



Dostępne online www.journals.wco.pl/los

Zeszyty Naukowe WCO, Letters in Oncology Science 2022;19(1):45-55

DOI: 10.21641/los.2022.19.1.226

Letters in Oncology Science

ISSN 2543-6724

ZESZYTY NAUKOWE WIELKOPOLSKIEGO
CENTRUM ONKOLOGII

Praca poglądowa/Review paper

Wpływ Normal Tissue Objective (NTO) na rozkład dawki w planowaniu radioterapii raka prostaty z jednoczasowym zintegrowanym boostem (SIB)

Effect of the Normal Tissue Objective (NTO) on Dose Distribution in Prostate Cancer Treatment with Simultaneous Integrated Boost (SIB).

Marta Paluszyńska¹, Olga Bąk¹,
Patrycja Borowska¹, Urszula Sobocka-Kurdyk¹

¹ Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań, Polska

Streszczenie

Jednym z najczęstszych nowotworów wśród mężczyzn w Polsce jest nowotwór gruczołu krokowego, a jednym ze sposobów jego leczenia jest radioterapia z jednoczasowym zintegrowanym boostem (SIB, *ang. Simultaneous Integrated Boost*), który umożliwia dostarczenie różnych dawek do różnych objętości docelowych w ramach jednej frakcji leczenia.

Ze względu na położenie prostaty pomiędzy narządami krytycznymi niezbędne jest uzyskanie dużego spadku dawki wokół obszaru tarczowego (PTV, *ang. Planning Target Volume*) a jednym ze sposobów osiągnięcia tego jest zastosowanie w systemie planowania leczenia (TPS, *ang. Treatment Planning System*) Eclipse (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA) funkcji optymalizacji *Normal Tissue Objective (NTO)*. Jest to zoptymalizowany zestaw parametrów wejściowych, które pełnią funkcję pierścienia dookoła PTV.

W pracy zostały porównane plany bez NTO, z automatycznym ustawieniem NTO oraz o różnych kombinacjach priorytetu p (50, 200 i 500) oraz spadku dawki (*ang. fall-off*) k (0,05, 0,2 i 1). W planach

Adres do korespondencji

Marta Paluszyńska

Zakład Fizyki Medycznej,

Wielkopolskie Centrum Onkologii, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań, Polska

Telefon. +48 61 88 50 550

e-mail: marta.paluszynska@wco.pl

zostały porównane rozkłady dawek, współczynniki konformalności (CI, *ang. Conformity Index*) i gradientu (GI, *ang. Gradient Index*) oraz dawki w narządach krytycznych (OAR, *ang. Organs at Risk*).

Na podstawie analizy rozkładów dawek wyraźnie zaobserwowano, że NTO jest skutecznym narzędziem do ograniczenia dawki poza objętością PTV. Współczynnik konformalności określający stopień dopasowania kształtu izodoz do kształtu obszaru tarczowego dla wszystkich planach utrzymywał się na podobnym poziomie, a jego średnia wartość wynosiła $0,529 \pm 0,196$. Współczynnik gradientu stanowi różnicę między promieniami odpowiadającymi izodozom 100 i 50% dawki zadanej, więc im niższa jego wartość, tym większy jest spadek dawki poza PTV. Najniższe wartości GI zaobserwowano dla planów o większym priorytecie, ale niestety jest to związane ze spadkiem pokrycia w PTV. Analiza rozkładu dawek, powyższych parametrów oraz dawek w narządach krytycznych wykazała, że funkcja optymalizacji NTO wykorzystywana w planowaniu raka gruczołu krokowego, prawdopodobnie ze względu na jego anatomiczne położenie, nie ma dużego wpływu na redukcję dawki w sąsiednich tkankach, ale może z powodzeniem zastąpić manualnie tworzoną strukturę pomocniczą służącą redukcji dawki poza granicami obszaru tarczowego.

Dalsze badania nad NTO zakładają większą grupę planów i wartości wejściowych parametru oraz zmianę lokalizacji.

Abstract

One of the most common cancers among men in Poland is prostate cancer, and one of the methods of its treatment is Simultaneous Integrated Boost (SIB). Technique allows the simultaneous delivery of different dose levels to different target volumes within a single treatment fraction.

Due to the location between the sensitive organs, it is necessary to achieve a rapid dose gradient around Planning Target Volume (PTV) and one way to achieve this is to use Normal Tissue Objective (NTO) in the Treatment Planning System (TPS) Eclipse (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA).

The study compares plans without NTO, automatic NTO and with different combinations of the priority p (50, 200 and 500) and the fall-off k (0.05, 0.2 and 1). For the evaluation of the plans, dose distributions, conformity index (CI) and gradient index (GI) as well as doses in organs at risk (OAR) were compared.

The dose distribution shows that NTO is an effective tool for dose reduction around PTV. The conformity index determines the adjustment of the isodose shape to the target area and remained at a similar level on all plans, with an average value of 0.529 ± 0.196 . The gradient factor is the difference between the equivalent sphere radius of the prescription and half-prescription isodoses, so its lower value means a greater dose decrease beyond PTV. This is visible for higher priority plans, but unfortunately it is related to a decrease in PTV coverage. Dose analysis in OAR showed that NTO used in prostate cancer planning, probably due to its anatomical location, does not have a significant dose reduction effect, but it can successfully replace a manually created structure for dose reduction beyond the limits of the target.

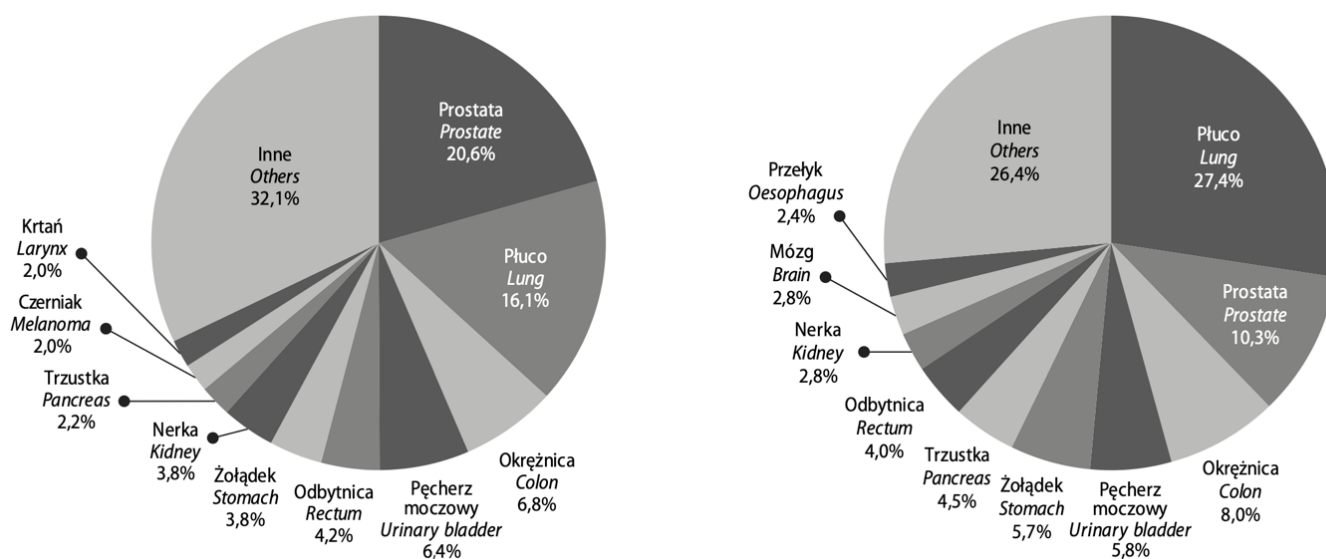
Further research using a larger sample and different NTO parameters or changing the location of interest is needed.

Słowa kluczowe: radioterapia, planowanie leczenia, NTO, prostata, SIB

Keywords: radiotherapy, treatment planning, NTO, prostate, SIB

Wstęp

Krajowy Rejestr Nowotworów podaje, że najczęstszym nowotworem wśród mężczyzn w Polsce jest nowotwór gruczołu krokowego i stanowi on około 21% wszystkich zachorowań oraz ponad 10% zgonów nowotworowych, co zostało przedstawione na ryc. 1. [1]



Ryc. 1. Struktura zachorowań oraz zgonów na nowotwory złośliwe wśród mężczyzn w Polsce w 2019 roku.

Jedną z głównych technik terapeutycznych w przypadku nowotworu prostaty jest radioterapia wiązkami zewnętrznymi (EBRT, *ang. External Beam Radiation Therapy*). Technika jednoczasowego zintegrowanego boostu (SIB, *ang. Simultaneous Integrated Boost*) umożliwia jednoczesne dostarczenie różnych dawek do różnych objętości docelowych w ramach jednej frakcji radioterapii. W konsekwencji można zwiększyć dawkę frakcyjną w obszarze boostu przy zachowaniu niskich dawek w pozostałych objętościach. Zmniejsza się w ten sposób liczba frakcji oraz czas leczenia, co przekłada się na większą skuteczność radiobiologiczną. [2]

Ze względu na położenie prostaty między narządami krytycznymi planowanie radioterapii w tej okolicy nie należy do prostych [3, 4, 5]. Do zmniejszenia toksyczności leczenia, a tym samym zapewnienia lepszej jakości życia pacjentowi, niezbędne są duże gradienty dawki wokół obszaru tarczowego. Istnieją różne strategie prowadzące do spadku dawki poza zaplanowanym obszarem napromieniania (PTV, *ang. Planning Target Volume*), a jedną z nich jest dostępny w systemie planowania leczenia (TPS, *ang. Treatment Planning System*) Eclipse (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA) parameter optymalizacji NTO (*ang. Normal Tissue Objective*), który zasadniczo jest wirtualnym pierścieniem wokół PTV zdefiniowanym przez cztery parametry [6]. To właśnie ze względu na dużą liczbę parametrów wybór optymalnego ustawienia NTO dla planu jest trudny i stanowi cel poniższej pracy.

Cel pracy

NTO jest narzędziem wykorzystywanym w optymalizacji planów leczenia wykonanych w technice łukowej z modulacją intensywności dawki (VMAT, *ang. Volumetric Modulated Arc Therapy*) celem ograniczenia dawki w tkankach zdrowych poza obszarem napromieniania. Celem poniżej pracy jest zbadanie wpływu parametrów NTO na rozkład dawki oraz dawki w narządach krytycznych w radioterapii prostaty z jednoczasowym zintegrowanym boostem.

Materiały i metody

Przedmiot badania stanowią plany leczenia nowotworu stercza techniką SIB z trzema obszarami docelowymi do dawek: 70,2Gy w sterczu, 52Gy w pęcherzykach nasiennych oraz 46,8Gy w węzłach chłonnych dostarczonych w 26 frakcjach. Pierwotne plany leczenia zakładają wykorzystanie w optymalizatorze systemu planowania leczenia struktury pomocniczej służącej do ograniczenia dawki poza PTV. Alternatywnie istnieje możliwość wykorzystania w optymalizatorze funkcji NTO matematycznie zdefiniowanej jako funkcja $f(x)$ w odległości x od krawędzi PTV [7, 8]:

$$f(x) = \begin{cases} f_0 e^{-k(x-x_{start})} + f_\infty (1 - e^{-k(x-x_{start})}), & x > x_{start} \\ f_0, & x < x_{start} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

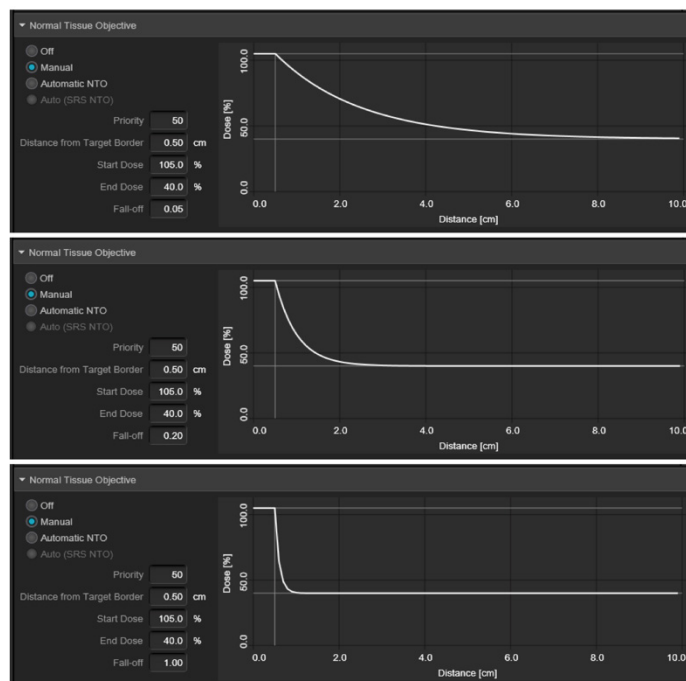
f_0 – dawka początkowa, która stanowi górne ograniczenie, którego nie powinny przekraczać dawki poza obszarem PTV,

f_∞ – dawka końcowa, czyli ograniczenie minimalnej dawki poza obszarem PTV,

k – spadek dawki, czyli siła z jaką dawka spada i oddziałuje na dawkę końcową f_∞ ,

x_{start} – odległość od granicy PTV.

Na ryc.2. zostały przedstawione trzy okna dialogowe ustawień parametrów NTO w TPS Eclipse. Przy manualnym ustawieniu musimy w optymalizatorze zadać wartości priorytetu (p), odległości od krawędzi targetu (x_{start}), dawki początkowej (f_0) oraz końcowej (f_∞). W przypadku automatycznego ustawienia NTO należy zadać tylko wartość priorytetu, który pokazuje znaczenie NTO w porównaniu z innymi parametrami w optymalizatorze.



Ryc.2. Okno dialogowe z TPS z parametrami NTO.

Na podstawie pierwotnych planów leczenia zostały przygotowane plany bez struktury pomocniczej oraz z: wyłączonym Normal Tissue Objective, automatycznym NTO o priorytetach 50, 200 i 500, które są odpowiednio mniejsze, zbliżone oraz wyższe od priorytetów nadanych w optymalizatorze strukturze PTV, a także kombinacje ręcznego NTO z priorytetami 50, 200, 500 i spadkiem k równym 0,05, 0,2 i 1. Bez zmian pozostały wartości *Distance from Target Border* równej 0,5cm oraz dawek początkowej oraz końcowej – 105% i 40%.

Wszystkie plany zostały przygotowane w TPS Eclipse wersja 16.1 (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA), a rozkłady dawki zostały obliczone z wykorzystaniem anizotropowego algorytmu analitycznego (AAA, ang. *Anisotropic Analytical Algorithm*). Porównano je na podstawie na podstawie analizy rozkładu dawek, histogramów dawka-objętość (DVH, ang. *Dose Volume Histogram*) dla PTV i narządów krytycznych (OAR, ang. *Organ At Risk*) oraz współczynnika konformalności (CI, ang. *Conformity Index*) oraz gradientu (GI, ang. *Gradient Index*).

Współczynnik konformalności CI zdefiniowany jest jako iloraz objętości zawartej w izodozie odpowiadającej dawce zadanej (V_{RI} , ang. *Volume of Reference Isodose*) i objętości tarczowej (V_{TV} , ang. *Target Volume*) [9, 10]:

$$CI = \frac{V_{RI}}{V_{TV}}. \quad (2)$$

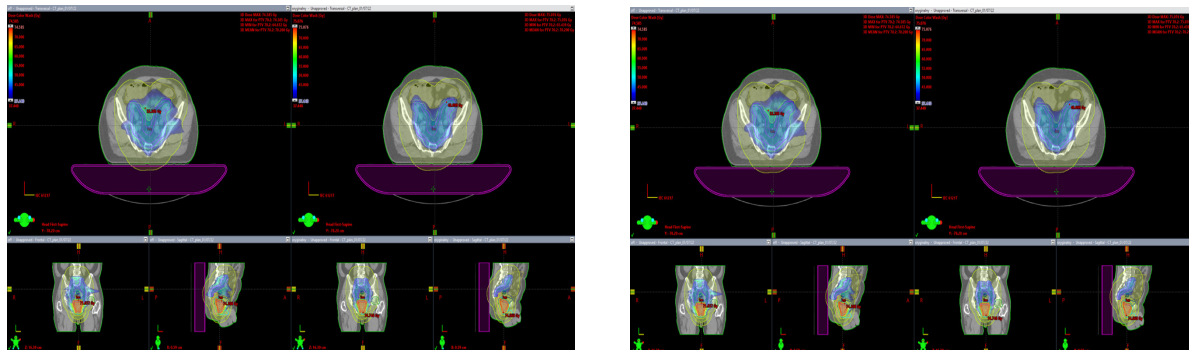
Współczynnik gradientu GI zdefiniowany jest jako stosunek objętości zawartej w izodozie obejmującej połowę zadanej dawki ($V_{50\%}$) do objętości objętej przepisaną dawką (V_{RI}) [9,10]:

$$GI = \frac{V_{50\%}}{V_{RI}}. \quad (3)$$

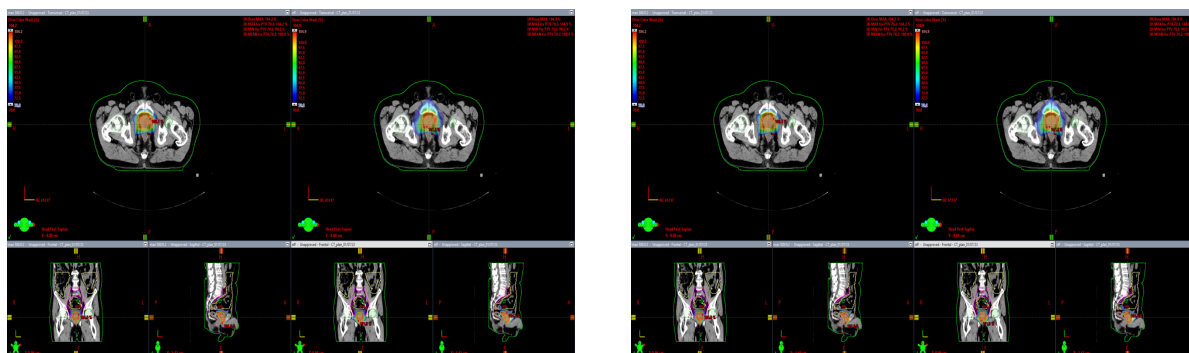
Idealną wartością wskaźnika konformalności jest 1, natomiast im niższa wartość współczynnika gradientu tym większy spadek dawki poza krawędzią PTV.

Wyniki i dyskusja

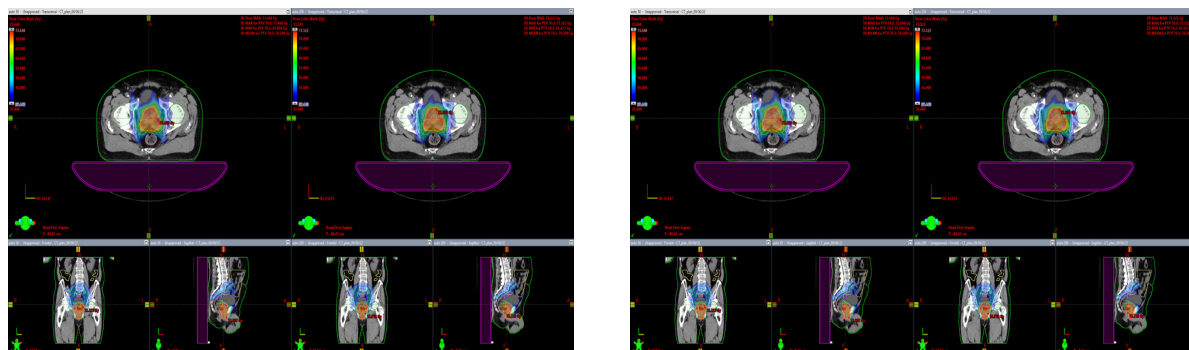
W pierwotnych planach leczenia wykorzystana została struktura pomocnicza widoczna na ryc. 3 służąca do ograniczania dawki poza obszarem PTV. Taką samą funkcję, jak NTO pełni struktura pomocnicza – pierścienia dodawana dookoła obszaru napromieniania. Na ryc. 3 widoczne jest porównanie rozkładów dawek (70% dawki całkowitej) w planie oryginalnym oraz w planie, w którym nie była optymalizowana struktura pomocnicza oraz został wyłączony parametr NTO. Widoczny jest brak redukcji dawki poza PTV w porównaniu z planem oryginalnym. Na ryc. 4 został zestawiony plan bez NTO z planem, w którym manualnie ustawiono priorytet $p=500$ oraz fall-off $k=0,2$. Można zaobserwować, że obszar objęty izodozą 70% dawki zadanej jest mniejszy w przypadku planu z wykorzystaniem NTO.



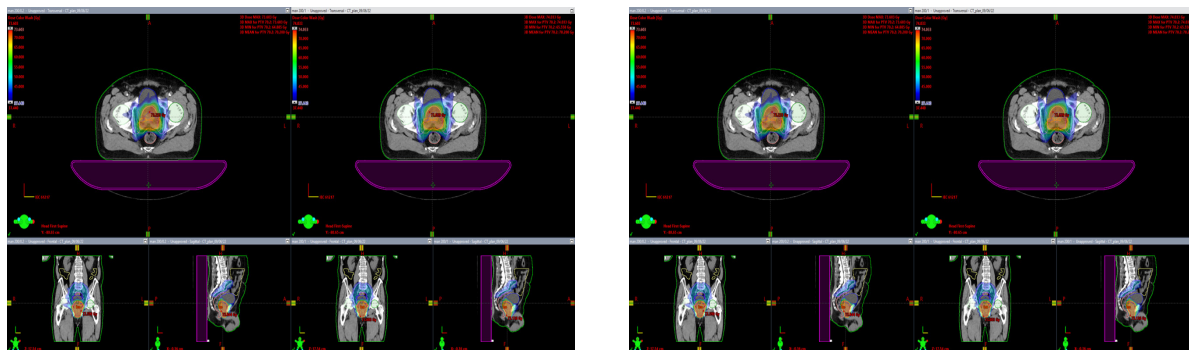
Ryc.3. Porównanie rozkładu dawki w planie bez NTO (lewa strona) i w planie oryginalnym (prawa strona).



Ryc.4. Porównanie rozkładu dawki na planie bez NTO (lewa strona) z planem z NTO o $p=500$ i $k=0,2$ (prawa strona).



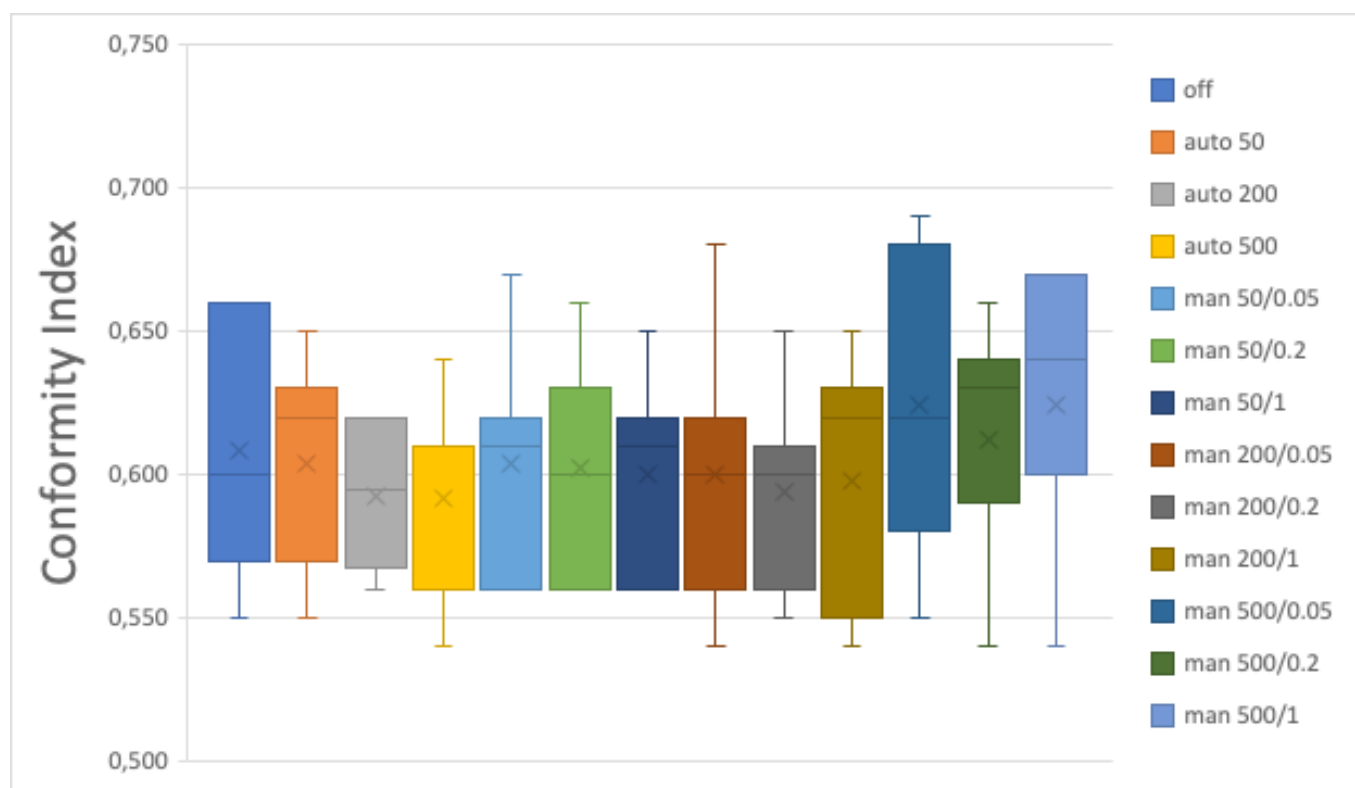
Ryc.5. Porównanie planów z automatycznym ustawieniem NTO o priorytetach $p=50$ (lewa strona) i $p=200$ (prawa strona).



Ryc.6. Porównanie rozkładu dawek w planach o jednakowym priorytecie $p=200$, ale różnych wartościach fall-off $k=0,2$ (lewa strona) i $k=1$ (prawa strona).

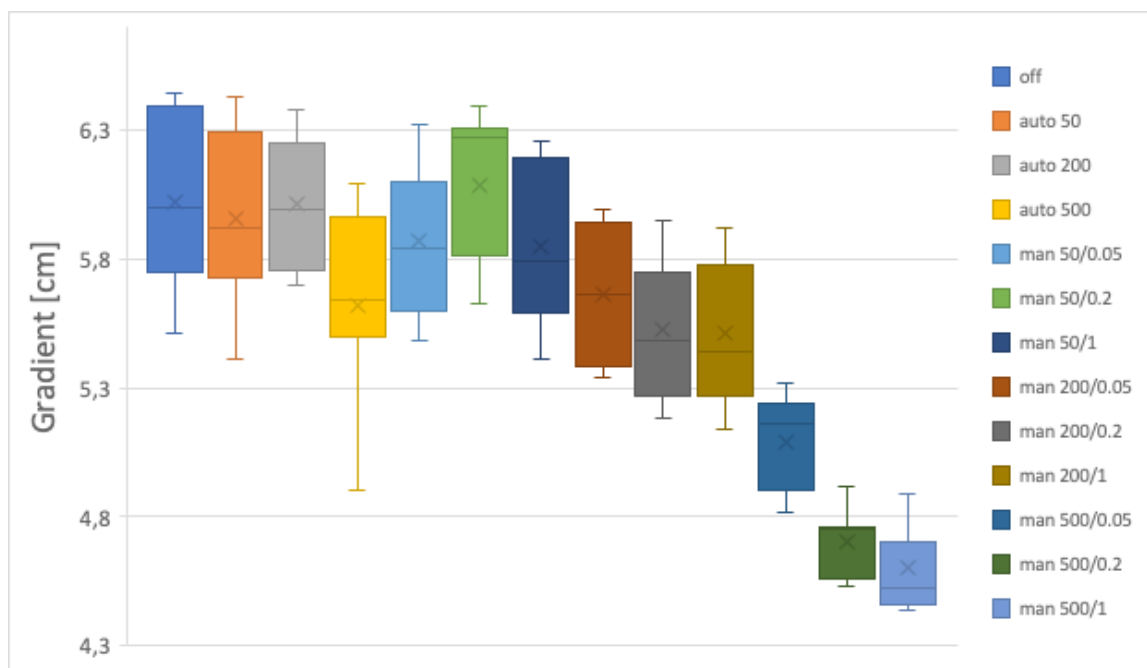
Na ryc. 5 zostały zestawione rozkłady dawek dla planu z automatycznym ustawieniem NTO o różnych priorytetach: $p=50$ i 200 . Na podstawie zilustrowanej izodozy 53% można zaobserwować, że wyższy priorytet powoduje większą redukcję dawki poza obszarem PTV. Na ryc. 6 widoczne są plany z manualnymi ustawieniami priorytetu $p=200$ oraz spadków dawki $k=0,2$ i $k=1$, na których widać, że w przypadku wyższego fall-off dawka w mniejszym stopniu rozlewa się na narządy krytyczne. Na podstawie analizy porównawczej rozkładów dawek można wywnioskować, że NTO ma podobne działanie i skutecznie ogranicza dawkę poza objętością PTV.

Na ryc. 7 przedstawiono wykres zestawiający wartości średnie współczynnika konformalności dla planu bez NTO oraz różnych wartości tego parametru. Wartości współczynnika konformalności wynosiły $0,608 \pm 0,045$ dla planu bez NTO, od $0,592 \pm 0,370$ do $0,604 \pm 0,380$ dla planów z automatycznym NTO oraz od $0,594 \pm 0,360$ do $0,624 \pm 0,055$ dla planów z manualnymi ustawieniami NTO. Największy wzrost współczynnika konformalności względem planu bez NTO zaobserwowano dla planu z ustawieniem manualnym: $p=500$, $k=0,05$. Odnotowana zmiana wynosi jedynie 1,97%. W celu porównania rozkładów dawki o zbliżonej wartości CI, istotna jest analiza współczynnika gradientu [6].



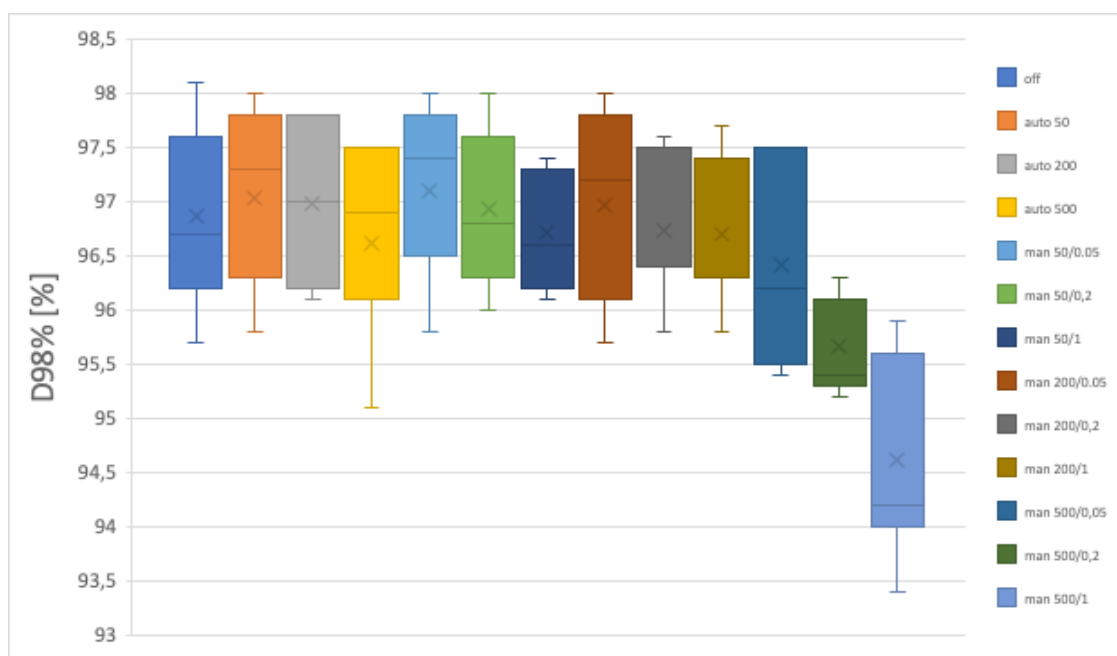
Ryc.7. Wartości średnie współczynnika konformalności (*ang. Conformity Index*) wraz z wartościami minimalnymi i maksymalnymi dla planów z różnymi parametrami NTO.

Ryc. 8 przedstawia wartości średnie gradientu dla planu bez NTO oraz różnych kombinacji wartości tego parametru. Gradient wynosił $6,018 \text{ cm} \pm 0,360 \text{ cm}$ dla planu bez NTO, od $5,956 \text{ cm} \pm 0,0371 \text{ cm}$ do $5,618 \text{ cm} \pm 0,417 \text{ cm}$ dla planów z automatycznym NTO oraz od $4,602 \text{ cm} \pm 0,171 \text{ cm}$ do $6,082 \text{ cm} \pm 0,30 \text{ cm}$ dla planów z manualnymi ustawieniami NTO. Widoczny jest niewielki spadek gradientu dla planów o $p=200$ (o ok. 8% względem planu bez NTO) i znaczny spadek gradientu dla planów o $p=500$ (o ok. 20% względem planu bez NTO).



Ryc.8. Wartości średnie gradientu wraz z wartościami minimalnymi i maksymalnymi dla planów z różnymi parametrami NTO.

Ryc. 9 przedstawia wartości dawek, którymi objęte jest 98% objętości PTV dawką zadaną dla planów bez NTO oraz różnych konfiguracji jego ustawień. Pozostają one na równym poziomie zarówno dla planu bez NTO ($96,86\% \pm 0,88\%$) jak i planów z automatycznym i manualnym ustawieniem (od $96,42\% \pm 0,92\%$ do $97,1\% \pm 0,83\%$) z wyjątkiem planów o $p=500$ oraz $k=0,2$ i $k=1$, gdzie obserwowany jest ok. 2% spadek pokrycia do średniej wartości $95,66\% \pm 0,45\%$ i $94,62\% \pm 0,96\%$, co sprawia, że pokrycie PTV dawką zadaną jest zbyt niskie, by taki plan mógł zostać zaakceptowany.



Ryc.9. Wartości średnie D98% dla PTV w planach o różnych parametrach NTO.

W tabeli 1 i na ryc. 10 zostały przedstawione wyniki analizy ilościowej histogramów dawka-objętość dla PTV oraz narządów krytycznych uzyskane dla przygotowanych planów bez NTO oraz z różnymi kombinacjami jego parametrów. W przypadku narządów krytycznych obliczany był procent objętości narządu izodozą 20Gy i 50Gy dla pęcherza moczowego oraz odbytnicy i 20Gy dla jelit.

Tabela 1. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe analizowanych parametrów histogramu dawka-objętość dla PTV oraz narządów krytycznych w planach o różnych parametrach NTO.

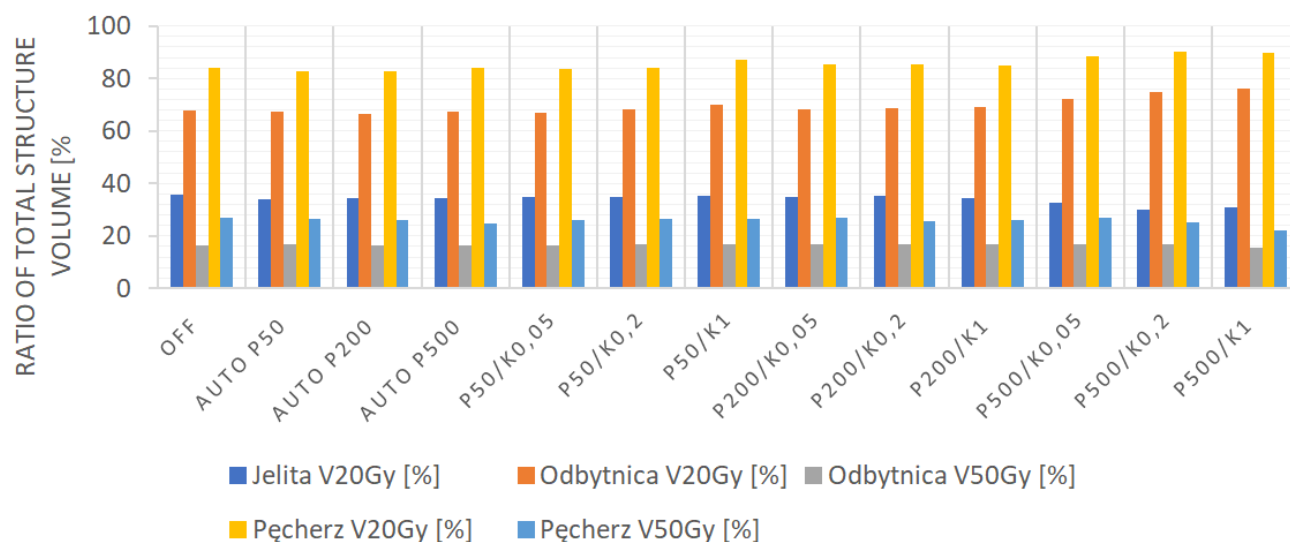
NTO		PTV		Pęcherz				Odbyttnica				Jelita	
		D98% [%]		V20Gy [%]		V50Gy [%]		V20Gy [%]		V50Gy [%]		V20Gy [%]	
		Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe	Średnia	Odchylenie standardowe
Off		96,86	0,88	83,94	8,36	26,96	8,28	67,68	12,76	16,6	5,16	35,88	8,05
Automatyczne	p 50	97,04	0,85	82,9	8,57	26,32	8,25	67,42	12,08	16,72	5,20	34,16	7,98
	p 200	96,98	0,74	82,56	8,39	25,94	8,20	66,64	12,46	16,56	5,10	34,64	7,45
	p 500	96,62	0,92	84,16	7,42	24,94	7,35	67,24	13,37	16,28	5,44	34,56	8,62
Manualne	P 50 k 0,05	97,1	0,83	83,62	8,89	26,3	8,76	66,94	13,00	16,58	5,18	34,86	8,43
	P 50 k 0,2	96,94	0,76	84,18	7,70	26,56	7,69	68,3	12,46	16,86	5,29	35,08	8,05
	P 50 k 1	96,72	0,54	87,02	6,93	26,32	6,92	69,8	11,93	16,72	5,12	35,36	8,10
	P 200 k 0,05	96,96	0,91	85,18	6,86	26,78	6,82	68,16	11,98	16,76	5,07	34,96	8,01
	P 200 k 0,2	96,74	0,70	85,52	8,13	25,7	7,99	68,66	11,59	16,74	5,37	35,1	8,24
	P 200 k 1	96,7	0,72	84,84	7,77	26,26	7,77	69,26	12,24	16,72	5,12	34,22	8,09
	P 500 k 0,05	96,42	0,92	88,36	8,61	27,02	8,51	72	10,22	16,76	5,18	32,62	7,19
	P 500 k 0,2	95,66	0,45	90	6,90	25,26	6,73	74,86	12,63	16,86	5,22	30,22	5,58
	P 500 k 1	94,62	0,96	89,9	7,30	22,34	7,29	76	10,98	15,66	5,15	30,78	6,98

W przypadku jelit spadek objętości pokrytej izodozą 20Gy obserwowany jest dla wszystkich planów. Największą redukcję – o 15% względem planu bez NTO – zanotowano dla planu o p = 500 i k = 0,2.

Dla pęcherza i odbytnicy obserwuje się nieznaczny (o 1,5%) spadek objętości narządu pokrytej izodozą 20 Gy dla planów z automatycznym NTO. W przypadku planów z ustawieniem manualnym zanotowano wzrost tej objętości o nawet 12% w odbytnicy o 7% w pęcherzu dla planów o p=500.

Dla izodozy 50Gy największy spadek pokrytej nią objętości pęcherza i odbytnicy obserwujemy dla planów o p=500 i k=1 (odpowiednio o 5,6% i 17%). Dla odbytnicy spadki objętości pokrytej izodozą 50 Gy zaobserwowano dla wszystkich planów z automatycznym NTO oraz dla planu z ustawieniem manualnym p = 50, k = 0,05. W przypadku pęcherza moczowego pożądanego efektu odnotowano dla planów automatycznych z priorytetem 50 i 200 oraz planów manualnych: p = 50, k = 0,05 i 1, a także p = 200, k = 0,2. W przypadku żadnego z planów, także tych, w których objętości narządów krytycznych pokryte analizowanymi izodozami wzrosły, nie zaobserwowano przekroczenia dawek tolerancji [11].

Na niewielkie różnice w dawkach w narządach krytycznych niezależnie od wartości parametrów wejściowych NTO może mieć wpływ fakt, że są one również optymalizowane w trakcie przygotowywania planu leczenia [12].



Ryc.10. Wartości V20Gy i V50Gy dla narządów krytycznych w planach o różnych wartościach NTO.

Wnioski

Normal Tissue Objective (NTO) to zoptymalizowany zestaw parametrów wejściowych, które określają w jaki sposób dawka spada poza zdefiniowanym PTV. Celem powyższej pracy było zbadanie jak parametry wejściowe NTO wpływają na rozkład dawek w przypadku radioterapii prostaty z jednoczasowym zintegrowanym boostem do całkowitej dawki 70,2Gy. Przygotowane zostały plany leczenia bez NTO, z automatycznym ustawieniem NTO o priorytetach p równych 50, 200 i 500 oraz z różnymi kombinacjami priorytetu p oraz spadku dawki (*fall-off*) k równym 0,05, 0,2 i 1. Następnie plany zostały poddane analizie.

Wizualna ocena rozkładów dawki na przekrojach tomograficznych pozwala stwierdzić, że NTO działa jak struktura pierścieniowa dookoła objętości PTV i prowadzi do redukcji dawki poza tym obszarem.

Dla objętości PTV zostały wyznaczone współczynniki konformalności oraz gradientu. Współczynnik konformalności CI określa stopień dopasowania kształtu izodoz do kształtu obszaru tarczowego i na przygotowanych planach utrzymywał się na stosunkowo równym poziomie równym średnio $0,528 \pm 0,196$. Widoczny był niewielki, bo o niecałe 2% względem planu bez NTO, wzrost wartości tego parametru dla planów o priorytecie p=500. Na korzyść planów o p=500 wskazuje również współczynnik gradientu, czyli różnica między promieniem kuli odpowiadającej izodozie dawki zadanej oraz połowy tej dawki. Mniejsza wartość współczynnika gradientu wskazuje na większy spadek dawki poza objętością PTV. W przypadku planów o priorytecie p=500 zauważalny spadek współczynnika o średnio 20% względem planu bez NTO. Niski indeks gradientu został jednak osiągnięty kosztem pokrycia w PTV. Dla planu o p=500 i k=1 dawka pokrywająca 98% objętości tarczowej była niższa niż 95% dawki zadanej. Korzystniej prezentują się plany o priorytecie p=200, gdzie pokrycie PTV pozostało na wysokim poziomie, a współczynnik gradientu spadł względem planu bez NTO o 16,7%.

W narządach krytycznych wszystkie wartości niezależnie od planu spełniały kryteria tolerancji, a różnice w objętościach objętych izodozami 20Gy i 50Gy są niewielkie. Największe spadki w objętości narządów w wysokich dawkach widoczne są dla planów p=500 i k=1, co może być również związane z utratą pokrycia w objętości PTV. W porównaniu do planu bez NTO dobrze wypadły plany z automatycznymi ustawieniami, w przypadku których spadły wartości V20Gy i V50Gy dla wszystkich kombinacji parametrów wejściowych NTO.

Powyższe wyniki wskazują, że funkcja optymalizacji NTO wykorzystywana w planowaniu radioterapii nowotworu prostaty z jednoczasowym zintegrowanym boostem nie ma dużego znaczenia w redukcji dawek w tkankach sąsiednich. Wynika to prawdopodobnie z anatomicznego położenia prostaty, która jest otoczona zoptymalizowanymi narządami, więc optymalizacja NTO ma mniejsze znaczenie. Nie zmienia to jednak faktu, że narzędzie to jest skutecznym narzędziem służącym do poprawy rozkładu dawki poza objętością

PTV, co potwierdzają przedstawione w pracy rozkłady (ryc. 3 – ryc. 6) oraz współczynnik gradientu (ryc. 8) i może być wykorzystywany w planach leczenia zamiast pierścieniowej struktury pomocniczej redukującej dawkę poza granicami obszaru tarczowego.

Przyszłe badania nad wykorzystaniem parametru NTO w przypadku planowania radioterapii raka prostaty mogą obejmować większą grupę pacjentów, a także większą kombinację parametrów wejściowych NTO. Warto także zastanowić się nad uwzględnieniem w badaniach innej lokalizacji, na przykład nowotworów głowy i szyi, gdzie również niezbędne jest uzyskanie ostrego spadku dawki poza obszarem PTV ze względu na bliskie położenie kluczowych narządów krytycznych.

Bibliografia

- [1] Raport roczny. Nowotwory złośliwe w Polsce w 2019 roku. Narodowy Instytut Onkologii, http://onkologia.org.pl/wp-content/uploads/Nowotwory_2019.pdf, dostęp 07.11.2022 r.
- [2] Jorgo K, Polgar C, Major T, Stelczer G, Herein A, Poczta T, et al. Acute and Late Toxicity after Moderate Hypofractionation with Simultaneous Integrated Boost (SIB) Radiation Therapy for Prostate Cancer. A Single Institution, Prospective Study. *Pathol. Oncol. Res.* 2020; 26. 905–912.
- [3] Ashamalla H, Tejwani A, Parameritis I, Swamy U, Luo PC, Guirguis A, et al. Comparison study of intensity modulated arc therapy using single or multiple arcs to intensity modulated radiation therapy for high-risk prostate cancer. *Radiat Oncol J.* 2013; 31. 104-10.
- [4] Wolff D, Stieler F, Welzel G, Lorenz F, Abo-Madyan Y, Mai S, et al. Volumetric modulated arc therapy (VMAT) vs. serial tomotherapy, step-and-shoot IMRT and 3D-conformal RT for treatment of prostate cancer. *Radiotherapy and Oncology.* 2009; 93. 226-233.
- [5] Caldeira A, Trinca WC Mr, Flores TP Ms, Obst FM, Brito CS, Grüssner MM, et al. The Influence of Normal Tissue Objective in the Treatment of Prostate Cancer. *J Med Imaging Radiat Sci.* 2020; 51(2). 312-316.
- [6] Varian Medical System. The MyVarian customer support community, <https://www.myvarian.com>, dostęp 08.11.2022 r.
- [7] Alakuijala J, Pesola K, Spatially-variant normal tissue objective for radiotherapy. EP2038010. Varian Medical Systems International AG Cham, Switzerland; 2013.
- [8] Varian Medical System. Eclipse photon and electron algorithms reference guide. Varian Associates Inc. Oncology Systems, Palo Alto, CA, USA; 2015.
- [9] Malicki J, Ślosarek K . Planowanie leczenia i dozymetria w radioterapii (Tom 2). Gdańsk: Via Medica; 2018.
- [10] Paddick I, Lippitz B. A simple dose gradient measurement tool to complement the conformity index. *J Neurosurg.* 2006; 105. 194-201.
- [11] Bentzen S, Constine L, Deasy J, Eisbruch A, Jackson A, Marks L, et al. Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC): an introduction to the scientific issues. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2010; 76. 3-9.
- [12] Caldeira A, Trinca WC Mr, Flores TP Ms, Obst FM, Brito CS, Grüssner MM, et al. The Influence of Normal Tissue Objective in the Treatment of Prostate Cancer. *J Med Imaging Radiat Sci.* 2020; 51(2). 312-316.