



# Automatyzacja analizy wyników planowania leczenia u pacjentów leczonych wiązkami zewnętrznymi promieniowania jonizującego z wykorzystaniem formatu DICOM

## Automation of dose volume histograms for external beams treatment plans

Dariusz Szatkowski<sup>1</sup>, Anna Zawadzka<sup>2</sup>, Daniel Kikoła<sup>3</sup>, Paweł Kukołowicz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NaviRation Sp. z o.o., ul. Fryderyka Chopina 41-2, 20-023 Lublin

<sup>2</sup>Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy, ul. Roentgena 5, 02-781 Warszawa

<sup>3</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

### Wprowadzenie

Przygotowanie dobrego planu leczenia wiązkami zewnętrznymi jest kluczowe dla osiągnięcia celu radioterapii. W wielu przypadkach to zadanie jest bardzo czasochłonne. Metodą prób i błędów osoba planująca stara się uzyskać jak najlepszy rozkład dawki.

Z drugiej strony coraz większe możliwości technologiczne i zaawansowane techniki napromieniania sprawiają, że coraz większym wyzwaniem jest ocena przygotowanego rozkładu dawki i podjęcie decyzji o zakończeniu planowania leczenia. Ocena jakości rozkładu dawki jest dokonywana poprzez porównanie uzyskanych statystyk rozkładów dawki w objętości tarczowej

[244](#)

### Streszczenie

W pracy przedstawiliśmy narzędzia informatyczne umożliwiające szybką analizę dużej ilości danych opisujących rezultat planowania leczenia na podstawie plików DICOM eksportowanych z systemów planowania leczenia. Programy napisane zostały z wykorzystaniem języka Python 2.7 oraz modułu pydicom. Pierwszy opracowany program umożliwia zautomatyzowany odczyt wybranych statystyk ze wskazanych plików DICOM. Drugi program umożliwia agregację wybranych statystyk opisujących przestrzenny rozkład dawki z planów przygotowanych dla różnych pacjentów. Sporządzoną bazę danych użytkownik może na bieżąco poddawać analizie statystycznej z wykorzystaniem zbiorczych, uśrednionych histogramów DVH wraz z nałożonymi wykresami pudełkowymi, które prezentują rozkład wybranej statystyki w grupie analizowanych planów leczenia. Oba przygotowane narzędzia zostały sprawdzone niezależną metodą pod kątem poprawności zwracanych wyników.

**Słowa kluczowe:** radioterapia wiązkami zewnętrznymi, automatyzacja analizy danych, skumulowane histogramy dawki

### Abstract

Software for fast analysis of large amount of results of treatment planning is presented. DICOM data of dose distribution were exported from Eclipse treatment planning system and analyzed with two separate programs. Programs were written in Python 2.7 and the module pydicom. The first program enables automatic reading of the user defined statistics. The second program enables aggregation of the the data, ie. statistics of 3D dose distributions for the database defined by the user. The data may be statistically analyzed with the cumulative average dose volume histograms. The box plot method is used to present the result of the analysis. Both programs were validated with the independent method.

**Key words:** external treatment planning, automation of data analysis, cumulative dose volume histograms

otrzymano / received:

07.06.2022

poprawiono / corrected:

23.06.2022

zaakceptowano / accepted:

29.06.2022



i w narządach krytycznych z odpowiadającymi wartościami tych statystyk określonymi w protokołach terapeutycznych obowiązujących w jednostce stosującej radioterapię [1]. Określone w protokołach terapeutycznych wartości statystyk zasadniczo odnoszą się do wartości maksymalnych, których nie należy przekraczać, np. wartość dawki średniej w płucach, w śliniankach, odchylenie standardowe dawki w objętości tarczowej nie powinny być większe niż te zapisane w protokołach. Nie oznacza to jednak, że w poszczególnych przypadkach klinicznych nie można przygotować lepszego planu. Istnieją również sytuacje kliniczne, w których ze względu na budowę anatomiczną pacjenta nie jest możliwe uzyskanie wymaganych statystyk. Nawet doświadczony personel przygotowujący plan leczenia nie zawsze potrafią ocenić konkretną sytuację kliniczną i zdecydować, czy należy nadal próbować poprawiać plan leczenia, czy też należy zakończyć pracę. Aby ułatwić podejmowanie takich decyzji, w naszym szpitalu zostało napisane oprogramowanie ułatwiające w dużym stopniu automatyczną analizę rozkładów dawki dla jednorodnej grupy pacjentów, tzn. pacjentów napromienianych z powodu tej samej choroby nowotworowej, tą samą techniką leczenia. Drugim celem pracy było przygotowanie narzędzia do wspomagania oceny wykonanego planu leczenia umożliwiającego automatyczne porównanie zdobytych statystyk ze statystykami uzyskanymi dla planów leczenia zaakceptowanych wcześniej do realizacji klinicznej. W tej pracy prezentujemy oprogramowanie do analizy rozkładów dawki wraz z uzyskanymi wynikami dla jednorodnej grupy pacjentek napromienianych z powodu nowotworu piersi.

## Materiał i metody

### Planowanie leczenia

W Centrum Onkologii w Warszawie do planowania leczenia używany jest system Eclipse firmy Varian, wersja oprogramowania 15.6. Rozkład dawki jest oceniany poprzez analizę skumulowanych histogramów dawki (ang. *Dose Volume Histogram*), które określają zależność pomiędzy dawką D i objętością danej struktury anatomicznej (objętość tarczowa, narząd krytyczny), która otrzymuje dawkę o wartości D lub wyższą [2]. Objętość jest wyrażana najczęściej w jednostkach względnych w odniesieniu do całej objętości struktury. Dla każdego pacjenta wstępna ocena rozkładu dawki jest dokonywana poprzez porównanie uzyskanych statystyk z wartościami określonymi w wewnętrznym protokole. W tej pracy prezentujemy rezultat wykorzystania opracowanego narzędzia na przykładzie pacjentek z nowotworem piersi po oszczędzającej radioterapii. Pacjentki otrzymywały dawkę 45 Gy w dawkach 2,25 Gy na cały gruczoł piersiowy oraz dodatkowo dawkę 10 Gy w dawkach 2 Gy na łożę po usunięciu guza. W tabeli 1 zamieszczono wartości statystyk rozkładu dawki, jakie powinien spełniać każdy plan leczenia.

**Tabela 1** Wartości statystyk rozkładu dawki, jakie powinien spełniać każdy plan leczenia

Struktura	Statystyka	Ograniczenie
Lung lewe	$D_{mean}$	$\leq 9\text{Gy}$
Płuco lewe + prawe	$D_{mean}$	$\leq 4\text{Gy}$
Płuco lewe + prawe	V30Gy	$\leq 4\%$
Płuco lewe + prawe	V20Gy	$\leq 5\%$
Serce	$D_{mean}$	$\leq 4\text{Gy}$
Serce	V20Gy	$\leq 4\%$
Naczynia wieńcowe	V20Gy	$\leq 29\text{ cm}^3$
PTV/boost PTV	STD	$< 4\%$
PTV/boost PTV	D99%	$\geq 95\%$
PTV/boost PTV	D98%	$\geq 95\%$
Boost PTV	D2%	$\leq 107\%$
Boost PTV	D99%	$\geq 90\%$
Boost PTV	D98%	$\geq 95\%$
Boost PTV	V110%	najniższa z możliwych

$D_{mean}$  – dawka średnia

VXGy – objętość danej struktury anatomicznej, która otrzymuje dawkę co najmniej XGy. Przykładowo ograniczenie V30Gy  $\leq 4\%$  dla obu płuc oznacza, że objętość obydwu płuc otrzymująca dawkę 30 Gy lub więcej musi stanowić mniej niż 4% całkowitej objętości

DX% – dawka, jaką otrzymuje X% objętości danej struktury D98%  $\geq 95\%$  oznacza, że 98% objętości struktury powinno otrzymać dawkę wyższą lub równą 95% dawki zleconej

Źródło: Opracowanie własne.

## Oprogramowanie

Przygotowane narzędzie składa się z dwóch niezależnych programów: DVHSelector oraz BoxPlotManager. Danymi wejściowymi dla obydwu programów są rozkłady dawki dla pojedynczego pacjenta wyeksportowane z systemu planowania leczenia Eclipse w formacie DICOM RT PLAN, DICOM RT DOSE, DICOM RT STRUCTURE.

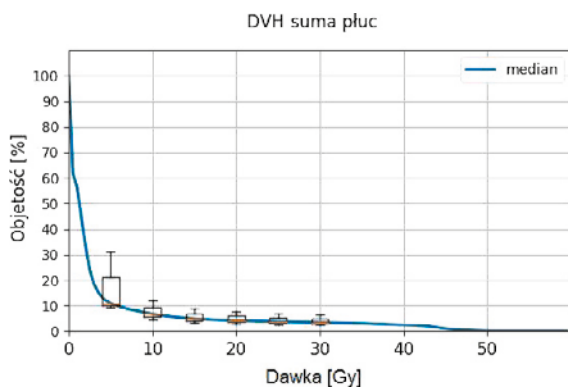
### Program DVHSelector

W tym programie wczytywany jest rozkład dawki dla pojedynczego pacjenta oraz protokół zastosowany do przygotowania planu leczenia (przykład takiego protokołu znajduje się w tabeli 1). W drugim przypadku użytkownik wskazuje na katalog, w którym zgromadzone zostały pliki DICOM RT PLAN, DICOM RT DOSE, DICOM RT STRUCTURE [3]. Ze względu na to, że w codziennej działalności zdarzają się błędy w użytych nazwach struktur, użytkownik może wskazać, która z aktualnie użytych nazw odpowiada nazwie z protokołu terapeutycznego. Program DVHSelector odczytuje z wczytanego rozkładu dawki wartości statystyk określonych w załadowanym uprzednio przez użytkownika protokole klinicznym. Z wykorzystaniem programu można analizować zarówno pojedynczy plan leczenia, jak i cały zbiór pacjentów. Wszystkie wyniki można zapisać w zewnętrznym pliku tekstowym, którego sposób formatowania pozwala na dalszą analizę np. po wczytaniu danych do arkusza kalkulacyjnego. W kod programu wbudowano narzędzia analizujące poprawność wczytanych plików DICOM. W przypadku błędu użytkownik otrzymuje klarowny komunikat, a nieodczytana wartość zapisywana jest jako: N/A.



## Program BoxPlotManager

To narzędzie, podobnie jak program DVHSelector, umożliwia wczytanie danych dla jednorodnej grupy pacjentów. Zasadnicza różnica pomiędzy programem DVHSelector a tym narzędziem polega na tym, że w programie BoxPlotManager po wczytaniu danych automatycznie dla wczytanej grupy pacjentów generowany jest średni DVH dla wybranych struktur anatomicznych. Dodatkowo dla wybranych wartości statystyk zamieszczane są wykresy pudełkowe. Po wskazaniu identyfikatora pojedynczego pacjenta na tym samym wykresie prezentowany jest dla pacjenta i dla wybranej struktury skumulowany Dose Volume Histogram. Taka prezentacja pozwala użytkownikowi na porównanie uzyskanego rozkładu dawki z uśrednioną wartością uzyskaną we wskazanej grupie pacjentów oraz na porównanie uzyskanych wyników z wartościami określonymi w protokole. Te ostatnie wartości są prezentowane w tabeli. Przykładowy wynik działania programu BoxPlotManager jest pokazany na rycinie 1 oraz w tabeli 2. Program BoxPlotManager działa jak baza danych. Uzyskiwane uśrednione rozkłady DVH można zapisać oraz dodawać nowych pacjentów do bazy.



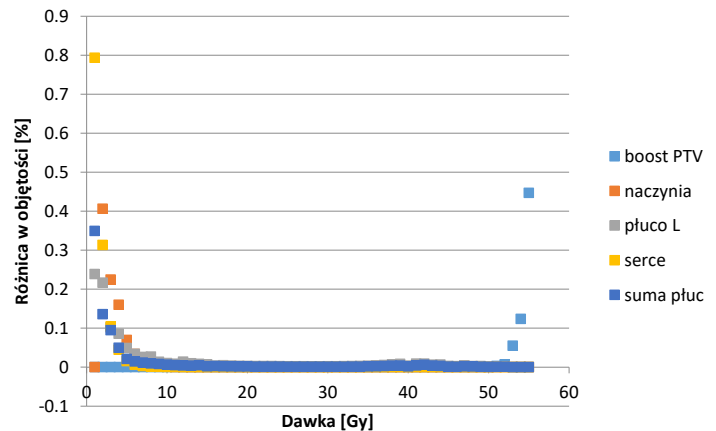
Ryc. 1 Przykładowy skumulowany histogram dawek w płucach dla jednorodnej grupy pacjentów  
Źródło: Archiwum własne.

## Wyniki i omówienie wyników

### Sprawdzenia poprawności działania programu

W celu sprawdzenia poprawności działania obydwu programów wczytano dane dla losowo wybranych 15 pacjentek z nowotworem piersi po stronie lewej oraz przygotowano protokół testujący poszczególne funkcjonalności programu. Następnie dla wybranych struktur anatomicznych: serca, płuca lewego, sumy płuc, naczyń wieńcowych i boostu PTV wygenerowano średnie Dose Volume Histograms. Te same wyniki wyeksportowano z systemu planowania Eclipse i wczytano do arkusza kalkulacyjnego Excel, a następnie ręcznie wygenerowano uśrednione Dose Volume Histograms. Porównano uzyskane wyniki. Uzyskany rezultat pokazano na rycinie 2. Jedynie dla bardzo małych dawek i w obszarze boost PTV dla dawek bliskich wartościom

maksymalnym uzyskano niewielkie różnice. Analiza wyników wykazała, że źródłem tych różnic jest interpolacja danych. Te niewielkie różnice nie mają jednak żadnego znaczenia klinicznego i nie wpływają na wynik.



Ryc. 2 Wynik sprawdzenia działania napisanych programów  
Źródło: Archiwum własne.

### Wyniki odstające

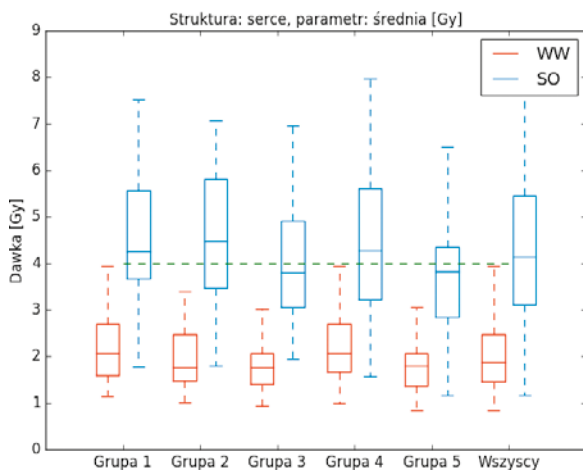
Wyniki odstające mogą w sposób znaczący wpływać na uśrednione wartości obliczone dla danej grupy pacjentów. Powszechnie wyniki uznane za odstające są eliminowane z analizowanych danych. Jednakże w rozważanej sytuacji dla pojedynczego pacjenta takie odstające wyniki mogą wystąpić nie dla wszystkich struktur anatomicznych. Powstaje zatem pytanie o zbieżność procesu usuwania z bazy danych pacjentów i wpływ, jaki takie postępowanie może mieć na końcowy wynik. W chwili obecnej autorzy nie znaleźli precyzyjnej odpowiedzi na to, jak postępować z takimi danymi. W naszym zespole obowiązuje zasada, że rozkład dawki dla takiego pacjenta jest analizowany przez doświadczonego planistę, który podejmuje decyzję, czy ten pacjent może być zaliczony do jednorodnej grupy pacjentów. W zależności od decyzji wyniki dla tego pacjenta są włączane do obliczeń lub nie.

### Zastosowania kliniczne

Analizę rozkładów dawki przeprowadzono dla 147 pacjentek po operacji oszczędzającej piersi napromienianych po lewej stronie. W naszym zakładzie dla każdej pacjentki przygotowany jest plan na swobodnym oddechu (SO) oraz głębokim wdechu (WW). Dawka zlecona na obszar PTV wynosiła 55 Gy w dawkach frakcyjnych 2,25 Gy. Na całą pierś podawano dawkę 45 Gy, w obszarze boostu 10 Gy, w dawkach frakcyjnych 2 Gy. Całą grupę podzielono na 5 podgrup. W każdej grupie znajdowało się 30 kolejno leczonych pacjentek. W ostatniej było 27 pacjentek.

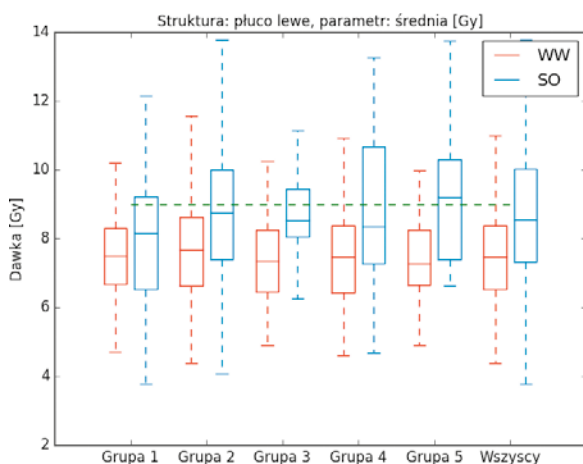
Porównanie pomiędzy grupami przeprowadzono dla statystyk określonych w protokole terapeutycznym przedstawionym w tabeli 1. Osobno analizowano plany wykonane na tomografii

uzyskanej dla swobodnego oddechu i wstrzymanego wdechu. Wykonano test Kruskala-Wallisa w celu sprawdzenia, czy zachodzą istotne różnice pomiędzy grupami oraz całym zbiorem pacjentek.



**Ryc. 3** Porównanie dawek średnich w sercu w grupach pacjentek napromienianych na swobodnym i zatrzymanym oddechu  
Źródło: Archiwum własne.

Na rycinie 3 porównano rozkład dawek średnich w sercu w każdej z grup dla pacjentek napromienianych na swobodnym oddechu i na zatrzymanym wdechu. Dawki średnie w grupie pacjentek napromienianych na wstrzymanym wdechu są statystycznie mniejsze niż w grupie napromienianej na swobodnym oddechu. U części pacjentek napromienianych na swobodnym oddechu plany leczenia nie spełniają kryteriów określonych przez protokół terapeutyczny (zielona przerywana linia), dawka średnia jest większa od 4 Gy.



**Ryc. 4** Porównanie dawek średnich w płucach w grupach pacjentek napromienianych na swobodnym i zatrzymanym oddechu  
Źródło: Archiwum własne.

Na rycinie 4 porównano rozkład dawek średnich w płucu po stronie napromienianej w każdej z grup dla pacjentek napromienianych na swobodnym oddechu i na zatrzymanym wdechu. Dawki średnie w grupie pacjentek napromienianych na wstrzymanym wdechu są statystycznie mniejsze niż w grupie napromienianej na swobodnym oddechu. U części pacjentek napromienianych na swobodnym oddechu plany leczenia nie spełniają kryteriów określonych przez protokół terapeutyczny, dawka średnia była większa od 9 Gy. Analiza wyników dla wszystkich statystyk w poszczególnych grupach wykazała, że w okresie od 1 stycznia 2016 roku do 30 czerwca 2017 roku rozkłady dawki nie zmieniły się w sposób istotny statystycznie. Oznacza to, że jakość przygotowanych planów nie pogorszyła się, ale niestety również nie poprawiła się.

Przygotowane narzędzie może być stosowane do porównywania wyników planowania leczenia z kilku ośrodków terapeutycznych. Takie działanie umożliwia unifikację protokołów terapeutycznych oraz kontrolę jakości leczenia. Do dnia dzisiejszego oprogramowanie było wielokrotnie używane w naszym ośrodku do analizy wyników napromieniania pacjentów leczonych w naszym ośrodku.

## Wnioski

Przygotowane narzędzie spełnia bardzo ważną rolę w ocenie planu leczenia. Umożliwia porównanie uzyskanego wyniku dla pojedynczej pacjentki z uśrednionymi wynikami uzyskanymi dla grupy pacjentek, których plany zostały zaakceptowane do realizacji klinicznej. Co istotne, analiza ta może być wykonana w rozsądnym interwale czasowym. Jest niezwykle pomocne, szczególnie dla mniej doświadczonych planistów, którzy nie wiedzą, czy uzyskany wynik pozwala na zakończenie planowania. Oprogramowanie umożliwia szybką i wygodną analizę dużego zbioru danych. <sup>B</sup>

## Piśmiennictwo

1. V. Hernandez, J. Saez, M. Pasler et al.: *Comparison of complexity metrics for multi-institutional evaluations of treatment plans in radiotherapy*, Physics and Imaging in Radiation Oncology, 5, 2018, 37-43, <https://doi.org/10.1016/j.phro.2018.02.002>.
2. D. Wollschlaeger, H. Karle: *Analyzing dose-volume histograms using DVHmetrics for R*, University Medical Center Mainz, Germany, 2017, <https://cran.r-project.org/web/packages/DVHmetrics/vignettes/DVHmetrics.pdf>
3. <https://www.dicomstandard.org/current>.