



# Ilościowa ocena jakości planów leczenia w radioterapii stereotaktycznej obszaru głowy

## Quantitative assessment of treatment plan quality in stereotactic radiotherapy of the head area

Michał Janik<sup>1</sup>, Aleksandra Klimas<sup>1</sup>, Grzegorz Żygliński<sup>1</sup>, Marcin Hutnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zakład Fizyki Medycznej, Zagłębiowskie Centrum Onkologii Szpital Specjalistyczny im. Sz. Starkiewicza w Dąbrowie Górniczej, ul. Szpitalna 13, 41-300 Dąbrowa Górnicza

<sup>2</sup> Zakład Radioterapii, Zagłębiowskie Centrum Onkologii Szpital Specjalistyczny im. Sz. Starkiewicza w Dąbrowie Górniczej, ul. Szpitalna 13, 41-300 Dąbrowa Górnicza

### Wprowadzenie

Radioterapia stereotaktyczna i radiochirurgia to wysokospecjalistyczne techniki planowania leczenia, w których należy dostarczyć bardzo wysoką dawkę promieniowania (w porównaniu do klasycznej radioterapii) do bardzo małego obszaru w jednej lub kilku frakcjach leczenia [1]. Z uwagi na dwa główne założenia tych technik (wysoka dawka i mały obszar napromieniania) istotne podczas tworzenia planu leczenia staje się obserwowanie i kontrolowanie gradientu dawki, tak by uzyskać maksymalny spadek dawki wraz z oddalaniem się od targetu, ale z zachowaniem

właściwego pokrycia targetu dawką zaplanowaną. Ocenę gradientu dawki można podzielić na dwa rodzaje: jakościową i ilościową. Jakościowa ocena gradientu dawki dokonywana jest podczas jakościowej analizy rozkładu dawki zaplanowanej. Podczas tej oceny wybierana jest konkretna izodoza i analizuje się jej kształt na anatomii pacjenta w odniesieniu do topografii targetu i narządów krytycznych. Do oceny ilościowej można posłużyć się między innymi wskaźnikiem Gradientu GI (Gradient Index) [2] lub wskaźnikiem CGI<sub>9</sub> (Conformity Gradient Index) [3]. Ocenę można oprzeć również na analizie promieni równoważnych wyznaczonych dla poszczególnych objętości izodoz. Niniejsza praca jest

116

### Streszczenie

Radioterapia stereotaktyczna i radiochirurgia wymagają dostarczenia wysokiej dawki promieniowania do bardzo małego obszaru napromieniania w jednej lub kilku frakcjach. Założenia takiego leczenia wymagają od fizyka planującego leczenie zwrócenia szczególnej uwagi na analizę gradientu spadku dawki wokół targetu. W niniejszej pracy przedstawiono propozycję ilościowej analizy gradientu spadku dawki opartej na zbudowanym modelu zależności promienia równoważnego od wielkości napromienianej zmiany. Model wykazał liniową zależność parametrów. Na jego podstawie możliwe staje się opracowanie wewnętrznych poziomów referencyjnych dotyczących gradientu spadku dawki w planie leczenia. Niniejsza praca jest równocześnie próbą oraz propozycją przedstawienia wewnętrznej analizy gradientu spadku dawki w planach leczeniach dotyczących stereotaksji oraz radiochirurgii okolicy głowy.

**Słowa kluczowe:** radioterapia stereotaktyczna, radiochirurgia, gradient spadku dawki

### Abstract

Stereotactic radiotherapy (SRT) and radiosurgery (SRS) require a high dose of radiation to be delivered to a very small area in one or more fractions. Assumptions of such treatment oblige the medical physicist to pay special attention to analyse the dose distribution inside and outside the target. In this article there is a proposal for quantitative analysis of the dose decrease gradient based on the built dependence model of the equivalent radius and the size of the irradiated volume. The model showed a linear relationship of considered parameters. On its basis it becomes possible to establish internal reference levels for the dose gradient in treatment plan. This work is the proposal to apply the dose gradient analysis for assessment of SRT and SRS treatment plans in the head area.

**Key words:** stereotactic radiotherapy, radiosurgery, dose gradient

otrzymano / received:

28.02.2020

poprawiono / corrected:

26.03.2020

zaakceptowano / accepted:

07.04.2020



próbą pokazania ilościowej analizy gradientu dawki w planach leczenia stworzonych na potrzeby procedur stereotaksji i radiochirurgii na przykładach planów radioterapii w obszarze głowy realizowanych przy użyciu przyspieszacza liniowego TrueBeam firmy VARIAN Medical System of Palo Alto.

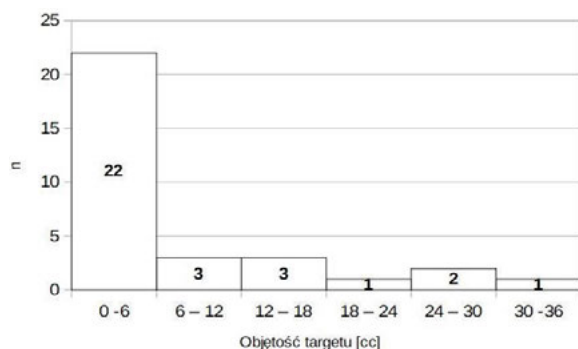
## Cel

Celem pracy jest zaprezentowanie sposobu podejścia do ilościowej analizy gradientu dawki w planach stereotaktycznych i radiochirurgicznych na przykładzie zbioru planów obliczonych dla zmian zlokalizowanych w obszarze głowy.

## Materiały i metody

Analizie poddano 32 stereotaktyczne plany leczenia dla obszaru głowy. Wszystkie plany zostały stworzone z wykorzystaniem oprogramowania Eclipse v11 (VARIAN Medical System of Palo Alto), z zastosowaniem algorytmu AAA, wielkość siatki obliczeniowej została zdefiniowana na 1 mm [4]. Wszystkie plany zostały stworzone z wykorzystaniem techniki łukowej RapidArc, przy czym liczba łuków, zakres kątowy obrotu gantry i stołu były dobierane indywidualnie dla każdego planu. Parametry te były uzależnione od lokalizacji i wielkości zmiany napromienianej oraz od usytuowania narządów krytycznych w odniesieniu do targetu. Należy również wspomnieć, że plany były tworzone przez różnych fizyków, co pozwoliło na dodatkowe zróżnicowanie grupy badawczej.

Na wykresie 1 przedstawiono rozkład wielkości napromienianych targetów.



**Wykres 1** Rozkład wielkości leczonych zmian  
Źródło: Opracowanie własne.

Można zauważyć, że wielkość leczonych zmian nie przekraczała 36 cm<sup>3</sup>. Wielkość zmiany ma znaczenie w przypadku wyboru dawki całkowitej i sposobu jej frakcjonowania, co również ma wpływ na tworzenie przez fizyka planu leczenia.

Wskaźnik Gradientu GI, który jest jedną z metod ilościowej oceny gradientu dawki, definiowany jest następującym wzorem (1) [2]:

$$GI = \frac{V_{50}}{V_{100}} \quad (1)$$

gdzie:

- $V_{50}$  – objętość objęta izodozą równą 50% dawki zaplanowanej
- $V_{100}$  – objętość objęta izodozą równą dawce zaplanowanej.

Literatura [2] podaje, że parametr GI nie powinien być większy niż 3. Współczynnik  $CGI_g$  [3] definiowany jest według wzoru (2):

$$CGI_g = 100 - \left[ 100 \cdot (R_{eff50Rx} - R_{effRx}) - 0,3 \text{ cm} \right] \quad (2)$$

gdzie:

- $R_{eff50Rx}$  – promień równoważny dla izodozy dawki równej połowie dawki zaplanowanej
- $R_{effRx}$  – promień równoważny dla izodozy dawki zaplanowanej.

Wymienione powyżej współczynniki nie wiążą bezpośrednio oceny gradientu z wielkością napromienianego targetu. Postanowiono wykonać analizę, która miała na celu powiązać te parametry. Wykorzystano analizę opartą na badaniu poszczególnych izodoz i wyliczaniu dla nich tzw. promieni równoważnych (z ang. *Equivalent radius*) [5].

Promień równoważny to wielkość definiowana dla bryły o znanej objętości V. Możliwe staje się obliczenie promienia sfery o objętości V na podstawie wzoru (2):

$$r = \left( \frac{3V}{4\pi} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Tak zdefiniowany promień równoważny może posłużyć np. do oszacowania odległości pomiędzy konkretnymi izodozami. W przeciwieństwie do GI, gdzie do oceny wykorzystuje się izodozę 50%, do analizy można wykorzystać w zasadzie każdą izodozę, gdyż jej objętość oraz promień równoważny można w łatwy sposób wydobyć z systemu planowania leczenia (z ang. *TPS – Treatment Planning System*).

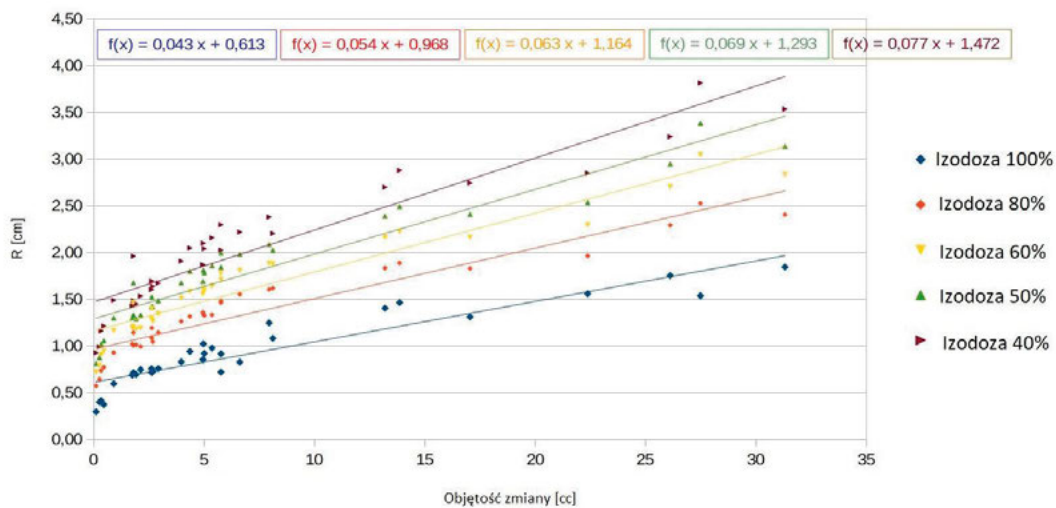
Wyliczone zostały promienie równoważne dla 5 izodoz: 100%, 80%, 60%, 50% i 40%. Na wykresie 2 przedstawiono zależność długości promienia równoważnego wybranej izodozy od objętości napromienianej zmiany.

Na wykresie 2 przedstawiona została zależność wielkości promienia równoważnego dla wybranej izodozy w zależności od wielkości targetu. Oczywistym jest fakt, że wraz ze wzrostem wielkości zmiany napromienianej zwiększać się będzie objętość poszczególnych izodoz. Dla każdej izodozy dopasowano krzywą regresji. Najlepszym dopasowaniem charakteryzowała się krzywa opisana funkcją liniową  $y = ax + b$ . Współczynniki dopasowania  $R^2$  zostały zebrane w tabeli 1.

**Tabela 1** Wartości współczynników dopasowania  $R^2$

Izodoza [%]	$R^2$
100	0,86
80	0,88
60	0,88
50	0,88
40	0,87

Źródło: Opracowanie własne.



**Wykres 2** Zależność długości promienia równoważnego dla wybranej izodozy od objętości targetu  
Źródło: Opracowanie własne.

Wyznaczono błąd, który przyjęto jako średnią wartość odległości punktów od linii regresji dla poszczególnych przypadków. Wartości błędów zostały zebrane w tabeli 2.

**Tabela 2** Wartości błędów dla obliczonych wielkości promieni równoważnych dla wybranych izodoz

Izodoza [%]	Błąd [cm]
100	0,11
80	0,14
60	0,16
50	0,18
40	0,21

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2 pokazuje, że obliczając promień równoważny z wykorzystaniem wcześniej uzyskanych równań liniowych, średni błąd jest tym wyższy, im niższa rozpatrywana izodoza. Średnie błędy zamykały się w przedziale 1-2 mm.

Znając równania liniowe dla badanych izodoz oraz wielkość błędów, możliwe staje się w wyniku interpolacji obliczenie współczynników liniowych dla każdej izodozy z zakresu 40-100%, co wypadkowo pozwala oszacować wartość promienia równoważnego dla wybranej izodozy przy określonej objętości targetu.

Dodatkową analizą może być analiza oparta na obliczaniu różnic długości promieni równoważnych dla konkretnych izodoz. W badaniu zbadano trzy takie różnice i odniesiono je do wyników opisanych w [6]. Jako błąd przyjęto średni błąd średniej. Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3** Porównanie badanych wielkości różnic długości promieni równoważnych dla wybranych izodoz

	$\Delta R_{100}-R_{50}$ [mm]	$\Delta R_{90}-R_{60}$ [mm]	$\Delta R_{80}-R_{40}$ [mm]
Badanie	0,87±0,05	2,60±0,02	6,70±0,04
Odniesienie	0,3–0,9	< 2	< 8

Źródło: Opracowanie własne.

## Dyskusja wyników

Analiza gradientu na podstawie wskaźników takich jak  $GI_9$  jest prostą metodą określenia, czy gradient spadku dawki w planie zaplanowanym przez fizyka spełnia pewne przyjęte kryteria. Jednak bazując na takiej analizie, można zauważyć plusy wprowadzenia bardziej rozbudowanej, opartej na pewnych matematycznych modelach, analizy gradientu dawki.

reklama

## KONTROLA DAWEK



### LABORATORIUM DOZYMETRII INDYWIDUALNEJ I ŚRODOWISKOWEJ

ul. Radzikowskiego 152 tel.: 12 662 84 57  
31-342 Kraków fax: 12 662 81 58  
e-mail: ladis@ifj.edu.pl





Zbrane 32 przypadki procedur z zakresu stereotaksji i radiochirurgii w obszarze głowy zostały potraktowane jako grupa badawcza do zbudowania modelu szacowania wielkości charakteryzujących gradient dawki uzyskany w planie leczenia. Należy wspomnieć, że wszystkie 32 plany spełniały kliniczne parametry planu leczenia, które dopuszczały je do użycia klinicznego (pokrycie targetu dawką zaplanowaną, ilość jednostek monitorowych itp.).

Zbudowany model miał na celu powiązanie analizy gradientu dawki z wielkością napromienianego targetu. Realizując poszczególne kroki, przedstawione powyżej, udało się zbudować model, który jest w stanie oszacować wartość promienia równoważnego dla wybranej izodozy z zakresu 100%-40%, przy jednocześnie wielkości targetu nie większej niż 36 cm<sup>2</sup>.

Analiza promieni równoważnych dla wybranych izodoz oraz różnic ich długości może odbywać się poprzez odwołanie do literaturowych wartości, ale również do tak skonstruowanego wewnętrznego modelu. Dzięki tak przeprowadzonej wewnętrznej analizie możliwe staje się wprowadzenie w ośrodku poziomów referencyjnych na konkretne wartości różnicy promieni równoważnych (co za tym idzie – na kształt gradientu dawki wokół napromienianego obszaru), wskazujących na jakość wykonanego planu.

Należy zdawać sobie sprawę, że na kształt rozkładu dawki (co za tym idzie – na gradient jej spadku) ma wpływ wiele czynników, m.in.: algorytm obliczeniowy systemu planowania leczenia, posiadany sprzęt do realizacji napromieniania czy umiejętności

fizyka planującego. W związku z tym, aby określić referencyjne parametry gradientu spadku dawki w ośrodku, należy najpierw zebrać grupę planów stworzonych przez różnych fizyków, w różnych obszarach anatomicznych i na podstawie takiej grupy wyznaczyć odpowiednie poziomy referencyjne.

Analiza gradientu spadku dawki powinna obejmować również niższe izodozy, takie jak np. 40%, gdyż w procedurach dedykowanych stereotaksji i radiochirurgii zdarza się, że niskie izodozy niosą za sobą wysoką (w porównaniu z klasyczną radioterapią) dawkę absolutną (np. 40% z 17 Gy to 6,8 Gy), a to właśnie na te „niższe” dawki najbardziej narażone są tkanki zdrowe, otaczające obszar napromieniany.

## Wnioski

Analiza gradientu spadku dawki jest bardzo istotnym elementem ilościowej analizy radioterapeutycznego planu leczenia, zwłaszcza w przypadkach stereotaksji lub radiochirurgii. Fizyk planujący takie leczenie powinien mieć świadomość, że „niskie” izodozy (rzędu 20-40%) często niosą ze sobą wysoką dawkę absolutną, dlatego tak ważne jest umiejętne sterowanie rozkładem dawki (i zarazem gradientem jej spadku) podczas procesu planowania leczenia. Na gradient spadku dawki ma wpływ wiele czynników (algorytm obliczeniowy, doświadczenie fizyka planującego, dedykowany aparat terapeutyczny), które również należy wziąć pod uwagę w trakcie analizy gradientu spadku dawki w planie leczenia. Z tej uwagi zaproponowano przeprowadzenie wewnętrznej analizy, która pozwoliłaby na zbudowanie modelu wiążącego rozmiar promienia równoważnego dla wybranej izodozy w zależności od rozmiaru napromienianej zmiany. Tak przeprowadzona analiza pozwoli na określenie swoistych poziomów referencyjnych, określających parametry związane z kształtem gradientu spadku dawki w planie terapeutycznym. Niniejsza praca jest propozycją kształtu takiej wewnętrznej analizy.

## Literatura

1. A. Mucha-Matecka, B. Gliński, E. Jakubowicz: *Radiochirurgia stereotaktyczna w praktyce klinicznej*, *Onkologia w Praktyce Klinicznej*, 9(4), 2013, 123-127.
2. M. Torrens, C. Chung, H. Chung et al.: *Standardization of terminology in stereotactic radiosurgery: Report from the Standardization Committee of the International Leksell Gamma Knife Society*, *J Neurosurg*, (Suppl 2) 121, 2014, 2-15.
3. S. Hsu, Y. Lai, C. Jeng et al.: *Dosimetric comparison of different treatment modalities for stereotactic radiotherapy*, *Radiation Oncology*, 12, 2017.
4. I. Wiatrowska, J. Winiński, K. Majewska i in.: *Analiza porównawcza algorytmów AAA (Analytical Anisotropic Algorithm) oraz PBC (Pencil Beam Convolution) w teleradioterapii*, *Onkologia i Radioterapia*, 3(25), 2013, 13-17.
5. K. Sung, Q. Zhang: *Dose gradient curve: A new tool for evaluating dose gradient*, *PLoS One*, 13(4), 2018.
6. K. Charan: *Rose Case of SRS Brain Metastasis*, <https://www.slideshare.net/kanhucpatro/rose-case-of-srs-brain-metastasis>.

reklama

**KOSS**

**Aparaty RTG**  
analogowe  
cyfrowe

**TELERRADIOLOGIA**  
już od 9,00 zł za badanie

**Radiografia cyfrowa**  
DR i CR

**RENTGEN-SERWIS**  
Zygmunt Koss Rafał Koss  
ul. Kasjopei 8 • 80-299 Gdańsk  
tel. 58 511 09 03 • tel. kom. 603 270 482  
e-mail: rentgenserwis@gmail.com  
www.koss.net.pl