



Porównanie planów leczenia raka gruczołu krokowego w technice VMAT optymalizowanych ręcznie i przy pomocy algorytmu RapidPlan z funkcją Aperture Shape Controller

RapidPlan with Aperture Shape Controller and manually optimized VMAT plans comparison for prostate cancer

Michał Póttorak, Maciej Świerczyński, Beata Czyżew, Bartosz Weinert, Katarzyna Pawtów, Magdalena Goraj, Wojciech Rolski

Zakład Radioterapii, Siedleckie Centrum Onkologii, Mazowiecki Szpital Wojewódzki im. św. Jana Pawła II w Siedlcach Sp. z o.o., ul. Poniatowskiego 26, 08-110 Siedlce

Streszczenie

Abstract

Automatyczne planowanie znalazło swoje zastosowanie między innymi w teleradioterapii. Dzięki tej funkcjonalności użytkownicy dostali możliwość podniesienia jakości procesu przygotowania planu leczenia. Firma Varian Medical Systems (VMS) wprowadziła narzędzie o nazwie RapidPlan (RP) zintegrowane z systemem planowania leczenia Eclipse. W pracy wykorzystano tomografię komputerową do planowania leczenia 50 pacjentów z rakiem gruczołu krokowego. Porównano 250 planów opracowanych przez grupę Fizyków z planami wykonanymi za pomocą modułu RP z zastosowaniem funkcji Aperture Shape Controller (ASC) z podziałem na ASC:OFF, VeryLow, Moderate, VeryHigh. W badaniu zostały porównane rozkłady dawek w objętościach tarczowych Planning Target Volume (PTV) oraz dawki w narządach, takich jak: odbytnica, pęcherz, główki kości udowych. Dla PTV przeanalizowano parametry, takie jak: V95%, D2%, odchylenie standardowe oraz stosunek objętości izodozy 50% do objętości PTV. Dla narządów krytycznych, takich jak pęcherz oraz odbytnica, zostały porównane następujące parametry: $D_{50\%}$, V50%, natomiast dla główek kości udowych zostały przeanalizowane D2%, V30%, V40%, V50%. Dodatkowo porównano objętości w cm^3 V25%, V50%, V70%, V90% dawki przepisanej. W celu sprawdzenia, czy różnice w opisanych wyżej grupach są istotne statystycznie, wykonano test t-Studenta dla prób niezależnych. Do zbadania, czy dane podlegają rozkładowi normalnemu, użyto testu Shapiro-Wilka. Dla danych, które nie podlegały rozkładowi normalnemu, przeprowadzono nieparametryczny test U Manna-Whitneya. W przypadku dawki w objętościach tarczowych parametr V95% > 98% spełniał kryteria zarówno dla planów w grupie Fizycy, jak i planów RP. W przypadku pęcherza oraz odbytnicy uśrednione parametry $D_{50\%}$, V50%, V50Gy [cm^3] są wyższe w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP. Natomiast parametry, takie jak D2%, odchylenie standardowe, stosunek objętości izodozy 50% do objętości PTV, są wyższe w grupie planów RP. Objętości w cm^3 – V25%, V50%, V70%, V90% dawki przepisanej są wyższe w grupie Fizycy. W oparciu o uzyskane wyniki wykazano, że plany wygenerowane za pomocą RP osiągają zadowalające rezultaty i mogą być stosowane klinicznie z użyciem funkcji ASC: OFF.

Słowa kluczowe: radioterapia, RapidPlan (RP), Aperture Shape Controller (ASC), automatyzacja, planowanie leczenia

Automatic planning has found its application among others in teleradiotherapy. Thanks to this functionality, users received the opportunity to improve the quality of the process of preparing a treatment plan. Varian Medical Systems (VMS) introduced a tool called RapidPlan (RP) integrated with the Eclipse treatment planning system. Computed tomography of 50 patients with prostate cancer was used in the study. 250 plans made by a group of Physicist were compared with plans made by using the RP module with the Aperture Shape Controller (ASC) divided into: ASC:OFF, VeryLow, Moderate, VeryHigh. The study compared dose distribution in Planning Target Volume (PTV) and dose distributions in organs such as: rectum, bladder, femoral heads. PTV parameters were analyzed such as: V95%, D2%, standard deviation and the ratio of the volume of isodose 50% to the PTV volume. For organs at risk such as bladder and rectum, the following parameters were compared: $D_{50\%}$, V50%, V50Gy, and for femoral heads: D2%, V30%, V40%, V50%. In addition, volumes in cm^3 V25%, V50%, V70%, V90% of the prescribed dose were compared. In order to check statistically significant differences in the groups described above Student's t-test was performed for independent samples. The Shapiro-Wilk test was used to check if the data are normally distributed. For data that is not normally distributed the U Manna-Whitneya test was performed. In the case of a dose in target volumes, the V95% > 98% parameter met the criteria for both plans in the Physicist group and plans in the RP group. For bladder and rectum, average parameters such as $D_{50\%}$, V50%, V50Gy [cm^3] are higher in the group of Physicist compared to plans with the use of RP. Parameters such as D2%, standard deviation, the ratio of isodose 50% volume to PTV volume is higher in the group of RP plans. Volume in cm^3 – V25%, V50%, V70%, V90% of the prescribed dose are higher in the Physicist group. Based on the obtained results, it was shown that the plans generated using RP achieve satisfying results and can be used clinically with the ASC:OFF function.

Key words: radiotherapy, RapidPlan (RP), Aperture Shape Controller (ASC), automation, treatment planning

otrzymano / received:

05.12.2022

poprawiono / corrected:

09.12.2022

zaakceptowano / accepted:

14.12.2022



Wprowadzenie

Podczas tworzenia planu leczenia ważnym parametrem jest jednorodny rozkład dawki w obszarze tarczowym przy jednoczesnej maksymalnej ochronie narządów krytycznych. Obecnie duża ilość radykalnych planów leczenia raka prostaty jest wykonywana technikami dynamicznymi. Odwrotne planowanie przysparza często trudności z dobraniem odpowiednich ograniczeń dla algorytmu optymalizacji, co często wiąże się z dłuższym czasem planowania. W celu skrócenia czasu planowania oraz otrzymania wyników optymalnych dla danego pacjenta firma VMS wypuściła na rynek narzędzie o nazwie RP zintegrowane z systemem planowania leczenia Eclipse od wersji 13.6. RP za pomocą modelu oszacowania histogramów Dose Volume Histogram (DVH) stworzonego na podstawie planów leczenia i cechach anatomicznych wybiera najbardziej korzystne ograniczenia dla optymalizatora w celu uzyskania najlepszego rozkładu dawki. Dokładny schemat został już wcześniej opisany w publikacji [1]. W odwrotnym planowaniu techniki łukowej z modulacją objętościową Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) algorytm Photon Optimizer (PO) tworzy rozkład dawki w każdym punkcie kontrolnym. Podczas bardzo złożonych kombinacji powstają sekwencje listków Multileaf Colimator (MLC), które zawierają wiele segmentów, co daje duży stosunek jednostek monitorowych do Graya [2]. Narzędziem optymalizatora wprowadzonym w wersji 15.5 systemu Eclipse VMS jest ASC. Funkcja ta daje możliwość kontroli wielkości segmentów MLC odpowiedniego dla każdego przypadku klinicznego osobno. Celem niniejszej pracy było porównanie rozkładów dawek w objętościach tarczowych PTV oraz dawek w najważniejszych narządach krytycznych napromieniania raka gruczołu krokowego, czyli pęcherza moczowego, odbytnicy, główek kości udowych. Analizowano plany leczenia wykonane przez doświadczonych Fizyków bez użycia funkcji ASC z planami obliczonymi przy pomocy RP z uwzględnieniem różnych stopni ASC: OFF, VeryLow, Moderate, VeryHigh. Dokonano statystycznego porównania dawki w objętościach tarczowych PTV, V95%, D2%, odchylenie standardowe, stosunek objętości izodozy 50% do objętości PTV. W narządach krytycznych analizie poddano D_{50} – Dawka średnia, V50%, V50Gy [%], V50Gy [cm^3] dla odbytnicy i pęcherza, natomiast dla główek kości udowych analizowano D2%, V30%, V40%, V50%. Dodatkowo porównano objętości w cm^3 V25%, V50%, V70%, V90% dawki przepisanej. Na podstawie literatury można domniemać, że uzyskane wyniki statystyczne będą na korzyść planów leczenia z użyciem funkcji RP, lecz nie wiadomo, jaki wpływ będzie miała funkcja ASC [3].

Materiały i metody

W pracy wykorzystano tomografię komputerową do planowania leczenia 50 pacjentów z rakiem gruczołu krokowego. Porównano 250 planów wykonanych przez grupę Fizyków z planami wykonanymi za pomocą modułu RP z zastosowaniem funkcji Aperture Shape Controller (ASC) z podziałem na ASC:OFF, VeryLow,

Moderate, VeryHigh. Dla każdego pacjenta dawka przypisana wynosiła 65 Gy w 25 frakcjach. Plany zostały utworzone przy użyciu energii X6 MV. Dla większości planów zostały użyte 2 pełne łuki (181°-179°CW oraz 179°-181°CCW) lub 1 pełny łuk (181°-179°CW) i 1 łuk omijający odbytnicę. W tabeli 1 przedstawiono dawki tolerancji dla narządów krytycznych, które zostały przyjęte w Zakładzie Radioterapii, Siedleckiego Centrum Onkologii dla pęcherza moczowego, odbytnicy oraz główek kości udowych. Omawiane plany przygotowano z użyciem układu kolimującego MLC – Varian Millennium 120.

Tabela 1 Dawki tolerancji dla odbytnicy, pęcherza oraz główek kości udowych

Narząd krytyczny	Dawka tolerancji
Odbytnica	V65 ≤ 10%, V60 ≤ 20%, V50 ≤ 30%, V40 ≤ 50%, V30 ≤ 60%
Pęcherz	V45 ≤ 50%, V60 ≤ 30%
Główki kości udowych	V40 ≤ 5%

Źródło: Opracowanie własne.

RP jest modułem, który służy do automatycznego planowania leczenia. Został wprowadzony przez firmę VMS i jest zintegrowany z systemem planowania leczenia Eclipse od wersji 13.6. Ideą jego działania jest tworzenie modeli automatycznego planowania dla danej lokalizacji. Modele tworzone są na podstawie wielu wysokojakościowych planów leczenia. RP za pomocą modelu oszacowania histogramów DVH stworzonego na podstawie planów leczenia oraz cechach anatomicznych wybiera najbardziej korzystne ograniczenia dla optymalizatora w celu uzyskania najlepszego rozkładu dawki wraz z optymalną ochroną narządów krytycznych. Dla nowo tworzonych planów model szacuje zakres histogramu dla narządów krytycznych, a dolna granica tego zakresu stanowi jego cele optymalizacyjne używane podczas procesu optymalizacji nowego planu. Przed wdrożeniem modelu do praktyki klinicznej weryfikuje się poprawność jego działania [4, 5, 6]. Firma VMS w wersji 15.5 systemu Eclipse wprowadziła do optymalizatora narzędzie ASC. Funkcja ta daje możliwość kontroli wielkości segmentów MLC. Funkcja ASC posiada kilka poziomów, m.in.: ASC VeryLow, ASC Moderate, ASC VeryHigh. W badaniu zostały przeanalizowane plany leczenia wykonane przez doświadczonych Fizyków bez użycia funkcji ASC z planami obliczonymi przy pomocy RP z uwzględnieniem wymienionych poziomów. W tym celu stworzono pięć grup, w których dokonano analizy. W grupie pierwszej były to plany leczenia wykonane samodzielnie przez doświadczonych fizyków medycznych. W grupie drugiej znajdowały się plany leczenia stworzone przy użyciu RP z wyłączoną funkcją ASC. Grupa trzecia to plany leczenia RP z funkcją ASC – VeryLow. Do grupy czwartej przypisano plany RP z funkcją ASC – Moderate, natomiast grupa piąta to plany leczenia RP z funkcją ASC – VeryHigh. W badaniu porównano rozkłady dawek w objętościach tarczowych PTV oraz dawki w narządach krytycznych, takich jak: odbytnica, pęcherz, główki kości udowych. Dla PTV zostały przeanalizowane parametry, takie jak: V95%, D2%, odchylenie standardowe oraz stosunek objętości izodozy 50% do objętości PTV. Dla narządów



krytycznych, takich jak pęcherz oraz odbytnica, porównano następujące parametry: D_{sr} , V50%, V50Gy, natomiast dla główek kości udowych przeanalizowano D2%, V30%, V40%, V50%. Dodatkowo zostały porównane objętości w cm^3 V25%, V50%, V70%, V90% dawki przepisanej. W celu sprawdzenia, czy różnice w opisanych wyżej grupach są istotne statystycznie, wykonano test t-Studenta dla prób niezależnych. Aby stwierdzić, czy różnice są istotne statystycznie, przyjęto $p < 0,05$. Test ten można użyć jedynie dla danych pomiarowych, które podlegają rozkładowi normalnemu. Do zbadania, czy dane podlegają rozkładowi normalnemu, użyto testu Shapiro-Wilka. Dla danych, które nie podlegały rozkładowi normalnemu, aby zbadać, czy różnice dla wymienionych parametrów są istotne statystycznie, przeprowadzono nieparametryczny test U Manna-Whitneya, dla którego poziom istotności testu wynosił $p < 0,05$.

Wyniki

Do sprawdzenia, czy różnice w grupach są istotne statystycznie, użyto testu t-Studenta dla prób niezależnych. Aby użyć testu parametrycznego testu t-Studenta dla prób niezależnych sprawdzono, czy dane pomiarowe podlegają rozkładowi normalnemu. Do tego celu użyto testu Shapiro-Wilka.

Tabela 3 Porównanie parametrów pomiędzy grupami dla pęcherza

Porównanie parametrów dla pęcherza				
Grupy	Wartość t	Istotność testu p	Wartość d_{Cohena}	Parametr M (średnia analizowanego parametru)
1 vs 2	$t(98) = 2,13$	$p < 0,05$ TAK	$d_{Cohena} = 0,43$	Mpęcherz D_{sr} (gr. 1) = 23,06 Mpęcherz D_{sr} (gr. 2) = 19,30
1 vs 3	$t(98) = 2,02$	$p < 0,05$ TAK	$d_{Cohena} = 0,40$	Mpęcherz D_{sr} (gr. 1) = 23,06 Mpęcherz D_{sr} (gr. 3) = 19,49
1 vs 5	$t(98) = 1,96$	$p > 0,05$ NIE	–	Mpęcherz D_{sr}
3 vs 4	$t(98) = -0,06$	$p > 0,05$ NIE	–	MV50Gy[cm^3]
1 vs 2	$t(88,486) = 2,39$	$p < 0,05$ TAK	$d_{Cohena} = 0,48$	MpęcherzV50%[%] (gr. 1) = 30,96 MpęcherzV50% [%] (gr. 2) = 24,34
1 vs 5	$t(89,767) = 2,41$	$p < 0,05$ TAK	$d_{Cohena} = 0,48$	MpęcherzV50% [%] (gr. 1) = 30,96 MpęcherzV50% [%] (gr. 5) = 24,216
2 vs 3	$t(98) = 0,06$	$p > 0,05$ NIE	–	MpęcherzV50%[%]

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4 Porównanie parametrów pomiędzy grupami dla odbytnicy

Porównanie parametrów dla odbytnicy				
Grupy	Wartość t	Istotność testu p	Wartość d_{Cohena}	Parametr M (średnia analizowanego parametru)
1 vs 2	$t(98) = 5,44$	$p < 0,01$ TAK	$d_{Cohena} = 1,09$	MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 1) = 30,49 MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 2) = 24,67
1 vs 3	$t(98) = 5,13$	$p < 0,01$ TAK	$d_{Cohena} = 1,03$	MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 1) = 30,49 MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 3) = 24,87
1 vs 4	$t(98) = 4,99$	$p < 0,01$ TAK	$d_{Cohena} = 0,99$	MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 1) = 30,49 MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 4) = 25,12
1 vs 5	$t(98) = 4,83$	$p < 0,01$ TAK	$d_{Cohena} = 0,97$	MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 1) = 30,49 MD $_{sr}$ odbytnica (gr. 5) = 25,29
2 vs 3	$t(98) = -0,17$	$p > 0,05$ NIE	–	MD $_{sr}$ odbytnica
2 vs 4	$t(98) = -0,39$	$p > 0,05$ NIE	–	MD $_{sr}$ odbytnica

Podział na grupy:

1. Fizycy (ASC_OFF),
2. RP ASC_OFF,
3. RP ASC_VeryLow,
4. RP ASC_Moderate,
5. RP ASC_VeryHigh.

Poniżej przedstawiono dane statystyczne w formie tabeli. W dalszej części artykułu dokonano zestawienia wyników wraz z ich opisem i analizą.

Analiza danych dla pęcherza oraz odbytnicy

Tabela 2 Analiza danych dla pęcherza oraz odbytnicy (normalność rozkładu)

Dane podlegające rozkładowi normalnemu	Dane niepodlegające rozkładowi normalnemu
D_{sr} pęcherz – gr. 1, gr. 2, gr. 3, gr. 5	Pęcherz V50Gy[%]
Pęcherz V50%[%] – gr. 1, gr. 2, gr. 5	
Pęcherz V50Gy[cm^3] – gr. 1, 2, 3, 4, 5	
D_{sr} odbytnica – gr. 1, 2, 3, 4, 5	
Odbytnica V50Gy[%] – gr. 1	
Odbytnica V50Gy[cm^3] – gr. 1	
Odbytnica V50%[%] – gr. 1, gr. 5	

Źródło: Opracowanie własne.



Porównanie parametrów dla odbytnicy				
Grupy	Wartość t	Istotność testu p	Wartość d_{Cohena}	Parametr M (średnia analizowanego parametru)
2 vs 5	t(98) = -0,54	p > 0,05 NIE	–	MD ₅ odbytnica
3 vs 4	t(98) = -0,21	p > 0,05 NIE	–	MD ₅ odbytnica
3 vs 5	t(98) = -0,36	p > 0,05 NIE	–	MD ₅ odbytnica
4 vs 5	t(98) = -0,15	p > 0,05 NIE	–	MD ₅ odbytnica
1 vs 5	t(98) = 2,60	p < 0,05 TAK	$d_{Cohena} = 0,52$	ModbytnicaV50Gy[cm ³] (gr. 1) = 9,29 ModbytnicaV50Gy[cm ³] (gr. 5) = 7,42
1 vs 5	t(98) = 6,77	p < 0,01 TAK	$d_{Cohena} = 1,35$	ModbytnicaV50%[%] (gr. 1) = 42,48 ModbytnicaV50%[%] (gr. 5) = 29,08

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6 Porównanie parametrów pomiędzy grupami dla PTV

Porównanie parametrów dla PTV				
Grupy	Wartość t	Istotność testu p	Wartość d_{Cohena}	Parametr M (średnia analizowanego parametru)
1 vs 2	t(83,727) = -5,43	p < 0,01 TAK	$d_{Cohena} = -1,09$	MSTD%[%] (gr. 1) = 1,09 MSTD%[%] (gr. 2) = 1,32
2 vs 3	t(98) = 0,44	p > 0,05 NIE	–	MV95%[%]
1 vs 5	t(98) = -5,80	p < 0,01 TAK	$d_{Cohena} = -1,16$	MD2%[%] (gr. 1) = 102,05 MD2%[%] (gr. 5) = 102,45
1 vs 3	t(98) = -4,86	p < 0,01 TAK	$d_{Cohena} = -0,97$	Mstosunek izodozy50% do V _{PTV} (gr. 1) = 0,38 Mstosunek izodozy50% do V _{PTV} (gr. 3) = 0,42
1 vs 4	t(84,886) = -5,42	p < 0,01 TAK	$d_{Cohena} = -1,09$	Mstosunek izodozy50% do V _{PTV} (gr. 1) = 0,38 Mstosunek izodozy50% do V _{PTV} (gr. 4) = 0,42
1 vs 5	t(84,841) = -5,61	p < 0,01 TAK	$d_{Cohena} = -1,12$	Mstosunek izodozy50% do V _{PTV} (gr. 1) = 0,38 Mstosunek izodozy50% do V _{PTV} (gr. 5) = 0,42
3 vs 5	t(98) = -0,51	p > 0,05 NIE	–	Mstosunek izodozy50% do V _{PTV}
3 vs 4	t(98) = -0,29	p > 0,05 NIE	–	Mstosunek izodozy50% do V _{PTV}

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5 Analiza danych pomiarowych dla PTV (normalność rozkładu)

Dane podlegające rozkładowi normalnemu	Dane niepodlegające rozkładowi normalnemu
STD[%] gr. 1, gr. 2	
V95%[%] gr. 2, gr. 3	
D2%[%] gr. 1, gr. 5	
Stosunek izodozy 50% do PTV gr. 1, gr. 3, gr. 4, gr. 5	

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7 Analiza danych pomiarowych dla Body-PTV (normalność rozkładu)

Dane podlegające rozkładowi normalnemu	Dane niepodlegające rozkładowi normalnemu
V90%[cm ³] gr. 2, gr. 3, gr. 4, gr. 5	V70%[cm ³]
	V50%[cm ³]
	V25%[cm ³]

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8 Porównanie parametrów pomiędzy grupami dla Body-PTV

Porównanie parametrów dla Body-PTV				
Grupy	Wartość t	Istotność testu p	Wartość d_{Cohena}	Parametr M (średnia analizowanego parametru)
2 vs 3	t(98) = -0,18	p > 0,05 NIE	–	V90%[cm ³]
2 vs 4	t(98) = -0,17	p > 0,05 NIE	–	V90%[cm ³]
3 vs 4	t(98) = -0,09	p > 0,05 NIE	–	V90%[cm ³]
3 vs 5	t(98) = -0,01	p > 0,05 NIE	–	V90%[cm ³]

Źródło: Opracowanie własne.



Analiza jednostek monitorowych (MU) – zmienne nie przyjmują rozkładu normalnego

Tabela 9 Analiza danych pomiarowych dla główek kości udowych Fizycy vs RP_ASC_OFF (normalność rozkładu)

Dane podlegające rozkładowi normalnemu	Dane niepodlegające rozkładowi normalnemu
D _{sr} GtówkaL – gr. 2	GtówkaL_V30%[%]
GtówkaL_D2%[%]	GtówkaL_V40%[%]
D _{sr} GtówkaR – gr. 2	GtówkaL_V50%[%]
GtówkaR_D2%[%] – gr. 1	GtówkaL_V40%[%]
GtówkaR_V30%[%] – gr. 1	GtówkaR_V50%[%]

Źródło: Opracowanie własne.

W związku z tym, że zmienne użyte do analizy główek kości udowych nie przyjmują rozkładu normalnego w porównywalnych grupach, do analizy danych użyto nieparametrycznego odpowiednika testów t-Studenta dla prób niezależnych testu U Manna-Whitneya. Brak różnic istotnych statystycznie.

Tabela 10 Analiza danych pomiarowych dla główek kości udowych Fizycy vs RP_ASC_OFF

Porównanie parametrów dla główek kości udowych Fizycy vs RP_ASC_OFF		
Wartość tU	Istotność testu p	Parametr
U = 1040,5	p > 0,05 NIE	D _{sr} GtówkaL
U = 1095,5	p > 0,05 NIE	GtówkaL_D2%[%]
U = 1170,0	p > 0,05 NIE	GtówkaL_V30%[%]
U = 1181,0	p > 0,05 NIE	GtówkaL_V40%[%]
U = 1189,5	p > 0,05 NIE	FemourL_V50%[%]
U = 1068,5	p > 0,05 NIE	GtówkaR_D2%[%]
U = 1139,0	p > 0,05 NIE	GtówkaR_V30%[%]
U = 1124,0	p > 0,05 NIE	GtówkaR_V40%[%]
U = 1189,5	p > 0,05 NIE	GtówkaR_V50%[%]

Źródło: Opracowanie własne.

Analiza V25%, V50%, V70%, V90% Fizycy vs RP_ASC_OFF

W związku z tym, że zmienne użyte do analizy V25%, V50%, V70%, V90% nie przyjmują rozkładu normalnego w porównywalnych grupach, do analizy danych użyto nieparametrycznego odpowiednika testów t-Studenta dla prób niezależnych testu U Manna-Whitneya.

Tabela 11 Analiza V25%, V50%, V70%, V90% dla grup Fizycy vs RP_ASC_OFF

Analiza V25%, V50%, V70%, V90% dla grup Fizycy vs RP_ASC_OFF		
Wartość tU	Istotność testu p	Parametr
U = 697,00	p < 0,01 TAK	Średnia rang V90%[cm ³] (gr. 1) = 61,56 Średnia rang V90%[cm ³] (gr. 2) = 39,44
U = 830,00	p < 0,05 TAK	Średnia rang V70%[cm ³] (gr. 1) = 58,89 Średnia rang V70%[cm ³] (gr. 2) = 42,11
U = 944,00	p < 0,05 TAK	Średnia rang V50%[cm ³] (gr. 1) = 56,62 Średnia rang V50%[cm ³] (gr. 2) = 44,38
U = 1126,50	p > 0,05 NIE	V25%[cm ³]

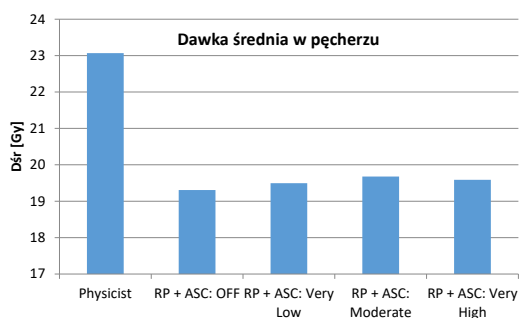
Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji poniżej przedstawiono zestawienie wyników uzyskanych danych zawartych w tabelach.

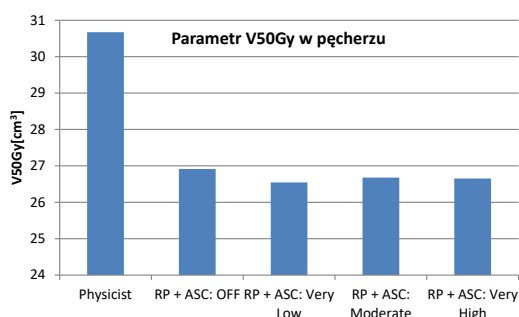
- Średnia dawka w pęcherzu (MpęcherzD_{sr}) w grupie Fizycy jest wyższa w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2, 1 vs 3 (Tabela 3).
- Uśredniony parametr V50%[%] dla pęcherza (MpęcherzV50%[%]) w grupie Fizycy jest wyższy w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2, 1 vs 5 (Tabela 3).
- Średnia dawka w odbytnicy (MD_{sr}odbytnica) w grupie Fizycy jest wyższa w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2, 1 vs 3, 1 vs 4, 1 vs 5 (Tabela 4).
- Uśredniony parametr V50Gy[cm³] dla odbytnicy (ModbytnicaV50Gy[cm³]) w grupie Fizycy jest wyższy w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 5 (Tabela 4).
- Uśredniony parametr V50%[%] dla odbytnicy jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 5 (Tabela 4).
- Uśredniony parametr STD%[%] jest wyższy w grupie z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2 (Tabela 6).
- Uśredniony parametr D2%[%] jest wyższy w grupie z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 5 (Tabela 6).
- Uśredniony parametr stosunek izodozy 50% do V_{PTV} (Mstosunek izodozy 50% do V_{PTV}) jest wyższy w grupie z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 3, 1 vs 4, 1 vs 5 (Tabela 6).
- Uśredniony parametr V90%[cm³] (średnia rang V90%[cm³]) jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP.
- Uśredniony parametr V70%[cm³] (średnia rang V70%[cm³]) jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP.
- Uśredniony parametr V50%[cm³] (średnia rang V50%[cm³]) jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP.



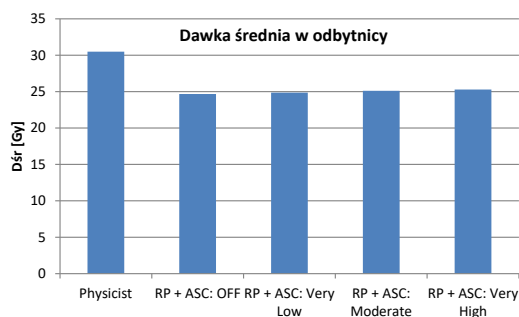
Na podstawie opisanej analizy statystycznej poniżej zaprezentowano graficzne porównanie przygotowanych planów.



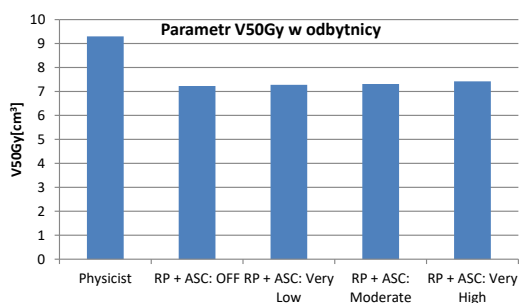
Ryc. 1 Średnia dawka w pęcherzu w grupie Fizycy jest wyższa w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2, 1 vs 3
Źródło: Opracowanie własne.



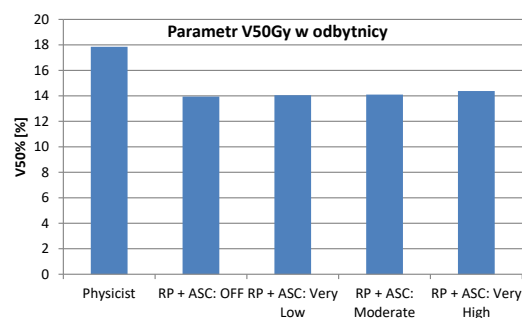
Ryc. 2 Uśredniony parametr V50%[%] dla pęcherza V50%[%] w grupie Fizycy jest wyższy w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2, 1 vs 5
Źródło: Opracowanie własne.



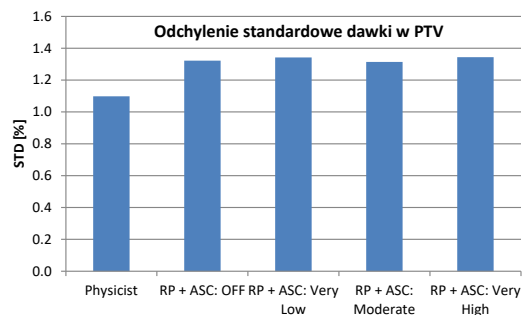
Ryc. 3 Średnia dawka w odbytnicy w grupie Fizycy jest wyższa w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2, 1 vs 3, 1 vs 4, 1 vs 5
Źródło: Opracowanie własne.



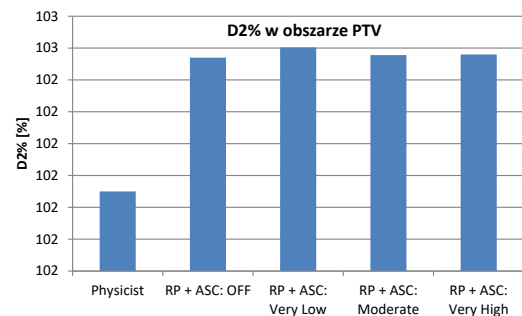
Ryc. 4 Uśredniony parametr V50Gy[cm³] dla odbytnicy V50Gy[cm³] w grupie Fizycy jest wyższy w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 5
Źródło: Opracowanie własne.



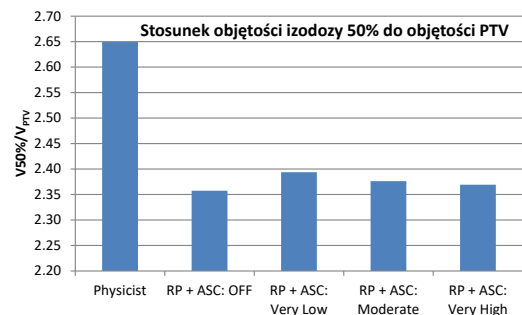
Ryc. 5 Uśredniony parametr V50%[%] dla odbytnicy jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 5
Źródło: Opracowanie własne.



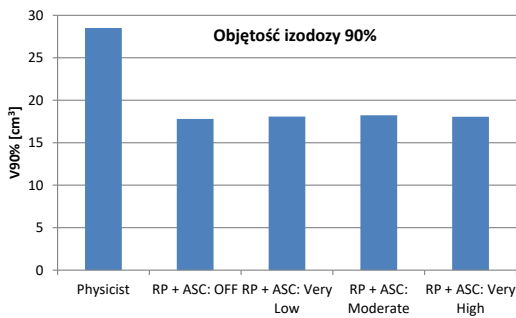
Ryc. 6 Uśredniony parametr STD%[%] jest wyższy w grupie z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 2
Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 7 Uśredniony parametr D2%[%] jest wyższy w grupie z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 5
Źródło: Opracowanie własne.

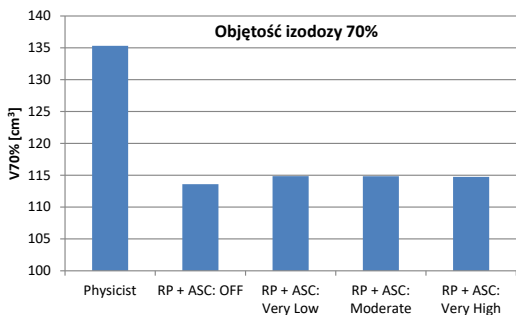


Ryc. 8 Uśredniony parametr, stosunek izodazy 50% do V_{PTV}, jest niższy w grupie z planami z użyciem RP. Różnice istotne statystycznie dla grupy 1 vs 3, 1 vs 4, 1 vs 5
Źródło: Opracowanie własne.



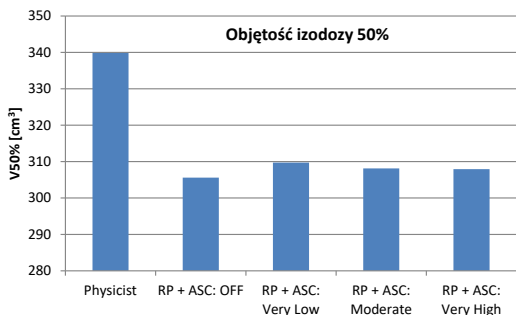
Ryc. 9 Uśredniony parametr V90% [cm³] jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 10 Uśredniony parametr V70% [cm³] jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 11 Uśredniony parametr V50% [cm³] jest wyższy w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Celem przeprowadzonego badania była ocena korzyści płynących ze stosowania funkcji ASC w połączeniu z automatycznym planowaniem RP. Porównano plany wykonane przez doświadczony personel medyczny z planami przeliczonymi przez przygotowany wcześniej model. Model RP został wytrenowany na podstawie planów leczenia dla lokalizacji gruczołu krokowego i na jego podstawie wykonano analizę statystyczną, która opierała się na 250 planach leczenia. Plany RP przeliczone zostały z użyciem funkcji ASC: OFF, Very Low, Moderate, Very High, natomiast plany użyte klinicznie wykonane przez osoby planujące zawierały funkcję ASC: OFF. Do analizy funkcji ASC używanej podczas automatycznej optymalizacji użyto testu t-Studenta dla prób niezależnych. Aby użyć testu parametrycznego testu t-Studenta dla

prób niezależnych, sprawdzono, czy dane pomiarowe podlegają rozkładowi normalnemu. Do tego celu użyto testu Shapiro-Wilka. Na podstawie uzyskanych danych dla funkcji ASC: OFF, Very Low, Moderate, Very High, nie zaobserwowano różnic istotnie statystycznych parametrów oceny planu. Uzyskano następujące wyniki. W przypadku pęcherza oraz odbytnicy uśrednione parametry $D_{50\%}$, V50%, V50Gy [%], V50Gy [cm³] są wyższe w grupie Fizycy w porównaniu z planami z użyciem RP. W przypadku dawki w objętościach tarczowych PTV parametr V95% > 98% spełniał kryteria zarówno dla planów w grupie Fizycy, jak i planów wygenerowanych z użyciem RP. Natomiast parametry, takie jak D2%, odchylenie standardowe, są wyższe w grupie planów RP a stosunek objętości izodozy 50% do objętości PTV jest wyższy w grupie Fizycy. Dodatkowo porównano objętości w cm³ – V25%, V50%, V70%, V90% dawki przepisanej, są one wyższe w grupie Fizycy. W oparciu o uzyskane wyniki wykazano, że plany wygenerowane za pomocą RP często przy użyciu jednej optymalizacji osiągają zadowalające rezultaty i mogą być stosowane klinicznie [7] z zachowaniem niskich dawek na narządy krytyczne z użyciem funkcji ASC: OFF. Zastosowanie RP może skrócić czas optymalizacji względem ręcznej optymalizacji [8, 9]. Zauważono również, że znaczący wpływ na automatyczną optymalizację ma wrysowanie guza oraz narządów krytycznych. W związku z tym osoba planująca powinna dodatkowo skupić się nad warunkami optymalizacji w celu uzyskania najbardziej korzystnego rozkładu dawki. Wszystkie plany RP dla danego pacjenta posiadały zbliżone parametry. Zaobserwowano zwiększoną liczbę jednostek monitorowych dla planów RP, aczkolwiek zastosowanie funkcji „MU Objective” dostępniej w optymalizatorze pozwala na ich zredukowanie. ^B

Piśmiennictwo

1. L. Yuan, Y. Ge, W.R. Lee, F.F. Yin, J.P. Kirkpatrick, Q. J. Wu: *Quantitative analysis of the factors which affect the interpatient organ-at-risk dose sparing variation in IMRT plans*, Med Phys., 39(11), 2012, 6868-6878.
2. D. Binny, M. Spalding, S.B. Crowe, D. Jolly, T. Kairn, J.V. Trapp, A. Walsh: *Investigating the use of aperture shape controller in VMAT treatment deliveries*, Medical Dosimetry, 45, 2020, 284-292, 10.1016/j.meddos.2020.02.003.
3. K. Kubo, H. Monzen, K. Ishii, M. Tamura, R. Kawamorita, I. Sumida, H. Mizuno, Y. Nishimura: *Dosimetric comparison of RapidPlan and manually optimized plans in volumetric modulated arc therapy for prostate cancer*, Phys Med., 44, 2017, 199-204, doi: 10.1016/j.ejmp.2017.06.026, Epub 2017 Jul 10. PMID: 28705507.
4. L. Yuan, Y. Ge, W.R. Lee, F.F. Yin, J.P. Kirkpatrick, Q. J. Wu: *Quantitative analysis of the factors which affect the interpatient organ-at-risk dose sparing variation in IMRT plans*, Med Phys., 39(11), 2012, 6868-6878.
5. K. Kubo, H. Monzen, K. Ishii, M. Tamura, R. Kawamorita, I. Sumida, H. Mizuno, Y. Nishimura: *Dosimetric comparison of RapidPlan and manually optimized plans in volumetric modulated arc therapy for prostate cancer*, Phys Med., 2017, 44, 199-204.
6. D. Binny, M. Spalding, S.B. Crowe, D. Jolly, T. Kairn, J.V. Trapp, A. Walsh: *Investigating the use of aperture shape controller in VMAT treatment deliveries*, Medical Dosimetry, 45(3), 2020, 284-292, ISSN 0958-3947.
7. M. Tinoco, E. Waga, K. Tran, H. Vo, J. Baker, R. Hunter, Ch. Peterson, N. Taku, L. Court: *RapidPlan development of VMAT plans for cervical cancer patients in low-and middle-income countries*, Medical Dosimetry, 45(2), 2020, 172-178.
8. M. Oliver, W. Ansbacher, W.A. Beckman: *Comparing planning time, delivery time and plan quality for IMRT, RapidPlan and Tomotherapy*, J Appl Clin Med. Phys., 10(4), 2009, 117-131.
9. K. Kubo, M. Tamura, H. Monzen, R. Kawamorita: *Dosimetric comparison of RapidPlan and manually optimized plans in volumetric modulated arc therapy for prostate cancer*, Physica Medica, 2017.