

Izabela Wiatrowska^{1,2}, Karolina Majewska²,
Renata Kabacińska^{1,2}, Roman Makarewicz^{1,3}

¹ Katedra i Klinika Onkologii i Brachyterapii Collegium Medicum w Bydgoszczy
UMK w Toruniu

² Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Bydgoszczy

³ Oddział Kliniczny Brachyterapii Centrum Onkologii w Bydgoszczy

Address for correspondence/

Adres do korespondencji:

Mgr Izabela Wiatrowska
Katedra i Klinika Onkologii i Brachyterapii, Zakład Fizyki Medycznej
Centrum Onkologii w Bydgoszczy
ul. dr Izabeli Romanowskiej 2
85-796 Bydgoszcz
e-mail: iza.wiatrowska@onet.pl

Received: 16.04.2013

Accepted: 17.05.2013

Published: 28.06.2013

STATISTIC STATYSTYKA

Word count Liczba słów	1364/1103
Tables Tabele	1
Figures Ryciny	2
References Piśmiennictwo	7

Analysis of the impact of changes in the angle of the Multileaf Collimator on dose in rectal in prostate cancer conformal radiotherapy

Analiza wpływu zmiany kąta kolimatora wielolistkowego na dawkę w odbytnicy w radioterapii konformalnej raka gruczołu krokowego

Original article/Artykuł oryginalny

Summary

Prostatic cancer is the most common neoplasm occurring in males over the age of 50 years. Radiotherapy is one of main methods of therapy of the cancer. 3D conformal radiotherapy is broadly used for therapy of prostatic cancer in oncological centres all over the world. Various geometries of therapeutic beams are currently used for that purpose. Their task is to deliver the planned therapeutic dose to the area of tumour, with simultaneous minimization of doses reaching critical organs located in the neighbourhood of the lesion. Diversity of beam configurations and available options of the therapy planning systems allow creation of multiple therapeutic plans. In some cases, achievement of a favourable dose distribution in the target volume may affect doses deposited in organs at risk. Therefore the choice of an optimum configuration of beams in prostatic cancer therapy remains unclear.

Keywords: radiotherapy, multileaf collimator (MLC), organs at risk (OAR), dose-volume histogram (DVH)

Streszczenie

Rak gruczołu krokowego jest najczęstszym nowotworem występującym u mężczyzn po 50 roku życia a jedną z głównych metod jego leczenia jest radioterapia. Radioterapia konformalna 3D jest stosowana na szeroką skalę w raku stercza w ośrodkach onkologicznych na całym świecie. Obecnie w praktyce klinicznej stosowane są różne geometrie układu wiązek terapeutycznych, których zadaniem jest dostarczenie zaplanowanej dawki terapeutycznej na obszar guza, z jednoczesnym zminimalizowaniem dawek na narządy krytyczne znajdujące się w sąsiedztwie zmiany nowotworowej. Różnorodność konfiguracji wiązek, oraz możliwości systemów planowania leczenia umożliwiają wykreowanie wielu planów leczenia. W niektórych przypadkach osiągnięcie korzystnego rozkładu dawki w objętości docelowej może mieć ujemny wpływ na dawki zdeponowane w narządach ryzyka. Dlatego wybór optymalnej konfiguracji wiązek w raku gruczołu krokowego pozostaje niejasny.

Słowa kluczowe: radioterapia, kolimator wielolistkowy (MLC), narządy krytyczne (OAR), histogram dawka-objętość (DVH)

INTRODUCTION

Prostatic cancer is the most common neoplasm occurring in males over the age of 50 years. Radiotherapy with ionising radiation in form of external beams is the principle method of therapy of the cancer. 3D conformal radiotherapy is broadly used for therapy of prostatic cancer in oncological centres all over the world. Various geometries of the therapeutic beam system are currently used in clinical practice. Their task is to deliver the planned therapeutic dose to the area of tumour with simultaneous minimisation of doses reaching critical organs located close to the neoplastic lesion. Diversity of beam configurations and available options of the therapy planning systems allow creation of multiple therapeutic plans, hindering selection of an optimum plan by a doctor and physicist [1]. In some cases, achievement of a desired dose distribution in the target volume may negatively affect doses deposited in organs at risk. Therefore, the choice of optimum configuration of beams for therapy of prostatic cancer remains unclear [2].

Rectum is the critical organ most often analysed in prostatic cancer radiotherapy. That is because of susceptibility of the organ to high doses of radiation and development of post-radiation complications [3].

In the study we have made an attempt to analyse the effect of change of position (angle) of a multileaf collimator on the dose deposited in the rectum.

MATERIAL AND METHODS

A comparative analysis of 17 therapeutic plans created for patients with prostatic cancer treated in the Oncology Centre in Bydgoszcz, Poland in 2012 was performed.

Therapy planning used transverse sections of computed tomography taken every 0.5 cm, in which structures involved by cancer and organs at risk (OAR) were marked. An appropriate geometry of the radiation beam system was selected at the planning level. Field shape and MLC were adapted to the volume of tumour, with a 1 cm margin. A smaller margin of 0.8 cm was applied for lateral beams from the side of the rectum. Realised therapeutic plans were consistent with requirements of the ICRU 50 and 62 report. All patients were irradiated with external beams (EBRT) in form of photons with the accelerating potential of 15MV.

The total dose of teleradiotherapy was 65Gy (fraction dose 2.6Gy), and beam orientation consisted of four fields with 0°, 90°, 180° and 270° geometry, using a multileaf collimator (MLC). Then, creating copies of the original plan, the collimator angle was changed for lateral beams, so that the edge of the field was parallel to the posterior border of the target (from the side of the rectum). Hence the volume of the rectum remaining in the irradiated field was limited (Fig.1).

WSTĘP

Rak gruczołu krokowego jest najczęstszym nowotworem występującym u mężczyzn po 50 roku życia. Jedną z głównych metod jego leczenia jest radioterapia promieniowaniem jonizującym w postaci wiązek zewnętrznych. Radioterapia konformalna 3D jest stosowana na szeroką skalę w raku stercza w ośrodkach onkologicznych na całym świecie. Obecnie w praktyce klinicznej stosowane są różne geometrie układu wiązek terapeutycznych, których zadaniem jest dostarczenie zaplanowanej dawki terapeutycznej na obszar guza, z jednoczesnym zminimalizowaniem dawek na narządy krytyczne znajdujące się w sąsiedztwie zmiany nowotworowej. Różnorodność konfiguracji wiązek, oraz możliwości systemów planowania leczenia umożliwiają wykreowanie wielu planów leczenia, sprawiając tym samym w wielu przypadkach trudność w wyborze optymalnego planu przez lekarza i fizyka [1]. W niektórych przypadkach osiągnięcie pożądanego rozkładu dawki w objętości docelowej może mieć ujemny wpływ na dawki zdeponowane w narządach ryzyka. Dlatego wybór optymalnej konfiguracji wiązek w raku gruczołu krokowego pozostaje niejasny [2].

Odbytnica jest narządem krytycznym najczęściej analizowanym w radioterapii raka stercza. Jest to związane z jej wrażliwością na wysokie dawki promieniowania i występowaniem powikłań popromiennych [3].

W badaniu podjęto próbę przeanalizowania wpływu zmiany położenia kolimatora wielolistkowego (jego kąta) na dawkę zdeponowaną w odbytnicy.

MATERIAŁ I METODY

Przeprowadzono analizę porównawczą 17 planów leczenia utworzonych dla chorych z rakiem gruczołu krokowego, leczonych w Centrum Onkologii w Bydgoszczy w roku 2012.

Do planowania leczenia wykorzystano przekroje poprzeczne tomografii komputerowej, które utworzono w odstępach 0,5cm, na których dokonano oznaczenia struktur objętych tkanką nowotworową oraz narządy krytyczne (OAR). Na etapie planowania leczenia dobierano odpowiednią geometrię układu wiązek promieniowania. Kształt pola oraz MLC dostosowano do objętości guza stosując 1cm marginesu. Dla bocznych wiązek od strony odbytnicy, zastosowano margines 0,8 cm. Realizowane plany leczenia były zgodne z wymogami raportu ICRU 50 i 62. Wszystkich chorych poddano napromienianiu wiązkami zewnętrznymi (EBRT) w postaci fotonów o potencjale przyspieszającym 15MV.

Dawka całkowita w teleradioterapii wynosiła 65Gy (dawka frakcyjna 2,6Gy), a orientacja wiązek składała się z czterech pól o geometrii 0°, 90°, 180° i 270° z zastosowaniem kolimatora wielolistkowego MLC. Następnie tworząc kopie planu oryginalnego, zmieniono kąt kolimatora w bocznych wiązkach, tak aby krawędź pola była równoległa do tylnej granicy targetu (od strony odbytnicy). W ten sposób zmniejszając objętość odbytnicy znajdującej się w polu napromienianym (Rys.1).

Comparing the original plan with the plan in which position of the collimator was changed, the following were evaluated: D50, D30, D15 – that is radiation dose for 50%, 30% and 15% of volume of the rectum, and D_{min} , D_{max} , D_{mean} .

In order to compare doses reaching the rectum in plans created for two different collimator geometries, the Wilcoxon rank order test was applied, due to lack of normality of distribution of variables.

RESULTS

Seventeen therapeutic plans realised in patients with prostatic cancer were analysed, including plans reflecting original ones but with an altered geometry of the collimator. The total dose administered to the prostate was 65Gy in fraction dose of 2.6Gy.

The mean volume of the rectum was 91.22cm³ (minimum – 23.7cm³; maximum – 186.4cm³). Analysing physical doses in individual percent ratios of the rectal volume (50%, 30% and 15%, respectively), statistically significant differences were found for the first two of them ($p < 0.0000$; $p < 0.0002$). In case of the minimum, maximum and mean dose in the rectum, significant differences were found for D_{max} and D_{min} ($p < 0.0006$; $p < 0.0000$, respectively) (Tab. 1).

As seen in the Table 1, a change in geometry of the multileaf collimator has a significant effect on value of physical doses in the rectum.

A sample dose-volume histogram (DVH) for the rectum demonstrates a significant reduction of the irradiated volume of the organ when the collimator angle is adapted to the shape of the posterior wall of the target (Fig. 1).

Porównując plan oryginalny z planem, w którym zmieniono położenie kolimatora, ocenie poddano: D50, D30, D15-czyli dawkę promieniowania przypadającą na 50%, 30% i 15% objętości odbytnicy oraz D_{min} , D_{max} , D_{sr} .

W celu porównania dawek w odbytnicy w planach utworzonych dla dwóch różnych geometrii kolimatora zastosowano test kolejności rang Wilcozona z uwagi na brak normalności rozkładu zmiennych.

WYNIKI

Analizie poddano 17 zrealizowanych planów terapeutycznych u chorych z rakiem gruczołu krokowego, z planami odzwierciedlającymi plany oryginalne jednak ze zmienioną geometrią kolimatora. Dawka całkowita podana na stercz wynosiła 65Gy w dawce frakcyjnej 2,6Gy.

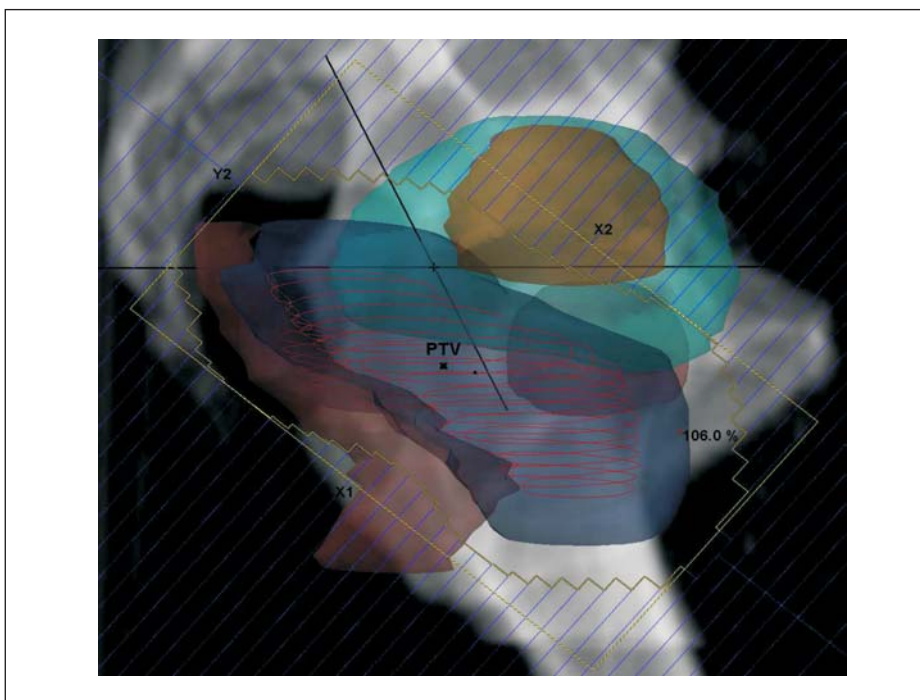
Średnia objętość odbytnicy wynosiła 91,22cm³ (minimalna-23,7cm³; maksymalna-186,4cm³). Analizując dawki fizyczne, w poszczególnych procentowych objętościach odbytnicy (odpowiednio 50%, 30% i 15%), dla dwóch pierwszych uzyskano istotne statystycznie różnice ($p < 0,0000$; $p < 0,0002$). W przypadku dawki minimalnej, maksymalnej i średniej w odbytnicy, istotne różnice otrzymano w przypadku D_{max} i D_{min} (odpowiednio $p < 0,0006$; $p < 0,0000$) (Tab.1).

Jak wynika z (Tab.1) zmiana geometrii kolimatora wielolistkowego ma istotny wpływ na wielkość dawek fizycznych w odbytnicy.

Przykładowy histogram zależności dawka-objętość (*DVH-Dose Volume Histogram*) dla odbytnicy, pokazuje znaczną redukcję napromienianej objętości tego organu przy dostosowaniu kąta kolimatora do kształtu tylnej ściany targetu (Ryc.1).

Fig. 1. Adaptation of the MLC collimator angle to the posterior border of the target from the side of the rectum

Rys. 1. Dostosowanie kąta kolimatora MLC do tylnej granicy targetu od strony odbytnicy



DISCUSSION

The rectum is a susceptible organ. It is greatly exposed to high ionising radiation doses when a tumour is located in the pelvic region, for example in case of prostatic cancer or cervical cancer. A risk of development of post-radiation complications depends mostly on the total dose and the method of its fractioning, and on the volume of the organ located in the irradiated field.

The task of minimization of the dose reaching the rectum depending on the situation (total dose value, fraction dose value, volume of the organ in the irradiated field) is challenging. Various geometry of therapeutic beams, changed dose weights in individual beams, appropriately selected dynamic and physical wedges, margins from the side of the rectum, are the main variable para-

DYSKUSJA

Odbytnica jest narządem wrażliwym i najbardziej narażonym na wysokie dawki promieniowania jonizującego gdy nowotwór skoncentrowany jest w regionie miednicy np. rak gruczołu krokowego, rak szyjki macicy. Ryzyko wystąpienia powikłań popromiennych w odbytnicy zależy głównie od dawki całkowitej i sposobu jej frakcjonowania oraz jej objętości znajdującej się w polu napromienianym.

Zminimalizowanie dawki w odbytnicy w zależności od sytuacji (wielkość dawki całkowitej, wielkość dawki frakcyjnej, objętość tego narządu w polu napromienianym) stawia planującego niejednokrotnie przed trudnym zadaniem z którym musi się zmierzyć. Różna geometria wiązek terapeutycznych, zmiana wag dawek w poszczegól-

Tab. 1. Comparison of significance of physical doses in the rectum for two therapeutic plans

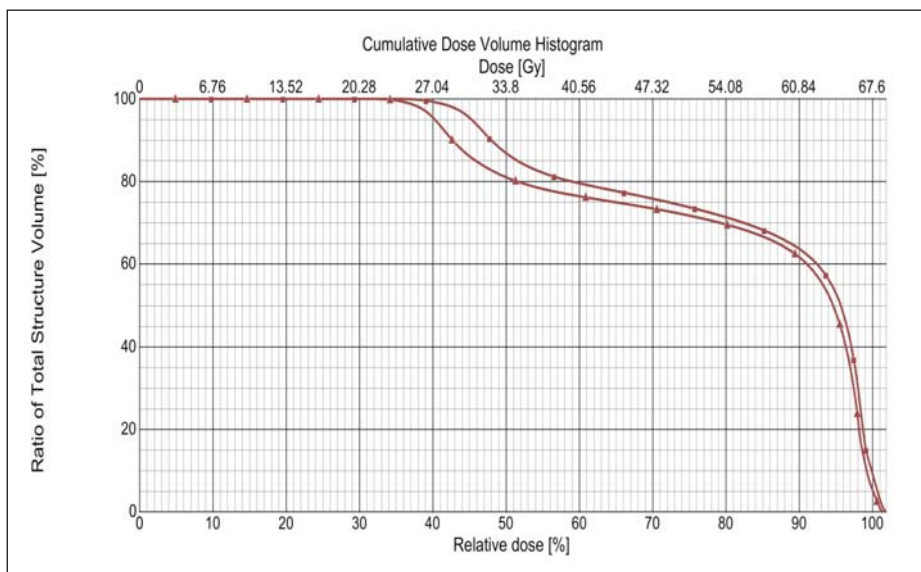
	The original plan	The plan with an altered collimator angle	Significance level
	Mean dose [Gy]		
D50	48.5	46.4	p< 0.0000
D30	58.4	57.4	p< 0.0002
D15	64	63.9	None
Dmin	10.6	10.6	None
Dmax	65.7	65.5	p< 0.0006
Dmean	44.6	43.6	p< 0.0000

Tab. 1. Porównanie istotności dawek fizycznych w odbytnicy dla dwóch planów leczenia

	Plan oryginalny	Plan ze zmienionym kolimatorem	Poziom istotności
	Dawki średnie [Gy]		
D50	48,5	46,4	p< 0,0000
D30	58,4	57,4	p< 0,0002
D15	64	63,9	brak
Dmin	10,6	10,6	brak
Dmax	65,7	65,5	p< 0,0006
Dśr	44,6	43,6	p< 0,0000

Fig. 1. A comparative histogram (DVH) of the irradiated rectum volume for two different collimator angles. Triangles on the solid line represent a twisted collimator angle adapted to the posterior wall of the target, and squares represent the standard angle of 0°

Ryc. 1. Histogram (DVH) porównawczy napromienianej objętości odbytnicy dla dwóch różnych kątów kolimatora. Trójkąty na linii ciągłej reprezentują skrócony kąt kolimatora, dostosowany do tylnej ściany targetu, natomiast kwadraty jego standardowy kąt 0°



meters to be taken into account in therapy planning. A planner aims at creation of an optimum plan, in which the area of interest (the target) will receive the minimum dose consistent with the ICRU report, and simultaneously critical organs will receive the lowest dose possible. There are many published papers regarding comparison of various therapy planning techniques for prostatic cancer, analysing various systems of therapeutic beams in order to protect healthy tissues located in the close vicinity of the neoplastic lesion. However, only few studies focus on the effect of the collimator position change in relation to the target. Anthony J. Neal et al. evaluated various systems of therapeutic beams in conformal radiotherapy of prostatic cancer in 12 patients. Based on dose-volume histograms (DVH) they compared values of physical doses deposited in the rectum, bladder and heads of femoral bones. From the point of view of protection of the rectum, the lowest dose was achieved using 4 therapeutic fields. However, the system caused increase of the dose received by femoral heads. A geometry involving 6 fields proved to be the most favourable for the bladder [4]. Vincent S. Khoo et al. analysed coplanar techniques in prostatic cancer in various geometries, evaluating V50%, V80% and V90%, that is volumes receiving a given percent ratio of the assigned dose in the rectum; they calculated NTCP for organs at risk and TCP for the tumour. The most efficient protection of critical organs (rectum, bladder and femoral heads) was achieved with the use of a system of three therapeutic beams of the 0°, 90°, 270° geometry. Also for that geometry they achieved the lowest NTCP for the rectum, however without a significant difference compared to the 4-field technique [5]. James L. Bedford et al. evaluated advantages associated with application of the non-coplanar technique in prostatic cancer, for various systems of therapeutic beams compared to the coplanar technique of three fields. Analysed parameters were: the minimum dose in the target volume, the maximum dose in intestines and the irradiated volume of the rectum, bladder, and femoral heads. The non-coplanar technique demonstrated an insignificant superiority in relation to protection of the rectum compared to the coplanar technique [6]. Julie Chapek et al. analysed the effect of changed position and settings of the multileaf collimator, that combined with planning of the intensity modulation radiotherapy (IMRT), may cause reduction of the dose deposited in the rectum. Collimator parameters were changed so to adapt its geometry to the shape of the rectum. Results obtained in that study demonstrated that change of the MLC angle in relation to the rectum wall and optimisation of the collimator settings in relation to the volume of the target cause reduction of doses in the rectum [7]. Our results indicate that changing the collimator angle in lateral beams it is possible to reduce the volume of the rectum involved in the irradiated field, and thus the value of the dose deposited in that organ.

gólnych wiązках, odpowiednio dobrane kliny dynamiczne i fizyczne, marginesy od strony odbytnicy to główne parametry ulegające zmianie w trakcie planowania. Celem osoby planującej jest stworzenie planu optymalnego, w którym obszar zainteresowania (target), otrzyma dawkę minimalną zgodną z wymogami raportu ICRU a jednocześnie narządy krytyczne otrzymają możliwie najmniejszą dawkę. W literaturze jest szereg badań dotyczących porównania różnych technik planowania leczenia w raku stercza, w których analizowane są różne układy wiązek terapeutycznych w celu ochrony zdrowych tkanek znajdujących się w najbliższej okolicy zmiany nowotworowej. Jednak niewielka jest ilość badań dotyczących wpływu zmiany położenia kolimatora MLC w odniesieniu do targetu. Anthony J. Neal i wsp. poddali ocenie różne układy wiązek terapeutycznych w radioterapii konformalnej raka prostaty u 12 chorych. Bazując na histogramach dawka-objętość (DVH) porównali wielkość dawek fizycznych zdeponowanych w odbytnicy, pęcherzu i główkach kości udowych. Z punktu widzenia ochrony odbytnicy najmniejszą dawkę uzyskali przy zastosowaniu 4 pól terapeutycznych, jednak taki układ wiązek zwiększył dawkę w główkach kości udowych. Dla pęcherza najlepsza okazała się geometria składająca się z 6 pól [4]. Vincent S. Khoo i wsp. analizowali techniki koplarnarne w raku stercza o różnych geometriach oceniając V50%, V80% i V90%, czyli objętości otrzymujące dany % przypisanej dawki w odbytnicy, obliczyli NTCP dla narządów ryzyka i TCP dla guza. Najskuteczniejszą ochronę narządów krytycznych (odbytnica, pęcherz i główki kości udowych) uzyskali przy zastosowaniu układu 3-wiązek terapeutycznych o geometrii 0°, 90°, 270°. Również przy użyciu tej geometrii uzyskali najmniejsze NTCP dla odbytnicy jednak bez istotnej różnicy w porównaniu z techniką 4-półową [5]. James L. Bedford i wsp. poddali ocenie korzyści płynące z zastosowania techniki niekoplarnarnej w raku stercza, dla różnego układu wiązek terapeutycznych porównując je z techniką koplarnarną, składającą się z 3 pól. Parametry poddane analizie to: dawka minimalna w objętości docelowej, dawka maksymalna w jelitach oraz napromieniana objętość odbytnicy, pęcherza i główek kości udowych. Technika niekoplarnarna w stosunku do techniki koplarnarnej wykazała nieznaczną przewagę w odniesieniu do ochrony odbytnicy [6]. Julie Chapek i wsp. analizowali wpływ zmian ułożenia i ustawień kolimatora wielolistkowego, które w połączeniu z planowaniem intensywną modulacją wiązki (IMRT), mogą spowodować zmniejszenie dawki zdeponowanej w odbytnicy. Parametry kolimatora zmieniano w taki sposób, aby dostosować jego geometrię do kształtu odbytnicy. Uzyskane w tym badaniu wyniki wykazały, że zmiana kąta MLC w stosunku do ściany odbytnicy oraz optymalizacji ustawień kolimatora w odniesieniu do objętości targetu wpływają na zmniejszenie dawki w odbytnicy [7]. Otrzymane przez nas wyniki badania wskazują, że zmieniając kąt kolimatora w bocznych wiązках, można zredukować objętość odbytnicy znajdującej się w polu

The number of therapeutic beams and their geometry used for planning may be different for various oncological centres in the world. However, the aim of reduction of doses in healthy tissues located in vicinity of the tumour remains valid.

CONCLUSIONS

The performed analysis demonstrated that change in the collimator angle may have a beneficial effect on reduction of doses in the rectum, reducing volume of the organ located within the irradiated field.

napromienianym, a tym samym wielkość dawki zdeponowanej w tym narządzie.

Liczba wiązek terapeutycznych oraz ich geometria użyta do planowania może się różnić między ośrodkami onkologicznymi na świecie. Jednak cel, którym jest obniżenie dawek w zdrowych tkankach znajdujących się w sąsiedztwie guza pozostaje taki sam.

WNIOSKI

Przeprowadzona analiza pokazała, że zmiana kąta kolumatora może wpłynąć pozytywnie na zmniejszenie dawki w odbytnicy, redukując jej objętość znajdującą się w polu napromienianym.

References/Piśmiennictwo:

1. Piotr Milecki, Tomasz Piotrowski, Magdalena Dymnicka: „Porównanie technik napromieniania chorych na raka stercza: 3-polowa versus 4-polowa”. *Współ Onkol* 2003; 7: 364-370.
2. Barbara Alicja Jereczek-Fossaa, Federica Cattani, Alberto D'Onofrioc i wsp.: „Dose distribution in 3-dimensional conformal radiotherapy for prostate cancer: Comparison of two treatment techniques (six coplanar fields and two dynamic arcs)”. *Radioth Oncol* 2006; 81: 294-302.
3. Masahiro Sasaokaa, Akimasa Nishikawa, Tomoyuki Futami i wsp.: „Rectal dose reduction using three-dimensional conformal radiotherapy for locally advanced prostate cancer: A combination of conformal dynamic-arc and five-static field technique”. *Radioth Oncol* 2009; 90: 318-324.
4. Anthony J. Neal, Mark Oldham, David P. Dearnaley: „Comparison of treatment techniques for conformal radiotherapy of the prostate using dose-volume histograms and normal tissue complication probabilities”. *Radioth Oncol* 1995; 37: 29-34.
5. Vincent S. Khoo, James L. Bedford, Steve Webb, David P. Dearnaley: „Class solutions for conformal external beam prostate”. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003; 55: 1109-1120.
6. James L. Bedford, Anthony J. Henrys, David P. Dearnaley i wsp.: „Treatment planning evaluation of non-coplanar techniques for conformal radiotherapy of the prostate”. *Radioth Oncol* 2005; 75: 287-292.
7. Julie Chapek, Matt Tobler, Beau J. Toy i wsp.: „Optimization of collimator parameters to reduce rectal dose in Intensity-Modulated prostate treatment planning”. *Med Dosim* 2005; 30: 205-212.