

K. Patyra, M. Mazurkiewicz

Katedra i Zakład Onkologii Uniwersytetu  
Medycznego w Lublinie  
Kierownik: Prof. dr hab. n. med.  
Maria Mazurkiewicz

Address for correspondence/  
Adres do korespondencji:  
Dr n. med. Krzysztof Patyra  
Katedra i Zakład Onkologii UM  
w Lublinie  
ul. Jaczewskiego 7,  
20-090 Lublin, Polska  
tel. 081 747 56 82  
e-mail: krzysztofpatyra@tenbit.pl

Received: 25.01.2010  
Accepted: 25.02.2010  
Published: 10.03.2010

## Comparison of dose distribution in planning target volume (PTV) using water, rubber or jelly bolus

### Porównanie rozkładu dawki w objętości PTV przy zastosowaniu bolusa wodnego, gumowego i żelowego

Original article/Artykuł oryginalny

#### Summary

**Introduction.** A comparison of the distributions of the doses in 95% and 100% of planning target volume (PTV) with use of either rubber or jelly or water bolus was made in the study.

Water bolus was attached to a fixing frame. Rubber and jelly boluses were fixed typically.

**Material and methods.** The study involved 23 patients scheduled for radical radiotherapy in the Dept. of Radiotherapy, The Lublin Lands' Center of Oncology between December 2007 – March 2008. Each patient had a CT imaging of the planned -to-treat region performed with three types of the bolus.

The PTV regions were then marked on the CT images and consequently loaded to the radiation planning system. The evaluation of dose distribution in PTV was done with an analysis of the dose histograms of each bolus.

**Results.** Using a jelly bolus 83% of the planned dose was available in 95% volume of PTV, rubber bolus allowed for 87% of the planned dose in 95% volume of PTV, while application of water bolus gave 98% of the planned dose in 95% volume of PTV.

**Conclusions.** Application of water bolus in radiotherapy of the head and neck region allows to achieve a significantly higher homogeneity of the dose in both 95% and 100% volume of PTV, in comparison to rubber and jelly boluses.

**Key words:** water bolus, rubber bolus, jelly bolus, PTV

#### Streszczenie

**Wstęp:** W pracy dokonano porównania rozkładu dawki w objętości 95% i 100% PTV przy użyciu bolusów: gumowego, żelowego i wodnego.

Bolus wodny umieszczano w ramie mocującej. Bolusy gumowy i żelowy mocowano w sposób standardowy.

**Material i metoda:** Badanie przeprowadzono w grupie 23 chorych napromieniowanych radykalnie w Zakładzie Radioterapii Centrum Onkologii Ziemi Lubelskiej w okresie od grudnia 2007 do marca 2008 roku. Każdemu z pacjentów badanej grupy wykonywano tomografię komputerową w lokalizacji planowanej do leczenia, z trzema rodzajami bolusów.

Na otrzymanych przekrojach tomograficznych oznaczano obszar PTV, a następnie przesyłano je do systemu planowania leczenia. Oceny rozkładu dawki w objętości PTV dla każdego rodzaju bolusa dokonywano na podstawie analizy histogramów.

**Wyniki:** Użycie bolusa żelowego pozwoliło na uzyskanie 83% dawki zaplanowanej w 95% objętości PTV, przy zastosowaniu bolusa gumowego dawka promieniowania w 95% objętości PTV wyniosła 87% dawki zaplanowanej, a dawka promieniowania w objętości 95% PTV przy użyciu bolusa wodnego osiągnęła około 98% dawki zaplanowanej.

**Wnioski:** Zastosowanie bolusa wodnego w napromienianiu nowotworów obszaru głowy i szyi pozwala uzyskać istotnie wyższą jednorodność dawki w 95% i 100% objętości PTV w porównaniu zarówno z bolusem żelowym jak i gumowym.

**Słowa kluczowe:** bolus wodny, bolus gumowy, bolus żelowy, PTV

#### STATISTIC STATYSTYKA

Word count Liczba słów	1417/1439
Tables Tabele	2
Figures Ryciny	2
References Piśmiennictwo	10

## INTRODUCTION

In the oncological radiotherapy, the so called "standard boluses" of various sizes and thicknesses are used. They have a comparable to water absorption coefficient of ionizing radiation.

These devices can be used according to current needs in various irradiation techniques.

Since water is the most common compound in human organism – 90% of the infants, 60-70% in the adults – soft tissues have a nearly water density, which is  $1\text{g/cm}^3$ . That is why water seems to be optimal bolus material [1,2].

As observed in clinical practice, standard boluses don't fulfill their basic requirements. They stray from the irradiated surface, slip off the patient's body, thus affecting dose distribution in irradiated volume.

Water bolus, used in the study, allows for proper shaping and thanks to a special mounting frame eases tight adhesion to body surface, and at the beam entrance side forms a plane surface, perpendicular to beam's axis [3].

## OBJECTIVE

The aim of the study was comparison of dose distributions in both 95% and 100% of PTV in reference to the used bolus: water, rubber, jelly.

## MATERIAL AND METHODS

A group of 23 patients, radically irradiated in Dept. of Radiotherapy, The Lublin Lands' Center of Oncology between December 2007 – March 2008. In the studied group 20 patients suffered from cancers of head and neck region, the remaining 3 patients had soft tissues sarcomas of the extremities. All these are typical indications for a use of bolus.

Each patient had a CT scanning of the primary tumor region with three types of boluses consequently: water, rubber and jelly.

The rubber and jelly boluses were typically put on the body, while water boluses were mounted to a frame and adjusted individually with standard stabilizing systems [3].

Three therapeutic plans were prepared for each patient, based on three CT scannings, with the three types of boluses. The plans were judged according to dose distributions in the PTVs.

A comparative analysis of therapeutic plans and dose histograms of all three types of boluses was carried out.

In each of 69 therapeutic plans performed with another type of bolus achieved from planning systems the histograms were read in reference to percentage of the planned doses in 95% and 100% of the planned therapeutic volume.

## WSTĘP

W radioterapii nowotworów stosowane są tak zwane bolusy „standardowe” o różnej grubości i wymiarach, wykonane z materiału o wartości współczynnika pochłaniania promieniowania jonizującego zbliżonego do współczynnika pochłaniania wody.

Mogą być one stosowane, w zależności od potrzeb, w różnych dostępnych technikach napromieniania.

Ponieważ najbardziej znaczącym składnikiem organizmu ludzkiego jest woda. Jej zawartość u dzieci sięga ok. 90% , a u człowieka dorosłego waha się w granicach między 60 a 70%, stąd też tkanki miękkie mają gęstość zbliżoną do gęstości wody wynoszącej ok.  $1\text{g/cm}^3$ . Z tego powodu woda wydaje się być najlepszym materiałem bolusowym [1,2].

Bolusy „standardowe”, co wynika z obserwacji stosowania ich w praktyce, nie spełniają podstawowych wymagań. Odstają od powierzchni w polu napromienianym, często zsuwają się z ciała pacjenta w trakcie napromieniania, a co za tym idzie mogą wpływać na niekorzystny rozkład dawki w objętości napromienianej.

Bolus wodny, użyty w badaniu, pozwala natomiast na formownię jego kształtu, a dzięki skonstruowaniu specjalnej ramy mocującej umożliwia ściśle przyleganie do powierzchni napromienianej, a od strony wlotu wiązki promieniowania, utworzenie płaszczyzny płaskiej, prostopadłej do osi tej wiązki [3].

## CEL PRACY

Celem pracy było porównanie rozkładu dawek promieniowania uzyskanych w objętości 95% i 100% PTV przy zastosowaniu bolusa gumowego, żelowego i wodnego.

## MATERIAŁ I METODA

Badanie przeprowadzono w grupie 23 chorych napromienianych radykalnie w Zakładzie Radioterapii Centrum Onkologii Ziemi Lubelskiej w okresie od grudnia 2007 do marca 2008 roku. Spośród nich 20 chorych napromieniano z powodu nowotworów głowy i szyi, a pozostałych 3 z powodu mięsaków tkanek miękkich zlokalizowanych w obrębie kończyn. Są to typowe lokalizacje nowotworów, w których istnieją wskazania do zastosowania bolusa.

Każdemu z pacjentów badanej grupy wykonywano tomografię komputerową w lokalizacji planowanej do leczenia, z trzema rodzajami bolusów: gumowym, żelowym i wodnym.

Bolusy gumowy i żelowy układano na pacjencie w sposób typowy, natomiast bolus wodny mocowano w ramię i dopasowywano do pacjenta przy wykorzystaniu standardowych systemów stabilizacji [3].

W oparciu o uzyskane przekroje tomograficzne wykonywano dla każdego chorego po trzy plany leczenia z każdym rodzajem bolusa i oceniano je na podstawie rozkładu dawki w objętości PTV.

Plany leczenia i histogramy prezentujące rozkłady dawek uzyskane przy użyciu wszystkich rodzajów bolusów poddawano dalszej ocenie porównawczej.

The data on each type of bolus were statistically analyzed in the aspect of homogeneity of the dose distribution in the mentioned volumes of PTV.

## STATISTICAL ANALYSIS

In the descriptive portion of analysis arithmetic mean value, standard deviation, median, minimal and maximal values were used. The distribution of the variables was evaluated in Shapiro-Wilk's W-test. The analysis revealed abnormal distribution, which implicated use of non-parametric Mann-Whitney's U-test. Statistical inference was based on  $p < 0,05$ .

## CLINICAL ANALYSIS OF THE STUDIED GROUP

In the studied group distribution of sexes was; male – 14, female – 9. Patients age varied between 42 and 67 years, mean age was 49 years.

Twenty patients achieved a 3-D radical radiotherapy of the head and neck region cancers, three patients were treated for the soft tissues sarcomas on thigh. In 14 cases, including 3 sarcomas, adjuvant radiotherapy was applied after a prior surgical procedure, the remaining 9 cases were independent therapeutic procedures.

In all cases of head and neck location of primary tumors squamous cell carcinoma was diagnosed in histological examination.

## RESULTS

### Comparison of dose distribution in 95% of PTV

The distribution of a dose in 95% of PTV were significantly different for different boluses (Tab. 1).

In the 95% volume of PTV the highest homogeneity was achieved in water bolus. The mean dose reached 98,72% of the planned dose and was significantly better than the mean doses in cases of either rubber or jelly bolus, 88,05% and 83,31% accordingly.

The difference between the mean doses in 95% of PTV in rubber vs water bolus was 10,67%, favoring water bolus. Comparing jelly vs. water bolus even more apparent (15,41%) difference in favor of water bolus was stated. These differences were statistically significant ( $p < 0,001$ ).

The distribution of the irradiation doses in 95% of PTV referred to type of bolus was presented in Fig. 1.

Dla każdego z 69 planów leczenia wykonanych z osobnym rodzajem bolusa odczytywano z rozkładów histogramowych uzyskanych z systemów planowania leczenia procent dawki zaplanowanej w: 95% i 100% objętości PTV.

Parametry te poddano ocenie statystycznej porównującej wszystkie rodzaje bolusów użytych w badaniu, w aspekcie jednorodności rozkładu dawki w wymienionych objętościach PTV.

## ANALIZA STATYSTYCZNA

W statystyce opisowej uzyskanych wyników badań posłużono się wartością średniej arytmetycznej, odchylenia standardowego, mediany oraz wartości minimalnej i maksymalnej. Rozkład badanych zmiennych oszacowano za pomocą testu W Shapiro-Wilk'a. Wykazano iż, wszystkie badane zmienne przyjmują rozkład niezgodny z normalnym. Z tego powodu, w celu porównania wartości odsetka zaabsorbowanej dawki w zależności od rodzaju stosowanego bolusa, posłużono się nieparametrycznym testem U Manna-Whitney'a. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono przy  $p < 0,05$ .

## CHARAKTERYSTYKA KLINICZNA OBJĘTYCH BADANIEM CHORYCH

Wśród badanej grupy pacjentów znalazło się 14 mężczyzn i 9 kobiet. Wiek chorych wahał się pomiędzy 42 a 67 rokiem życia, średnia wieku wynosiła 49 lat.

Spośród nich 20 pacjentów poddanych było radykalnej radioterapii 3D

z powodu nowotworów głowy i szyi, a 3 z powodu mięsaka tkanek miękkich uda. U 14 chorych, w tym 3 z mięsakiem tkanek miękkich radioterapia miała charakter leczenia pooperacyjnego, natomiast u 9 pozostałych stanowiła samodzielną metodę leczenia.

U wszystkich chorych z lokalizacją nowotworu w obrębie głowy i szyi, badaniem mikroskopowym rozpoznano raka płaskonabłonkowego.

## WYNIKI

### Porównanie rozkładu dawki promieniowania w objętości 95% PTV

Rozkład dawki w 95% objętości PTV różnił się istotnie w zależności od rodzaju użytego bolusa (Tab.1).

W objętości 95% PTV najwyższą jednorodność dawki uzyskano stosując bolus wodny. Średnia dawki w tym obszarze sięgała aż 98,72% dawki zaplanowanej i była istotnie wyższa od średnich dawek uzyskanych przy użyciu zarówno bolusa gumowego jak i żelowego, które wynosiły odpowiednio 88,05% i 83,31%.

Różnica między dawką średnią uzyskaną w 95% objętości PTV przy użyciu bolusa gumowego i wodnego wynosiła 10,67% na korzyść bolusa wodnego. Natomiast różnica między średnią dawek przy zastosowaniu bolusa żelowego i wodnego była jeszcze większa i sięgała aż 15,41% również na korzyść bolusa wodnego. Różnice te okazały się wysoce istotne statystycznie ( $p < 0,001$ ).

A worthy noting is a difference between the minimal and maximal doses especially in the rubber and jelly boluses. It reached even 13,94% when the rubber one was used. For the jelly bolus it was just 4,42%, however the reason for this was quite low maximal dose. As to the maximal dose, in 95% PTV in rubber bolus was 99,12%, while in jelly bolus barely 85,43%. The water bolus maximal dose was even 99,76% and the difference between the minimal and maximal doses was insignificant, only 2,31%. It proved a high grade of homogeneity in the 95% PTV when water bolus was used, reaching nearly 100% of the planned dose.

Rozkład dawek promieniowania w objętości 95% PTV w zależności od rodzaju użytego bolusa ilustruje Ryc.1.

Wartym podkreślenia jest fakt dużej różnicy między wartościami dawki minimalnej i maksymalnej przy stosowaniu zwłaszcza bolusa gumowego i żelowego. Sięgała ona w przypadku użycia bolusa gumowego 13,94%. Dla bolusa żelowego co prawda była mniejsza i wynosiła 4,42%, ale było to powodowane jedynie stosunkowo niską wartością dawki maksymalnej. O ile dawka maksymalna w objętości 95% PTV dla bolusa gumowego wynosiła 99,12% to dla bolusa żelowego sięgała zaledwie 85,43. Natomiast dawka maksymalna dla bolusa wodnego sięgała aż 99,76. Jednocześnie różnica między dawką maksymalną i minimalną była nieznaczna i wynosiła jedynie 2,31%, co świadczy o bardzo wysokim poziomie jednorodności dawki w objętości 95% PTV

Tab. 1. Distribution of the dose in 95% of PTV

Bolus type	Absorbed dose in %					
	Mean	N	SD	Min	Max	Median
jelly	83,31	23	1,23	81,01	85,43	83,48
rubber	88,05	23	2,72	85,18	99,12	87,97
water	98,72	23	0,76	97,45	99,76	98,65

N – number of cases  
SD – standard deviation

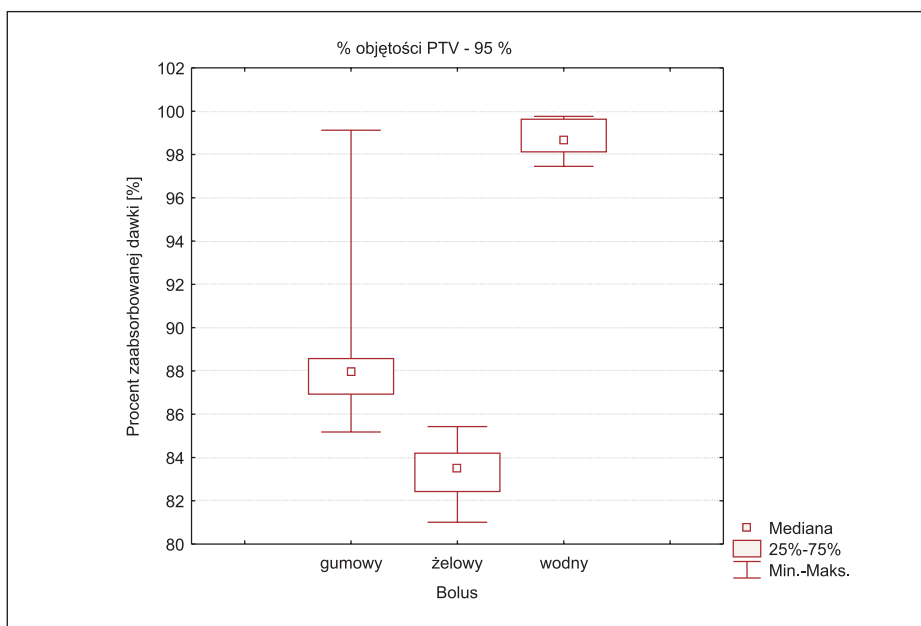
Tab. 1. Rozkład dawki w objętości 95% PTV

Rodzaj Bolusa	Dawka zaabsorbowana w %					
	Średnia	N	SD	Min	Max	Mediana
żelowy	83,31	23	1,23	81,01	85,43	83,48
gumowy	88,05	23	2,72	85,18	99,12	87,97
wodny	98,72	23	0,76	97,45	99,76	98,65

N – liczba planów leczenia  
SD – odchylenie standardowe

Fig. 1. Distribution of the radiation dose in 95% PTV referred to type of bolus

Ryc. 1. Rozkład dawki w objętości 95% PTV w zależności od rodzaju użytego bolusa



### A comparison of dose distributions in 100% PTV

The detailed dose distribution in the whole PTV referred to sort of the used bolus is presented in Tab. 2.

The highest mean dose value in 100%PTV was reached for the water bolus – 71,89% of the planned dose.

For the jelly and rubber boluses these values were significantly lower, 40,23% and 45,26% respectively.

The distribution of the doses of radiation in the 100% PTV, referred to type of bolus is presented in Fig. 2.

przy zastosowaniu bolusa wodnego, wynoszącej blisko 100% dawki zaplanowanej w tej objętości.

### Porównanie rozkładu dawki promieniowania w objętości 100% PTV

Rozkład dawki w objętości 100% PTV w zależności od rodzaju zastosowanego bolusa opisuje Tab.2.

Najwyższą wartość średniej dawki w 100% objętości PTV wynoszącą 71,89% dawki zaplanowanej uzyskano stosując bolus wodny.

Dla bolusów żelowego i gumowego wartości te były istotnie niższe i wynosiły odpowiednio 40,23% i 45,26% dawki zaplanowanej.

Rozkład dawek promieniowania w 100% objętości PTV w zależności od rodzaju użytego bolusa ilustruje Ryc. 2.

**Tab. 2.** Dose distribution in 100% PTV

Bolus type	Absorbed dose in %					
	Mean	N	SD	Min	Max	Median
jelly	40,23	23	1,38	38,10	42,64	40,12
rubber	45,26	23	1,68	41,85	47,98	45,76
water	71,89	23	2,21	67,30	74,57	71,85

N – number of therapeutic plans

SD – standard deviation

**Tab. 2.** Rozkład dawki w objętości 100% PTV

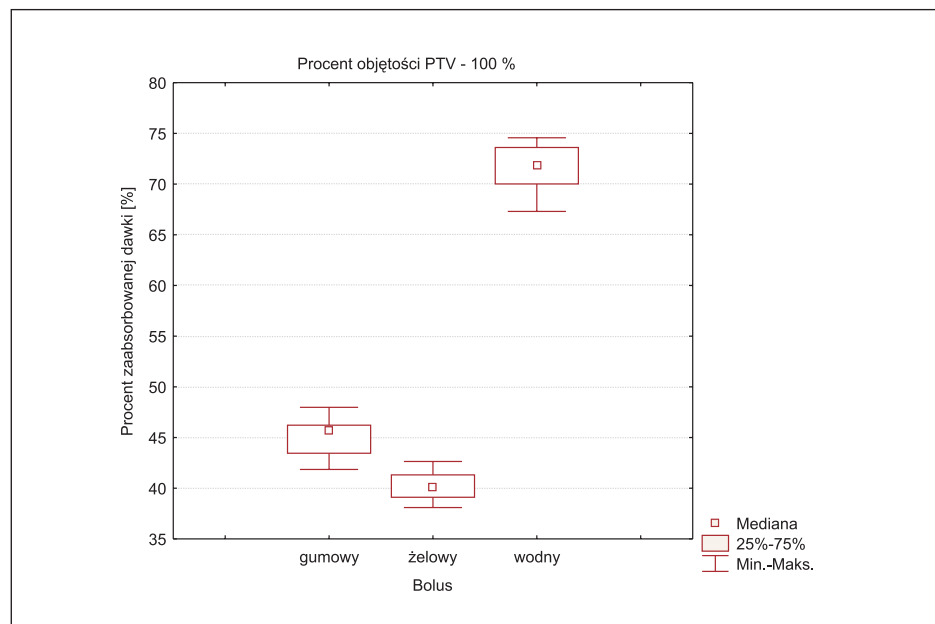
Rodzaj Bolusa	Dawka zaabsorbowana w %					
	Średnia	N	SD	Min	Max	Mediana
żelowy	40,23	23	1,38	38,10	42,64	40,12
gumowy	45,26	23	1,68	41,85	47,98	45,76
wodny	71,89	23	2,21	67,30	74,57	71,85

N – liczba planów leczenia

SD – odchylenie standardowe

**Fig. 2.** Distribution of the radiation doses in 100% PTV referred to type of bolus

**Ryc. 2.** Rozkład dawki w objętości 100% PTV w zależności od rodzaju użytego bolusa





The difference between the rubber and the water bolus, favoring the latter by 26,63%, must be outlined. An even greater difference was noted between the jelly and rubber boluses – 31,66%, also favoring water type.

As to all the parameters influencing the judgment of the therapeutic plan in terms of homogeneity in the PTV, meaning the targeted location for radical irradiation, an absolute advantage of the water bolus is proved. Use of water bolus allowed for superior to jelly and rubber homogeneity in both 95% and 100% PTV.

## DISCUSSION

Even though the first trials of application of water bolus for radiotherapy had been made in the 70's of past century, very few publications had been presented on this topic.

In between them Haselow et al [2], Cheng et al. [4] and Jones [5], present early applications of water boluses in radiotherapy for Kaposi's sarcoma in extremities location.

Morrison et al. [6] filled the external acoustic meatus with warm water as a homogenization agent and protection for neighboring structures, the bolus, for electron beam irradiation of the external ear. These authors also emphasize a high grade of homogeneity of the dose in the therapeutic volume.

In the comparison of dose homogeneity for various barium bolus types, like solution, paste and putty, in the head and neck radiotherapy, Stachler et al [7] reported highest value of the barium solution.

Another bolus material was tested by Chang et al. [8], elasto-gel used in radiotherapy of the head and neck as well as thoracic neoplasms with 6MV or 18MV photons and 6MV or 20MV electron beams.

Authors' own study shew, that use of water bolus allowed to rise the surface dose, counteracted dose's increment and enhanced the dose homogeneity.

According to ICRU guidelines [9,10] a criterion for correctness of the therapeutic plan is homogeneity of the dose in 95% PTV. The 100% PTV simulations were made, since clinical indications for increasing the surface dose were quite common. The region of post-operative scar is a special indication for increased dose, another is neoplastic skin infiltration.

Należy podkreślić, że różnica między średnią dawki w objętości 100% PTV przy zastosowaniu bolusa gumowego i wodnego wyniosła 26,63% na korzyść bolusa wodnego. Natomiast dla bolusa żelowego i wodnego była jeszcze większa i sięgała aż 31,66% również na korzyść bolusa wodnego.

Zatem w zakresie wszystkich badanych parametrów pozwalających na ocenę planu leczenia pod względem jednorodności dawki w obszarze PTV, a więc w obszarze zaplanowanym do radykalnego leczenia, wykazano przewagę na korzyść bolusa wodnego. Zastosowanie bolusa wodnego pozwala uzyskać najwyższą w porównaniu zarówno z bolusem żelowym jak i gumowym jednorodność dawki w 95% i 100% objętości PTV.

## DYSKUSJA

Mimo, że pierwsze próby zastosowania bolusa wodnego w radioterapii pojawiły się już w latach 70-tych XX wieku, publikacji dotyczących tego zagadnienia jest niewiele.

Między innymi Haselow i wsp.[2], Cheng i wsp.[4] czy Jones [5] przedstawiają próby użycia worków wypełnionych wodą w trakcie napromieniania mięsaka Kaposiego w lokalizacji kończynowej.

Natomiast dla wyrównania rozkładu dawki w objętości napromienianej oraz ochrony struktur prawidłowych podczas napromieniania kanału słuchowego wiązką elektronową, Morrison i wsp.[6] opisują metodę umieszczenia ciepłej wody w przewodzie słuchowym zewnętrznym jako bolusa. Autorzy podkreślają uzyskanie wysokiej jednorodności dawki w objętości napromienianej.

Stachler i wsp.[7] porównując jednorodność dawki przy zastosowaniu różnych materiałów bolusowych, a więc roztworu barytu, pasty barytowej i ciasta barytowego w napromienianiu nowotworów głowy i szyi, najwyższą jednorodność dawki osiągnęli przy użyciu roztworu.

Chang i wsp.[8] zbadali jeszcze inny materiał bolusowy, mianowicie elastożel, który zastosowali w napromienianiu nowotworów głowy i szyi oraz klatki piersiowej przy użyciu promieniowania fotonowego o energii 6 MV i 18 MV oraz elektronowego o energii 6 MV i 20 MV. Badacze uzyskali wysoką jednorodność dawki w objętości napromienianej niezależnie od rodzaju użytego promieniowania i jego energii.

Badania własne wykazały, że zastosowanie wody jako materiału bolusowego pozwala podwyższyć dawkę powierzchniową, przeciwdziałać zjawisku narastania dawki, oraz zwiększyć jednorodność dawki w objętości napromienianej.

Zgodnie z zaleceniami ICRU[9,10] jako kryterium poprawności planu leczenia uznano ocenę jednorodności dawki w 95% objętości PTV. Oceny jednorodności dawki w 100% objętości PTV dokonano z powodu często występujących wskazań klinicznych do podwyższenia dawki powierzchniowej. Zwłaszcza u pacjentów pooperacyjnych, u których w obszarze podwyższonej dawki powinna znaleźć się blizna, czy też skóra objęta naciekiem nowotworowym.

As far as 95% and 100% PTV mean doses are concerned, for the rubber bolus the respective values were 88,05% and 45,26%, while for the water bolus 98,72 and 71,89% of the planned doses.

Even higher differences were identified when compared the water bolus with the jelly. Mean doses for 95% and 100% PTV were 98,72% and 71,89% for the water type, meanwhile average doses in the same volumes for jelly were 83,31% and 40,23% of the planned doses, these differences were statistically significant ( $p < 0,001$ ).

Statistical analysis of the obtained data revealed, that statistically significant differences exist between the absorbed doses both in 95% and 100% PTV, resulting from the material of applied bolus. The water bolus turned out to have the best distribution of the doses in the tested volumes of PTV.

Neither application of rubber nor jelly reached a properly high, indicated by ICUR homogeneity of the dose in 95% PTV, meaning +7% to -5% variation of the planned dose.

## CONCLUSIONS

1. Application of water bolus in radiotherapy of the head and neck region allows for a significantly higher homogeneity of the dose in 95% PTV, when compared to either rubber or jelly type.
2. Application of either rubber bolus or jelly does not provide advised by ICU dose homogeneity in 95% PTV.

O ile średnia dawki w objętościach 95% i 100% PTV dla bolusa gumowego wynosiła odpowiednio 88,05% i 45,26% dawki zaplanowanej, to dla bolusa wodnego osiągała wartość 98,72% i 71,89%.

Jeszcze większe różnice odnotowano porównując bolus wodny z bolusem żelowym. Średnie dawek w objętościach 95% i 100% PTV przy użyciu bolusa wodnego wynosiły odpowiednio 98,72% i 71,89%, natomiast przy użyciu bolusa żelowego osiągały zaledwie 83,31% i 40,23% dawki zaplanowanej, a różnice okazały się wysoce istotne statystycznie ( $p < 0,001$ ).

Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań potwierdziła istnienie wysoce istotnych statystycznie różnic w wielkości zaabsorbowanej dawki w objętościach 95% i 100% PTV w zależności od rodzaju stosowanego bolusa. Okazało się, że bolus wodny pozwala uzyskać najbardziej korzystny rozkład dawek w badanych objętościach PTV.

Należy podkreślić, że zastosowanie zarówno bolusa gumowego jak i żelowego nie pozwoliło na uzyskanie wysokiej, zalecanej przez ICRU, jednorodności dawki w objętości 95% PTV, która powinna zawierać się w przedziale od +7% do -5% dawki zaplanowanej.

## WNIOSKI

1. Zastosowanie bolusa wodnego w napromienianiu nowotworów obszaru głowy i szyi pozwala uzyskać istotnie wyższą jednorodność dawki w 95% objętości PTV w porównaniu z bolusem żelowym jak i gumowym.
2. Stosowanie bolusa gumowego i żelowego nie pozwala uzyskać zalecanej przez ICRU jednorodności dawki w objętości 95% PTV.

## References/Piśmiennictwo:

1. **Binder W, Karcher KH.** "Super Stuff" as a bolus in radiotherapy. *Strahlentherapie* 1977; 153(11): 754-757
2. **Haselow RE, Khan FM, Sharma SC, Williamson J.** Water bag bolus in external air cavities to produce dose homogeneity. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1982; 8 (1): 137-139
3. **Patyra K, Mazurkiewicz M.** System mocujący bolus wodny – zastosowanie w praktyce radioterapeutycznej. *Onkologia i radioterapia* 2009; 3(9): 33-40
4. **Cheng B, B-Chen W, Anderson K, Pennington E, Hussey D.** Dosimetric considerations of water-based bolus for irradiation of extremities. *Med Dosim* 1998; Vol. 23; No. 4: 292-295
5. **Jones KS.** The conversion of air splints to provide buildup bolus in the treatment of extremities with skin involvement. *Med Dosim* 2000 Winter; 25 (4): 197-200
6. **Morrison WH, Wong PF, Starkschall G, Garden AS, Childress C, Hogstrom KR, Peters LJ.** Water bolus for electron irradiation of the ear canal. *Int Radiat Oncol Biol Phys* 1995; 30; 33 (2): 479-483
7. **Stachler RJ, Hamlet SL, Mathog RH, Jones L, Heilbrun LK, Manov LJ, O'Campo JM.** Swallowing of bolus types by postsurgical head and neck cancer patients. *Head Neck* 1994 Sep-Oct; 16(5): 413-419
8. **Chang F, Chang P, Benson K, Share F.** Study of elasto-gel pads used as surface bolus material I high energy photon and electron therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992; 22 (1): 191-193
9. International Commission on Radiation Units (ICRU). ICRU Report No. 50. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. ICRU, Bethesda 1993
10. International Commission on Radiation Units (ICRU). ICRU Report No. 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. Supplement to ICRU, Report 50. ICRU, Bethesda 1999