

SO SÁNH VIỆC LẬP KẾ HOẠCH ĐIỀU TRỊ XẠ PHẪU BƯỚU DI CĂN NÃO SRS GIỮA KỸ THUẬT VMAT VÀ KỸ THUẬT DCAT TẠI BỆNH VIỆN UNG BƯỚU TP. HCM

Nguyễn Ngọc Hoài^{1*}, Ngô Trung Nghĩa²

TÓM TẮT:

Mục tiêu: So sánh và đánh giá tính phù hợp của liều vào mô đích, cũng như mức độ đáp ứng liều trên mô đích và mô lành giữa hai kế hoạch xạ phẫu não SRS (Stereotactic Radiosurgery) sử dụng kỹ thuật xạ trị điều biến thể tích hình vòng cung VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) và kỹ thuật xạ trị cung tròn phù hợp động DCAT (Dynamic Conformal Arc Therapy). Qua đó, đề xuất phương pháp điều trị tối ưu cho bệnh nhân.

Đối tượng và phương pháp: Dữ liệu và kết quả lập kế hoạch điều trị xạ phẫu bằng kỹ thuật VMAT của 31 bệnh nhân ung thư di căn não đơn ổ đã được điều trị tại Bệnh viện Ung bướu TP. HCM với liều xạ 27Gy/3 phân liều. Các kế hoạch này được sử dụng lại để lập kế hoạch bằng kỹ thuật DCAT. Tiến hành so sánh và đánh giá độ tối ưu giữa hai loại kế hoạch. Từ đó, rút ra ưu điểm và hạn chế của từng kỹ thuật trong điều trị xạ phẫu cho ung thư di căn não.

Kết quả: Kế hoạch xạ phẫu bằng kỹ thuật VMAT tạo phân bố liều phù hợp với mô đích hơn so với kế hoạch xạ phẫu bằng kỹ thuật DCAT. Đồng thời, kế hoạch VMAT cũng hiệu quả hơn trong việc bảo vệ mô lành và giảm liều nhanh khi ra ngoài thể tích điều trị (PTV). Số MU (Monitor Unit - Đơn vị máy) của kế hoạch VMAT lớn gấp đôi so với kế hoạch DCAT.

Kết luận: Kế hoạch xạ phẫu bằng kỹ thuật VMAT phù hợp với các thể tích điều trị lớn có hình dạng không đồng đều và có cơ quan quý gần PTV. Tuy nhiên, xạ phẫu bằng kỹ thuật DCAT có lợi thế với các thể tích điều trị nhỏ đến rất nhỏ và có hình dạng tương đối tròn đều và có cơ quan quý xa PTV. Thời gian điều trị của kế hoạch VMAT gấp đôi so với kế hoạch DCAT.

Từ khóa: Xạ phẫu lập thể, DCAT, VMAT.

¹Đại học Quốc gia TP. HCM

²Bệnh viện Ung bướu TP. HCM

*Chịu trách nhiệm chính: Nguyễn Ngọc Hoài

Email: nguyennngochoai2k2@gmail.com

Ngày nhận bài: 04/9/2024

Ngày phản biện khoa học: 10/9/2024

Ngày duyệt bài: 11/11/2024

COMPARISON OF STEREOTACTIC RADIOSURGERY TREATMENT PLANNING FOR BRAIN METASTASES USING VMAT AND DCAT TECHNIQUES AT HO CHI MINH CITY ONCOLOGY HOSPITAL

ABSTRACT:

Target: To compare and evaluate the conformity of dose delivery to the target tissue, as well as the dose response in the target tissue and healthy tissue, between two stereotactic radiosurgery (SRS) treatment plans utilizing volumetric modulated arc therapy (VMAT) and dynamic conformal arc therapy (DCAT). Furthermore, to propose the optimal treatment method for patients.

Objects, methods: Data and treatment planning results from VMAT-based stereotactic radiosurgery in 31 patients with the single brain metastasis, which were treated at Ho Chi Minh City Oncology Hospital with a dose of 27Gy/3 fractions, were utilized. These plans were re-used to create corresponding plans using the DCAT technique. A comparative analysis was conducted to evaluate the optimization of both types of plans. The strengths and limitations of each technique in the treatment of brain metastases were then identified.

Results: The VMAT-based radiosurgery plan achieved better dose conformity to the target tissues compared to the DCAT-based plan. Additionally, VMAT was more effective in sparing healthy tissues and in achieving a rapid dose fall-off outside the planning target volume (PTV). The Monitor Unit (MU) count for the VMAT plan was double that of the DCAT plan.

Conclusion: VMAT-based radiosurgery is more suitable for larger treatment volumes with irregular shapes and when critical organs are close to the PTV. However, DCAT-based radiosurgery has advantages in treating small to very small volumes with relatively round shapes and when critical organs are distant from the PTV. The treatment time for the VMAT plan is twice as long as that for the DCAT plan.

Keywords: Stereotactic Radiosurgery, DCAT, VMAT.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bức tranh về sức khỏe toàn cầu hiện nay, bệnh ung thư đang là gánh nặng của thế giới, với hàng triệu ca mắc mới và tử vong mỗi năm. Đặc biệt, ung thư di căn não là một biến chứng nguy hiểm, có khả năng gây tổn thương nghiêm trọng đến chức năng thần kinh. Điều trị ung thư di căn não đòi hỏi phải tiêu diệt triệt để khối u, đồng thời bảo vệ các cấu trúc não quan trọng. Xạ phẫu lập thể đã trở thành phương pháp điều trị được ưu tiên nhờ khả năng tập trung liều xạ cao vào khối u nhỏ, giảm thiểu tổn thương mô lành xung quanh. Trong số các kỹ thuật xạ trị, kỹ thuật xạ trị điều biến liều

theo thể tích cung tròn VMAT và kỹ thuật xạ trị cung tròn phù hợp động DCAT nổi bật với khả năng tối ưu hóa phân bố liều xạ. Kỹ thuật VMAT điều chỉnh chính xác liều xạ thông qua việc điều biến các lá MLC vào bên trong khối u, trong khi kỹ thuật DCAT tập trung duy trì hình dạng khối u trong suốt quá trình điều trị. Vì thế, mục đích của nghiên cứu này là so sánh và đánh giá kế hoạch xạ phẫu não giữa kỹ thuật VMAT và kỹ thuật DCAT, nhằm cung cấp cho người lập kế hoạch và bác sĩ xạ trị trong việc lựa chọn phương pháp điều trị tối ưu cho bệnh nhân với từng vị trí, kích thước và hình dạng khối u trong khu vực nội sọ.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nhóm nghiên cứu tiến hành thống kê trên 31 bệnh nhân ung thư di căn não đơn ổ tại Bệnh viện

Ung bướu TP. HCM đã được xạ phẫu trên máy xạ trị gia tốc TrueBeam bằng kỹ thuật VMAT với liều xạ 27Gy/3 phân liều và được chia thành 3 nhóm. Dữ liệu thống kê bệnh nhân được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1: Thống kê dữ liệu của 31 ca bệnh nhân được chọn nguyên cứu

Đặc điểm	PTV < 2 cm ³	2 cm ³ ≤ PTV ≤ 10 cm ³	PTV > 10 cm ³
Kích thước PTV (cm)	0,78	0,87 - 1,33	1,37 - 1,81
Khoảng cách từ PTV đến thân não (cm)	5,55	1,88 - 6,55	0,79 - 6,54
Số ca mắc	1	14	16

2.1. Lập kế hoạch

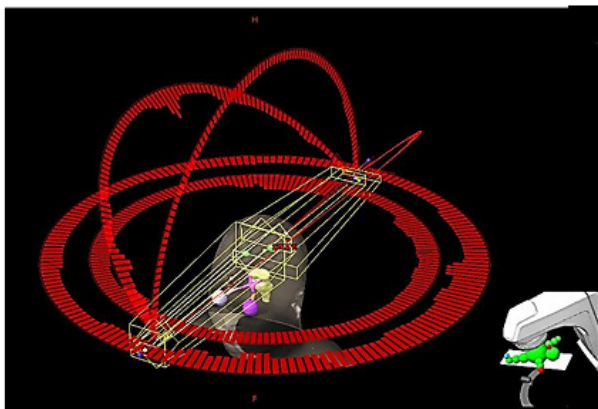
Tất cả 31 ca bệnh nhân trên đều được lập kế hoạch trên phần mềm Eclipse 13.6 của hãng Varian. Mỗi ca bệnh sẽ được lập hai kế hoạch khác nhau:

- Kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật DCAT.
- Kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật VMAT.

Tất cả các kế hoạch này đều đồng nhất về thông số cung xạ, độ phân giải lưới tính toán và thuật toán tính liều. Sau đó, so sánh từng cặp kế hoạch với nhau bằng cách thực hiện thống kê và đánh giá mức độ đáp ứng liều vào thể tích bướu và cơ quan quý. Cung xạ được thiết kế theo các thông số được nêu trong Bảng 2 và minh họa trong Hình 1.

Bảng 2: Thiết kế cung xạ

Thứ tự cung xạ	Góc quay cánh tay quay	Chiều quay cánh tay quay	Góc quay bàn điều trị
1	181° - 179°	CW	0°
2	179° - 181°	CCW	0°
3	181° - 0°	CW	270°
4	0° - 181°	CWW	315°
5	0° - 179°	CW	45°



Hình 1: Hình dạng cung xạ

2.2. Thu thập số liệu

Nhóm nguyên cứu đã tiến hành thu thập những số liệu về:

- Liều lượng vào bướu: Liều nhận được trên 2% và 98% thể tích (D2 và D98), liều trung bình trên toàn bộ thể tích (Dmean) và liều cực đại bướu nhận được (Dmax) [1], [2].

- Liều lượng vào các cơ quan quý: Bao gồm các cơ quan não lành (thể tích não sau khi trừ đi thể tích PTV) và thân não. Các cơ quan còn lại như thần kinh thị giác, giao thoa thị giác, thủy tinh thể... đều nằm xa PTV nên liều vào hầu như không đáng kể [3]. Giới hạn liều cho não lành được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3: Giới hạn liều cho não lành

Số liệu đánh giá	Liều đổ vào thể tích	
Phân liều	3 phân liều	
	Tiêu chuẩn (Gy)	Chấp nhận (cc)
Não lành	D7cc < 23,1 D20,9cc < 21 V12Gy < 10%	V12Gy < 11

- Các chỉ số đánh giá kế hoạch: CI (chỉ số phù hợp), HI (chỉ số đồng nhất) và GI (chỉ số suy giảm liều) [4], [5].

- Số MU của mỗi kế hoạch.

Công thức tính và ý nghĩa của các chỉ số trên được trình bày trong Bảng 4 dưới đây:

Bảng 4: Chỉ số đánh giá liều vào thể tích đích

Chỉ số	Mô tả	Cách tính	Tiêu chuẩn	Chấp nhận
D2%	Liều vào 2% thể tích đích	DVH	107 - 130% liều chỉ định	
D98%	Liều vào 98% thể tích đích	DVH	> 95% liều chỉ định	
Dmean	Liều trung bình vào thể tích đích	DVH	≥ 100% liều chỉ định	
CI	Mức độ phù hợp của vùng liều 100% so với thể tích đích	$\frac{\text{Thể tích nhận 100\% liều chỉ định}}{\text{Thể tích PTV}}$	1 - 1,2	0,9 - 1 hoặc 1,2 - 2
CI50	Mức độ phù hợp của vùng liều 50% so với thể tích đích	$\frac{\text{Thể tích nhận 50\% liều chỉ định}}{\text{Thể tích PTV}}$	3 - 7,5	Càng thấp càng tốt
HI	Độ đồng nhất về phân bố liều trên thể tích đích	$\frac{\text{Liều cực đại}}{\text{Liều tối thiểu}}$	≤ 1,25	≤ 2
GI	Mức độ suy giảm liều khi ra khỏi thể tích đích	$\frac{\text{Thể tích nhận 50\% liều chỉ định}}{\text{Thể tích nhận 100\% liều chỉ định}}$	3 - 5	≤ 3

2.3. Xử lý số liệu

Nhóm nghiên cứu sẽ so sánh mức độ thay đổi giữa kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật DCAT và kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật VMAT bằng cách sử dụng phép kiểm định T-test mẫu bắt cặp với mức ý nghĩa được ấn định là 5%. Sau đó sẽ tiến hành tính toán giá trị p và rút ra kết luận từ các kết quả phân tích.

Giả thuyết đặt ra là:

H_0 : Không có sự khác biệt thông số về bước

và cơ quan lành giữa kỹ thuật DCAT và kỹ thuật VMAT với mức ý nghĩa 5% (Giá trị $p \geq 0,05$).

H_1 : Kỹ thuật VMAT giúp các thông số về bước và cơ quan lành tốt hơn so với kỹ thuật DCAT (Giá trị $p < 0,05$).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Liều vào PTV: Liều vào 2% và 98% thể tích PTV, liều trung bình vào PTV và các chỉ số ở kế hoạch xạ phẫu của hai kỹ thuật DCAT và kỹ thuật VMAT theo các nhóm được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5: Tổng hợp liều vào PTV của các nhóm

Tiêu chí	PTV < 2 cm ³		2 cm ³ ≤ PTV ≤ 10 cm ³			PTV > 10 cm ³		
	DCAT	VMAT	DCAT	VMAT	Giá trị p	DCAT	VMAT	Giá trị p
D2 (%)	115,64	120,28	120,63±1,02	126,16±0,88	0,005	123,24±1,06	126,18±0,79	0,029
D98 (%)	105,14	102,88	106,23±0,50	105,30±0,49	0,259	106,59±0,36	105,90±0,31	0,133
D _{mean} (%)	111,1	110,9	115,15±0,77	115,22±0,80	0,957	116,74±0,77	116,01±0,81	0,469
CI	1,40	1,42	1,41±0,02	1,25±0,02	<0,001	1,44±0,02	1,23±0,01	<0,001
CI50	5,22	6,51	3,78±0,10	3,54±0,16	0,026	3,57±0,08	3,23±0,06	<0,001
HI	1,16	1,23	1,21±0,01	1,29±0,01	0,001	1,24±0,01	1,28±0,01	0,003
GI	3,72	4,60	2,68±0,05	2,84±0,11	0,1	2,49±0,04	2,62±0,04	0,001

Từ Bảng 5, ta thấy đối với nhóm 1 (PTV < 2 cm³) các tiêu chí liều vào PTV của kế hoạch DCAT đều gần giá trị lý tưởng hơn so với kế hoạch VMAT. Ở nhóm 2 (2 cm³ ≤ PTV ≤ 10 cm³) và nhóm 3 (PTV > 10 cm³) các tiêu chí đều đạt chuẩn theo yêu cầu. Đối với tiêu chí D2% thì ở cả nhóm 2 và 3 các kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật VMAT đều lớn hơn so với kế hoạch xạ phẫu

sử dụng kỹ thuật DCAT và có ý nghĩa thống kê. Ngoài ra, các chỉ số đánh giá về liều vào PTV thu được từ kế hoạch VMAT cho giá trị gần với giá trị lý tưởng hơn so với kế hoạch và có ý nghĩa thống kê.

Liều vào não lành (thể tích não còn lại sau khi đã trừ thể tích PTV) của các nhóm được trình bày ở Bảng 6.

Bảng 6: Tổng hợp liều vào não lành của các nhóm

Tiêu chí	PTV < 2 cm ³		2 cm ³ ≤ PTV ≤ 10 cm ³			PTV > 10 cm ³		
	DCAT	VMAT	DCAT	VMAT	Giá trị p	DCAT	VMAT	Giá trị p
D7cc (Gy)< 23,1Gy	9,20	10,81	21,49±1,21	20,45±0,95	0,014	23,67±0,78	22,15±0,67	<0,001
D20,9cc(Gy)< 21Gy	4,44	5,37	12,80±1,07	12,00±0,91	0,005	14,53±0,76	13,51±0,67	< 0,001
V12Gy< 10%	0,30	0,38	1,94±0,28	1,74±0,24	0,01	2,36±0,24	2,07±0,20	< 0,001

Bảng 6 cho ta thấy kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật DCAT ở nhóm 1 cho liều vào não lành thấp hơn so với kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật DCAT. Ngược lại, nhóm 2 và 3 các tiêu chí

liều vào não lành của kỹ thuật VMAT thấp hơn so với kỹ thuật DCAT và có ý nghĩa thống kê.

Đối với thân não, Bảng 7 cho kết quả như sau:

Bảng 7: Tổng hợp liều vào thân não của các nhóm

Tiêu chuẩn (Dmax)	PTV < 2 cm ³		2 cm ³ ≤ PTV ≤ 10 cm ³			PTV > 10 cm ³		
	DCAT	VMAT	DCAT	VMAT	Giá trị p	DCAT	VMAT	Giá trị p
< 17Gy	0,51	0,47	4,17±1,28	3,84±1,03	0,411	2,87±0,78	2,52±0,61	0,198

Liều vào thân não của kế hoạch VMAT giảm nhưng không đáng kể và không có ý nghĩa thống kê so với kế hoạch DCAT.

Số MU mà máy phát tia giữa kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật DCAT và kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật VMAT được trình bày trong Bảng 8.

Bảng 8: So sánh số MU của các nhóm

PTV < 2 cm ³		2 cm ³ ≤ PTV ≤ 10 cm ³			PTV > 10 cm ³		
DCAT	VMAT	DCAT	VMAT	Giá trị p	DCAT	VMAT	Giá trị p
1631	2714,3	1536,94±31,88	3048,69±99,44	<0,001	1460,85±16,33	2943,34±53,08	<0,001

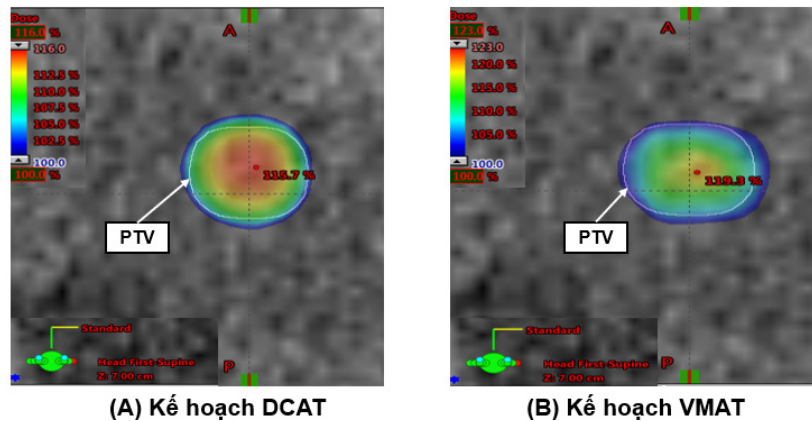
Từ Bảng 8, ta thấy giá trị trung bình chỉ số MU của kế hoạch VMAT lớn hơn 2 lần so với kế hoạch DCAT và có ý nghĩa thống kê. Do thời gian phát tia tỷ lệ tuyến tính với chỉ số MU nên thời gian phát tia của kế hoạch VMAT cũng lớn gấp đôi so với kế hoạch DCAT.

4. BÀN LUẬN

Đối với các kế hoạch VMAT không đạt chuẩn đều là do liều vào 2% PTV vượt quá ngưỡng trên của tiêu chí (> 130% liều chỉ định). Tuy nhiên, tất cả các kế hoạch VMAT không đạt tiêu chí D2% đều đảm bảo kiểm soát được liều vào PTV và việc bảo vệ cơ quan lành. Ngoài ra, vùng liều nóng đều nằm trong lõi GTV điều này giúp tăng hiệu quả

làm tắc nghẽn và phá vỡ mạch máu gây ra cho khối u.

Các kế hoạch VMAT cho thấy chỉ số CI, CI50 và GI tối ưu hơn so với DCAT, chứng tỏ VMAT kiểm soát và phân bố liều tốt hơn trong nhiều trường hợp. Tuy nhiên, đối với thể tích điều trị nhỏ (< 1 cm³) thì kỹ thuật DCAT lại cho các chỉ số CI, CI50, HI và GI đều có giá trị gần giá trị lý tưởng hơn so với kế hoạch VMAT như được trình bày trong Bảng 5. Điều này phù hợp với nghiên cứu của Jan Hofmaier và các cộng sự năm 2019 [6]. Hình 2 so sánh mức độ bao phủ của vùng liều 100% trên PTV của kế hoạch DCAT (A) và kế hoạch VMAT (B).



Hình 2: Liều 100% liều chỉ định bao phủ PTV của kế hoạch DCAT (A) và kế hoạch VMAT (B)

Chỉ số MU ở kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật VMAT cho giá trị lớn gấp 2 lần so với kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật DCAT. Điều này cho thấy khi sử dụng kỹ thuật DCAT thì thời gian phát tia giảm đáng kể so với kỹ thuật VMAT. Điều này phù hợp với nghiên cứu của Jan Hofmaier và các cộng sự năm 2019 [6] và nguyên cứu của Isabelle Chambrelant và các cộng sự năm 2024 [7].

Khi các cơ quan quý nằm gần kề PTV, kỹ thuật VMAT bảo vệ chúng hiệu quả hơn. Điều này giúp số kế hoạch VMAT đạt chuẩn cao hơn so với kế hoạch DCAT. Điều này cho thấy thể tích nhận 50% liều chỉ định của kế hoạch VMAT ít hơn so với kế hoạch DCAT, dẫn đến liều vào cơ quan quý giảm đi.

Nghiên cứu của Isabelle Chambrelant và các cộng sự năm 2024 đã so sánh giữa hai kỹ thuật VMAT và DCAT trong điều trị di căn não đơn ổ trên 97 bệnh nhân [7]. Kết quả cho thấy kế hoạch VMAT cho chỉ số GI và CI gần giá trị lý tưởng ($GI = 3$ và $1 \leq CI \leq 1,2$) hơn so với kế hoạch DCAT ($3,31 \pm 0,57$ so với $2,48 \pm 0,20$ và $0,88 \pm 0,05$ so với $0,77 \pm 0,05$). Tương tự, vào năm 2021 tác giả Görkem TÜRKKAN và các cộng sự cũng nghiên cứu trên 21 bệnh nhân ung thư di căn não được lập kế hoạch xạ phẫu sử dụng kỹ thuật VMAT và kỹ thuật DCAT [8]. Kết quả là khi sử dụng kỹ thuật VMAT thì chỉ số CI nằm trong khoảng giá trị lý tưởng ($1,21 \pm 0,23$ so với $1,78 \pm 0,79$) điều này cho thấy phân bố liều của kỹ thuật VMAT “ôm” sát bướu hơn. Về giá trị GI, giá trị cũng giảm ($5,86 \pm 2,57$ so với $8,01 \pm 4,89$) giúp giảm liều vào não lành. Kết quả chỉ số GI và CI của nhóm tác giả đạt được lần lượt là $2,78 \pm 0,08$ so với $2,61 \pm 0,05$ và $1,25 \pm 0,01$ so với $1,42 \pm 0,02$.

Như vậy, nghiên cứu của nhóm tác giả về vấn đề này hoàn toàn phù hợp với những nghiên cứu quốc tế những năm gần đây.

5. KẾT LUẬN

Trong các kế hoạch xạ phẫu, kỹ thuật VMAT cho thấy sự phân bố liều tối ưu hơn so với kỹ thuật DCAT. Kế hoạch VMAT phù hợp với các thể tích điều trị lớn, có hình dạng không đồng đều và khi có các cơ quan quý gần PTV. Ngược lại, kế hoạch DCAT có lợi thế trong việc điều trị các thể tích nhỏ đến rất nhỏ, có hình dạng tương đối tròn đều, và khi cơ quan quý nằm xa PTV. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng việc lựa chọn kế hoạch không chỉ dựa vào chỉ số MU mà còn phải đáp ứng đầy đủ các tiêu chí khác như liều vào bướu, các cơ quan lành (OARs), CI, HI, GI... Nếu các tiêu chí này của cả hai kế hoạch đều được thỏa mãn thì kế hoạch nào có MU ít hơn sẽ được cân nhắc lựa chọn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Orit Kaidar-Person et.al. (2018). Hypofractionated and Stereotactic Radiation Therapy - A Practical Guide, Springer International Publishing AG.
- [2]. Redmond et.al. (2021). Tumor control probability of radiosurgery and fractionated stereotactic radiosurgery metastases, International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics, 110(1), 53-67.
- [3]. M.Gérard et.al. (2017). Contraintes de dose en radiothérapie conformationnelle fractionnée et en radiothérapie stéréotaxique dans les hippocampes, le tronc cérébral et l'encéphale: limites et perspectives, Cancer Radiothérapie: Journal de la Société Française de Radiothérapie Oncologique, 21(6-7):636-647.
- [4]. Edward Shaw et.al. (2000). Single dose radiosurgical treatment of recurrent previously irradiated primary brain tumors and brain metastases: final report of RTOG protocol 90-05, International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics, 47(2), 291-298.
- [5]. Souhami, et.al. (2004). Randomized comparison of stereotactic radiosurgery followed by conventional radiotherapy with carmustine to conventional radiotherapy with carmustine for patients with glioblastoma multiforme: report of Radiation Therapy Oncology Group 93-05 protocol, International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics, 60(3), 853-860.
- [6]. J. Hofmaier et.al. (2019). Single isocenter stereotactic radiosurgery for patients with multiple brain metastases: dosimetric comparison of VMAT and a dedicated DCAT planning tool, Radiation Oncology, 14, 103.

- [7]. Chambrelant et.al. (2024). Comparative study of dynamic conformal arc therapy and volumetric modulated arc therapy for treating single brain metastases: A retrospective analysis of dosimetric and clinical outcomes, *Physics and Imaging in Radiation Oncology*, 30: 100591.
- [8]. G. Türkkan et.al. (2022). Dosimetric Comparison of Volumetric-Modulated Arc Therapy and Dynamic Conformal Arc Therapy in Threefraction Single-isocenter Stereotactic Radiosurgery for Multiple Brain Metastases, *Turkish Journal of Oncology*, 37(1), 67-73