$). Điều này chỉ ra rằng sai

số liều do thuốc cản quang chủ yếu diễn ra cục bộ trong thể tích ngấm thuốc. Việc hiệu chỉnh tỷ trọng bằng cách gán tỷ trọng về giá trị HU trung bình trên chuỗi NCCT (kế hoạch CCT_HU) đã giúp khôi phục các thông số liều của zCA_PTV, đưa D_{mean} và D_{95%} trở về gần tương đương với kế hoạch tham chiếu NCCT ($p = 0,649$ và $p = 0,221$), trong khi phương pháp gán HU bằng 0 (CCT_HU0) làm tăng liều đáng kể so với kế hoạch tham chiếu một cách có ý nghĩa thống kê ($p = 0,001$).



Hình 2: Đường phân bố liều đi qua vùng ngấm thuốc cản quang trong PTV: kế hoạch NCCT (trái), kế hoạch CCT (giữa) và biểu đồ chênh lệch liều giữa 2 kế hoạch (phải) trong đó đường màu đỏ là của NCCT và đường màu xanh là của CCT.

3.3. So sánh các thông số liều của Heart và zCA_Heart

Sự khác biệt liều trên toàn bộ Heart là không

đáng kể, tương tự như PTV, nhưng sự thay đổi liều trên thể tích zCA_Heart lại có ý nghĩa lâm sàng quan trọng.

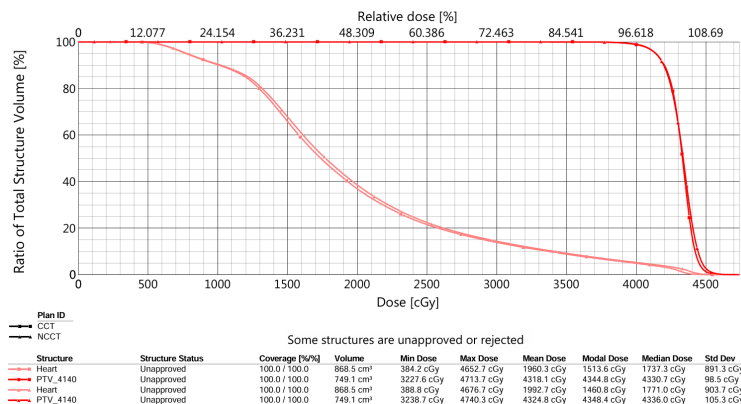
Bảng 4. So sánh thông số liều của Tim và zCA_Heart giữa 4 kế hoạch (n=15)

Thông số	NCCT	CCT	CCT_HU0	CCT_HU	p-value (CCT vs NCCT)	p-value (CCT_HU0 vs NCCT)	p-value (CCT_HU vs NCCT)
Heart							
D _{mean} (Gy)	20,05±2,51	20,00±2,46	20,20±2,48	20,03±2,45	0,140	0,001	0,432
V _{20Gy} (%)	41,81±13,33	41,69±13,24	42,50±13,17	41,81±13,14	0,363	0,001	0,670
zCA_Heart							
D _{mean} (Gy)	20,47±2,77	20,37±2,69	20,76±2,75	20,46±2,69	0,033	0,001	0,615
V _{30Gy} (%)	14,13±5,99	13,82±5,78	14,81±6,13	14,03±5,84	0,010	0,001	0,233

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn (SD).

Liều trung bình D_{mean} vào toàn bộ Tim trên kế hoạch CCT so với NCCT không có ý nghĩa thống kê (p = 0,140), trong khi trên kế hoạch CCT_HU0 lại có ý nghĩa thống kê (p = 0,001). Điều này cho thấy phương pháp CCT_HU0 làm thay đổi liều lên toàn bộ Tim một cách đáng kể. Tương tự, liều trung bình trên thể tích ngấm thuốc của Tim (zCA_Heart) trên cả hai kế hoạch CCT và CCT_HU0 đều cho thấy sự khác biệt có ý

nghĩa thống kê so với kế hoạch tham chiếu NCCT (p = 0,033 và p = 0,001). Cả hai phương pháp CCT và CCT_HU0 đều làm thay đổi liều cục bộ lên các vùng ngấm thuốc trong mạch máu, tim, làm tăng liều trên CCT_HU0, trong khi kế hoạch CCT_HU giúp giảm thiểu sai số, đưa liều về gần tương đương với kế hoạch tham chiếu NCCT, sai số không có ý nghĩa thống kê (p = 0,615).

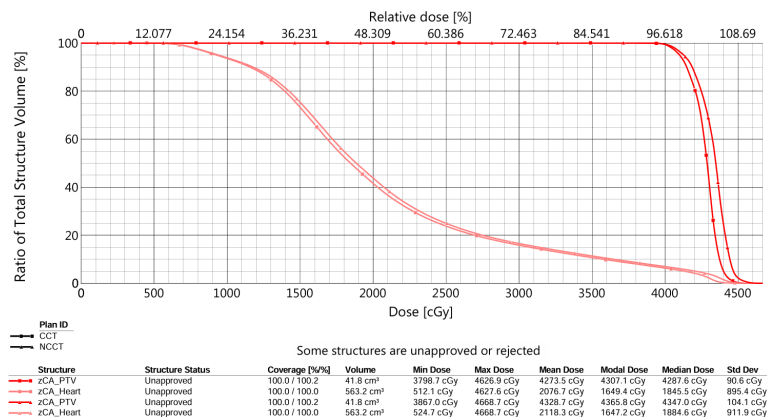


Hình 3: Biểu đồ DVH so sánh liều vào PTV và Heart giữa 2 kế hoạch NCCT (đường chấm tam giác) và CCT (đường chấm vuông) cho thấy sự khác biệt là không đáng kể.

3.4. Sai số tính liều giữa các kế hoạch CCT, CCT_HU0 và CCT_HU so với NCCT

Bảng 5. Sai số tính liều giữa các kế hoạch CCT, CCT_HU0 và CCT_HU so với NCCT (n=15)

Thông số	Kế hoạch	Sai số trung bình $\pm$ SD (%)	Sai số Min (%)	Sai số Max (%)
PTV	CCT	0,05 $\pm$ 0,34	-0,59	0,89
	CCT_HU0	0,12 $\pm$ 0,33	-0,27	1,22
D _{mean}	CCT_HU	0,03 $\pm$ 0,29	-0,48	0,89
	CCT	-0,65 $\pm$ 0,49	-1,42	0,55
zCA_PTV	CCT_HU0	1,26 $\pm$ 0,46	0,52	2,57
	CCT_HU	0,22 $\pm$ 1,09	-0,66	3,84
Heart	CCT	-0,20 $\pm$ 0,89	-1,66	2,21
	CCT_HU0	0,78 $\pm$ 0,77	-0,13	3,19
D _{mean}	CCT_HU	-0,02 $\pm$ 0,75	-0,85	1,97
	CCT	-0,42 $\pm$ 0,90	-1,94	1,96
zCA_Heart	CCT_HU0	1,46 $\pm$ 0,83	0,64	4,05
	CCT_HU	-0,00 $\pm$ 0,75	-0,94	1,67



Hình 4: Biểu đồ DVH so sánh liều vào zCA_PTV và zCA_Heart giữa 2 kế hoạch NCCT (đường chấm tam giác) và CCT (đường chấm vuông) cho thấy sự gia tăng đáng kể sự khác biệt liều.

4. BÀN LUẬN

4.1. Ảnh hưởng của thuốc cản quang và sự thay đổi tỷ trọng

Nghiên cứu của chúng tôi đã chứng minh một cách định lượng rằng sự hiện diện của thuốc cản quang tĩnh mạch gây ra sự thay đổi đáng kể về mặt thống kê trên tính toán liều, đặc biệt là trên các thể tích ngấm thuốc cục bộ. Sự thay đổi này bắt nguồn từ bản chất của thuốc cản quang. Thuốc cản quang chứa iodine, một nguyên tố có số nguyên tử (Z) cao. Khi thuốc này được tiêm vào cơ thể, nó làm tăng đột ngột mật độ của các mô

ngấm thuốc, dẫn đến sự tăng giá trị Hounsfield Unit (HU) giả tạo trong hình ảnh CT[2].

Các thuật toán tính toán liều hiện đại như Acuros XB (AXB) dựa trên việc chuyển đổi giá trị HU thành mật độ điện tử của mô để mô phỏng sự tương tác của photon với vật chất. Trong trường hợp này, việc tăng HU từ 130 HU lên 295 HU (Bảng 2) khiến thuật toán AXB hiểu nhầm các mô này có mật độ điện tử cao hơn so với thực tế [2]. Do đó, sự tương tác của tia X với các mô này cũng bị tính toán sai lệch, dẫn đến sai số trong phân bố liều. Sai số này thể hiện rõ rệt nhất trên các thể

tích ngấm thuốc (zCA_PTV và zCA_Heart), nơi mật độ thuốc cản quang là cao nhất.

4.2. Vai trò của hiệu chỉnh tỷ trọng

Một trong những phát hiện quan trọng nhất của nghiên cứu là việc hiệu chỉnh tỷ trọng đóng vai trò then chốt trong việc giảm thiểu sai số liều.

Khi không có sự hiệu chỉnh nào (kế hoạch CCT), liều trung bình trên zCA_PTV đã giảm trung bình 0,65% (sai số lớn nhất lên tới 1,42%) so với kế hoạch tham chiếu. Sự giảm liều cục bộ này có thể ảnh hưởng đến kết quả kiểm soát khối u.

Nghiên cứu đã so sánh hiệu quả của hai phương pháp hiệu chỉnh: gán HU của vùng ngấm thuốc bằng 0 (CCT_HU0) và gán bằng HU trung bình của các vùng này trên chuỗi NCCT (CCT_HU). Kết quả cho thấy phương pháp gán HU bằng giá trị ban đầu từ NCCT (kế hoạch CCT_HU) đã đưa các thông số liều của zCA_PTV trở về gần như hoàn toàn tương đương với kế hoạch tham chiếu NCCT ($p = 0,649$ và $p = 0,221$). Điều này khẳng định rằng chiến lược lâm sàng tối ưu là sử dụng CCT để contour (vì độ tương phản tốt hơn cho phép xác định chính xác các cấu trúc như mạch máu) nhưng sử dụng thông tin tỷ trọng của các vùng ngấm thuốc từ NCCT để tính toán liều.

Ngược lại, phương pháp gán HU bằng 0 (CCT_HU0) cho thấy liều trung bình trên zCA_PTV tăng lên đáng kể so với kế hoạch tham chiếu NCCT ($p < 0,001$). Điều này có thể giải thích do việc gán HU bằng 0 có một sự chênh lệch HU đáng kể so với giá trị thực của các vùng này (trong mạch máu, tim), dẫn đến sự sai lệch trong tính toán tương tác chùm tia xạ. Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn phương pháp hiệu chỉnh tỷ trọng chính xác, không chỉ đơn thuần là loại bỏ ảnh hưởng của thuốc cản quang.

4.3. Ý nghĩa lâm sàng

Sai số tính liều do thuốc cản quang không chỉ ảnh hưởng đến liều PTV mà còn gây ra sự thay đổi liều cục bộ trên các cấu trúc mạch máu và tim. Mặc dù liều trên toàn bộ Tim không thay đổi đáng kể, nhưng D_{mean} trên thể tích zCA_Heart đã

thay đổi một cách có ý nghĩa thống kê so với kế hoạch tham chiếu NCCT. Cụ thể, D_{mean} trên thể tích zCA_Heart của kế hoạch CCT trung bình giảm 0,42% (cao nhất lên tới 1,96%) và của kế hoạch CCT_HU0 trung bình tăng 1,46% (cao nhất lên tới 4,05%) so với NCCT. Điều này cho thấy sự hiện diện của thuốc cản quang làm thay đổi liều cục bộ lên các vùng trong mạch máu, tim. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các chỉ số liều tim như V_{20Gy} và V_{30Gy} là các yếu tố dự báo quan trọng cho nguy cơ mắc các độc tính tim mạch muộn, và thậm chí là các yếu tố tiên lượng sống còn [5]. Sự thay đổi liều cục bộ lên các vùng này có thể là nguyên nhân tiềm tàng gây ra các biến chứng tim mạch nghiêm trọng trong tương lai, một vấn đề đặc biệt quan trọng khi xạ trị ung thư thực quản, một vị trí giải phẫu gần tim.

So sánh với các nghiên cứu tương tự, kết quả của chúng tôi phù hợp với các báo cáo cho thấy sai số liều có thể xảy ra ở vùng thực quản ngực dưới khi có thuốc cản quang [2]. Sự khác biệt này có thể giải thích do vùng giải phẫu của nghiên cứu này là lồng ngực, một môi trường có độ không đồng nhất cao với nhiều mô có mật độ khác nhau (mô mềm, phổi, xương) [4]. Trong khi đó, các nghiên cứu trên vùng đầu cổ thường cho thấy sai số nhỏ hơn vì vùng này có mật độ đồng nhất hơn.

Tuy nhiên, nghiên cứu của chúng tôi còn đi xa hơn bằng cách đánh giá các phương pháp hiệu chỉnh tỷ trọng khác nhau. Khác với một số nghiên cứu cũ chỉ dừng lại ở việc so sánh liều trên NCCT và CCT, chúng tôi đã chứng minh rằng một quy trình hiệu chỉnh tỷ trọng thích hợp (gán HU của các vùng ngấm thuốc cản quang về giá trị trung bình của nó trên chuỗi NCCT) có thể giải quyết được vấn đề giữa việc lựa chọn contour chính xác trên CCT hay tính toán liều chính xác trên NCCT. Ngược lại, phương pháp hiệu chỉnh tỷ trọng các vùng ngấm thuốc cản quang bằng cách gán HU bằng 0 (CCT_HU0) cho thấy liều trung bình trên zCA_PTV tăng hơn so với kế hoạch tham chiếu NCCT ($p < 0,001$). Điều này có thể giải thích do việc gán HU bằng 0 có một sự chênh lệch HU đáng kể so với giá trị thực của các vùng này (trong mạch máu, tim), dẫn đến sự

sai lệch trong tính toán tương tác của chùm tia xạ. Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn phương pháp hiệu chỉnh tỷ trọng chính xác, không chỉ đơn thuần là loại bỏ ảnh hưởng của thuốc cản quang.

4.4. Một số hạn chế và hướng nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu này có một số hạn chế cần được đề cập. Thứ nhất, cỡ mẫu nhỏ (15 bệnh nhân) có thể giới hạn khả năng khái quát hóa của các kết quả. Thứ hai, đây là một nghiên cứu hồi cứu, không phải là một thử nghiệm lâm sàng ngẫu nhiên. Cuối cùng, nghiên cứu này chỉ tập trung vào liều vật lý và chưa đánh giá tác động lâm sàng thực sự của các sai số liều này lên kết quả điều trị và độc tính của bệnh nhân.

Trong tương lai, các nghiên cứu tiền cứu với cỡ mẫu lớn hơn cần được tiến hành để xác nhận các phát hiện này. Ngoài ra, việc so sánh các phương pháp hiệu chỉnh tỷ trọng tiên tiến hơn, chẳng hạn như các thuật toán học máy, sử dụng trí tuệ nhân tạo AI để tạo ra chuỗi CT không thuốc cản quang giả lập (virtual NCCT) từ chuỗi CT có tiêm thuốc cản quang, cũng là một hướng đi đầy hứa hẹn để tối ưu hóa quy trình làm việc lâm sàng.

5. KẾT LUẬN

Sự thay đổi tỷ trọng do thuốc cản quang tấp mạch trên CT mô phỏng gây ra sai số liều đáng kể, đặc biệt là tại các vùng ngấm thuốc cục bộ như mạch máu và tim. Việc hiệu chỉnh tỷ trọng là một bước quan trọng và cần thiết để đảm bảo độ chính xác liều lượng của kế hoạch xạ trị. Phương pháp hiệu chỉnh tỷ trọng bằng cách gán HU của các vùng ngấm thuốc cục bộ về giá trị trung bình của nó ở chuỗi NCCT cho thấy hiệu quả vượt trội trong việc giảm thiểu sai số liều so với phương pháp gán HU bằng 0.

Nghiên cứu này đưa ra khuyến nghị rõ ràng cho thực hành lâm sàng: để đạt được độ chính xác cao nhất, nên sử dụng chuỗi CT có tiêm thuốc cản quang để contour các thể tích điều trị và cơ quan

nguy cơ. Tuy nhiên, cần áp dụng một quy trình hiệu chỉnh tỷ trọng thích hợp trước khi thực hiện tính toán liều lập kế hoạch. Điều này sẽ giúp kết hợp được lợi ích của việc contour chính xác và tính toán liều chuẩn xác, từ đó tối ưu hóa kết quả điều trị cho bệnh nhân.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Zhong S, Yan Z, Wei X, et al. Volumetric-Modulated Arc Therapy versus Intensity-Modulated Radiation Therapy in the Treatment of Esophageal Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Oncol*. 2018;36(15_suppl):e14013.
- [2]. Hansen DCR, Muren LP, et al. Intravenous contrast medium in CT images for radiotherapy planning: effects on dose calculation accuracy. *Radiother Oncol*. 2016;120(1):130-136.
- [3]. Tanaka Y, Fujisawa M, Yamamoto S, et al. Hybrid volumetric-modulated arc therapy (hVMAT) for stage I esophageal cancer. *Anticancer Res*. 2021;41(4):1951-1959.
- [4]. Jing L, Wang D, Li C, et al. A study of the effect of intravenous contrast agents on dose calculation of VMAT for rectal cancer patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2019;105(3 Suppl):E408.
- [5]. Li Y, Wang H, Zhang X, et al. Dosimetric impact of CT contrast agents on dose calculations in head and neck cancer radiotherapy. *J Med Phys*. 2018;43(2):107-113.
- [6]. Li Y, Zhang Q, Zhao M, et al. Evaluation of Acuros XB versus AAA for dose calculation in lung cancer radiotherapy under contrast-enhanced and non-contrast enhanced CT. *J Med Phys*. 2021;46(3):189-195.