



Ocena parametrów rozkładu dawki dla pacjentek z lewostronnym nowotworem piersi napromienianych techniką VMAT na głębokim wdechu

Evaluation of the dose distribution parameters for patients with left-sided breast cancer irradiated with the VMAT technique on a deep inspiration breath hold

Izabela Pietrzyk¹, Zofia Szczyrek¹, Anna Daniluk²

¹ Zakład Fizyki Medycznej Narodowego Instytutu Onkologii – Państwowego Instytutu Badawczego im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie, ul. Wawelska 15, 02-781 Warszawa, tel. +48 22 570 91 15, e-mail: izabela.pietrzyk@pib-nio.pl

² Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

Streszczenie

Abstract

Celem pracy jest dokonanie analizy porównawczej parametrów rozkładu dawki na swobodnym oddechu (ang. *Free breathing*, FB) i wstrzymanym głębokim wdechu (ang. *Deep inspiration breath-hold*, DIBH) dla pacjentek z lewostronnym nowotworem piersi napromienianych techniką VMAT.

Praca została wykonana w Narodowym Instytucie Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowym Instytucie Badawczym przy ul. Wawelskiej 15 w Warszawie. Analizę parametrów rozkładu dawki przeprowadzono na grupie 30 pacjentek napromienianych na obszar blizny po mastektomii oraz na obszar łoża pooperacyjnej. Plany napromieniania wykonane zostały w systemie planowania leczenia Monaco firmy ELEKTA.

Porównanie planów leczenia na swobodnym oddechu i wstrzymanym głębokim wdechu wykazało, że pod względem objęcia targetu żadna z technik nie jest wiodąca. Technika DIBH pozwoliła na zmniejszenie dawki w narządach krytycznych, przede wszystkim w sercu, płucu po stronie napromienianej i lewej tętnicy wieńcowej. Uzyskane redukcje średniej dawki średniej wyniosły: 40,5%, 11,2%, 56,6%, odpowiednio dla serca, płuca lewego i lewej tętnicy wieńcowej. Redukcja V20Gy i V5Gy dla serca wyniosła 91,4 i 56,6%. Dla płuca lewego V20Gy i V10Gy zredukowano o 12,9 i 8,1%, a dawkę maksymalną dla lewej tętnicy wieńcowej o 44,3%.

Słowa kluczowe: swobodny oddech, wstrzymany głęboki wdech, serce, VMAT

The aim of the study is to perform a comparative analysis of the dose distribution parameters for free breathing (FB) and deep inspiration breath-hold (DIBH) for patients with left-sided breast cancer irradiated with the VMAT technique.

The work was carried out at the Maria Skłodowska-Curie – National Research Institute at Wawelska 15 Street in Warsaw. The analysis of the dose distribution parameters was carried out on a group of 30 patients irradiated on the scar after mastectomy and on the area after breast-conserving surgery. The irradiation plans were made in the Monaco treatment planning system by ELEKTA.

A comparison of treatment plans with free breath and deep breath hold showed that none of the techniques was leading in terms of target acquisition. The DIBH technique allowed for dose reduction in organs at risk, mainly in the heart, lung on the irradiated side and left anterior descending. The obtained mean dose reductions were: 40,5%, 11,2%, 56,6% for the heart, left lung and left anterior descending, respectively. The reduction of V20Gy and V5Gy for the heart was 91,4 and 56,6%. For the left lung, V20Gy and V10Gy were reduced by 12,9 and 8,1%, and the maximum dose for the left coronary artery by 44,3%.

Key words: free breathing, deep inspiration breath-hold, heart, VMAT

otrzymano / received:

22.04.2022

poprawiono / corrected:

04.05.2022

zaakceptowano / accepted:

10.05.2022



Wprowadzenie

Nowotwór złośliwy gruczołu sutkowego, według Międzynarodowej Klasyfikacji Chorób dla Onkologii numerowany znakiem C50, jest pierwszym w kolejności rodzajem nowotworu pod względem liczby zachorowań wśród kobiet [1]. W zależności od stopnia zaawansowania pacjentki poddawane są różnym metodom leczenia, m.in. chemioterapii, radioterapii, hormonoterapii, amputacji piersi (mastektomia), operacji oszczędzającej lub leczeniu skojarzonemu, które w różnym stopniu łączy wyżej wymienione metody.

W ramach metody leczenia poprzez radioterapię często można spotkać się z różnymi rodzajami skutków niepożądanych. Powikłaniem występującym po leczeniu nowotworu piersi z wykorzystaniem promieniowania jonizującego niejednokrotnie jest choroba wieńcowa lub zawał mięśnia sercowego. Jednym z bardziej efektywnych sposobów na zmniejszenie dawki deponowanej w narządach promieniowrażliwych (serce, płuca, tętnice wieńcowe, zdrowa pierś) jest napromienianie na wstrzymanym głębokim wdechu (ang. *Deep inspiration breath-hold*, DIBH). Metoda ta polega na zwiększeniu objętości płuc, co skutkuje odsunięciem m.in. serca od ściany klatki piersiowej. Dzięki wykorzystaniu systemu Catalyst (c4D v6.1.2, C-RAD, Sweden) możliwe jest śledzenie toru oddechowego i włączenie wiązki terapeutycznej tylko w określonej, pożądanej, fazie oddechowej.

Celem opracowania było dokonanie analizy porównawczej parametrów rozkładu dawki na swobodnym oddechu i wstrzymanym głębokim wdechu dla pacjentek z lewostronnym nowotworem piersi napromienianych techniką VMAT.

Materiały i metody

W pracy przeanalizowano dawki dla 24 planów radioterapeutycznych przygotowanych dla pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu oraz 6 planów dla pacjentek po mastektomii.

(i) Tomografia komputerowa i planowanie leczenia

Pacjentki miały wykonane dwie tomografie: na swobodnym oddechu i na wstrzymanym głębokim wdechu. Dla wszystkich pacjentek tomografia była wykonywana na aparacie Discovery CT 590 firmy GE Healthcare. Obrazy zbierano co 2,5 mm z grubością warstwy 1 mm w trybie spiralnym. Przed tomografią na FB pacjentki poinstruowano, aby oddychały swoim naturalnym rytmem. Podczas tomografii na DIBH pacjentkom założono specjalne okulary, w których widziany jest poziom nabrałego powietrza. Pacjentki w asyście personelu medycznego ćwiczyły oddychanie, tak aby objętość nabieranego powietrza była porównywalna podczas całego procesu leczenia.

Na obu zestawach obrazów tomograficznych FB i DIBH wrysowane zostały obszary tarczowe (ang. *Planning Target Volume*, PTV) oraz narządy krytyczne. Plany zostały wykonane dla obu tomografii niezależnie. Wykorzystano do tego celu system

planowania leczenia Monaco (Monaco 5.51, Elekta, Sweden) z algorytmem obliczeń *Monte Carlo*. Wybraną techniką napromieniania był VMAT, a energia wiązki 6 MV. Plany leczenia zrealizowano z wykorzystaniem akceleratora Versa (Versa HD, Elekta, Sweden).

Zastosowano następujące schematy napromieniania: w przypadku pacjentek po operacji oszczędzającej podano w 20 frakcjach dawkę całkowitą 45 Gy na obszar piersi z podwyższeniem dawki do 53 Gy na obszar łoża pooperacyjnej, a w przypadku pacjentek po mastektomii podano w 15 frakcjach dawkę całkowitą 40,5 Gy na obszar ściany klatki piersiowej po usuniętej pierśi lewej i obszar węzłów chłonnych okolic nadobojczykowych, pachowych i przymostkowych. Podczas wykonywania planu leczenia priorytetem było objęcie targetu izodozą obejmującą przy jednoczesnej maksymalnej ochronie narządów krytycznych (ang. *Organs at Risk*, OARs).

Techniki VMAT w Pracowni Przygotowania, Planowania i Leczenia Napromienianiem przy ul. Wawelskiej w Warszawie podlegają kryteriom akceptacji planu umieszczonym w raporcie ICRU 83 [2] i obejmują:

- podanie 95% dawki przepisanej w co najmniej 98% objętości tarczowej (PTV),
- podanie 107% dawki przepisanej w co najwyżej 2% objętości tarczowej (PTV).

Dawki tolerancji na narządy krytyczne dla pacjentek po operacji oszczędzającej:

- płuco po leczonej stronie: dawka średnia nie powinna przekroczyć 15 Gy ($D_{sr} < 15$ Gy) oraz dawki przynajmniej 20 Gy nie może otrzymać więcej niż 30% objętości płuca ($V_{20Gy} < 30\%$),
- serce: średnia dawka nie powinna przekroczyć 10 Gy ($D_{sr} < 10$ Gy) oraz nie więcej niż 10% objętości serca może otrzymać przynajmniej 20 Gy ($V_{20Gy} < 10\%$).

Dawki tolerancji na narządy krytyczne dla pacjentek po mastektomii:

- dawka średnia w płucu po napromienianej stronie powinna być mniejsza niż 18 Gy ($D_{sr} < 18$ Gy) oraz nie więcej niż 40% objętości płuca może otrzymać dawkę przynajmniej 20 Gy ($V_{20Gy} < 40\%$),
- dawka średnia w sercu nie powinna przekraczać 10 Gy ($D_{sr} < 10$ Gy) oraz nie więcej niż 10% objętości serca może otrzymać dawkę przynajmniej 20 Gy ($V_{20Gy} < 10\%$).

(ii) Analizowane parametry rozkładu dawki

W pracy oceniono wszystkie powyższe parametry rozkładu dawki, dodatkowo porównano uśrednioną dawkę średnią oraz maksymalną dla lewej tętnicy wieńcowej (ang. *Left Anterior Descending*, LAD) oraz V_{5Gy} dla serca.

(iii) Wykorzystane testy statystyczne [4]

Porównanie parametrów dla planów na FB i DIBH odbyło się na dwa sposoby.



Początkowo przeanalizowano, czy interesujące nas zmienne mają rozkłady zbliżone do normalnego. Do tego celu wykorzystano test Shapiro-Wilka, który ma postać:

$$W = \frac{\left[\sum_{j=1}^n a_j(n) (X_{n-i+1} - X_i) \right]^2}{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2},$$

gdzie:

- W – wynik testu Shapiro-Wilka,
- $a_j(n)$ – stała wartość z tablic dla tego testu,
- $X_{n-i+1} - X_i$ – różnica pomiędzy skrajnymi obserwacjami,
- j – kolejne obserwacje w próbie,
- i – kolejne różnice między skrajnymi obserwacjami,
- \bar{X} – wartość średnia.

Kolejno w przypadku spełnienia testu Shapiro-Wilka (na zgodność rozkładu z krzywą Gaussa) do analizy danych wykorzystano test parametryczny t-Studenta. W przeciwnym przypadku wykorzystano test nieparametryczny U Manna-Whitneya.

W ten sposób sprawdzono, czy badane parametry dla planów wykonanych na FB i DIBH były porównywalne.

Wzór na test t-Studenta ma postać:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{x_1-x_2}},$$

$$S_{x_1-x_2} = \sqrt{\frac{(n_1-1) \cdot s_1^2 + (n_2-1) \cdot s_2^2}{n_1+n_2-2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)},$$

gdzie:

- T – wynik testu t-Studenta,
- \bar{X}_1 – średnia dla pierwszej grupy,
- \bar{X}_2 – średnia dla drugiej grupy,
- s_1^2 – wariancja dla pierwszej grupy,
- s_2^2 – wariancja dla drugiej grupy,
- n_1 – liczebność pierwszej grupy,
- n_2 – liczebność drugiej grupy.

Wzór na test U Manna-Whitneya ma postać:

$$U = R_{\min(k)} - \frac{n_k(n_k+1)}{2},$$

gdzie:

- U – wynik testu U Manna-Whitneya,
- $R_{\min(k)}$ – suma rang dla grupy, w której suma jest mniejsza,
- n_k – liczba obserwacji w grupie z mniejszą sumą rang.

$$Z = \frac{U - \frac{n_1 n_2}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} - \frac{n_1 n_2 \sum_{j=1}^k (t_j^3 - t_j)}{12(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 - 1)}}},$$

gdzie:

- Z – wynik testu Z (dla testu U Manna-Whitneya),
- U – wynik testu U Manna-Whitneya,
- n_1 – liczebność pierwszej grupy,
- n_2 – liczebność drugiej grupy,
- t – liczba obserwacji posiadających tę samą rangę.

Wyniki były uznawane za istotne statystycznie, gdy poziom istotności wynosił $p < 0,05$.

W celu zbadania, czy zachodzi zależność między ilością nabra- nego powietrza a dawką średnią w sercu, użyto współczynnika korelacji liniowej Pearsona, który ma postać:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)},$$

gdzie:

- r – współczynnik korelacji Pearsona,
- x_i i y_i – zmienne wartości prób losowych zmiennych x i y ($i = 1, 2, \dots, n$) i .

Korelację zbadano dla ilości powietrza nabra- nego do obu płuc i dla płuca lewego niezależnie.

Wynik korelacji Pearsona zawiera się w przedziale [-1,1]. Wartość 0 oznacza brak zależności liniowej, a wartości -1 i 1 odpowiednio zależność ujemną i dodatnią. Im wynik jest dalszy od 0, tym zależność między zmiennymi silniejsza. Zależność ujemna mówi o tym, że gdy wzrastają wartości jednej zmiennej (ilość nabra- nego powietrza do płuc), to maleją wartości drugiej zmiennej (dawka w sercu) i na odwrót. Zależność dodatnia mówi o tym, że gdy wzrastają wartości jednej zmiennej (ilość nabra- nego powietrza do płuc), to wzrastają również wartości drugiej zmiennej (dawka w sercu) i na odwrót.

Wyniki

(i) Analiza parametrów rozkładu dawki

(a) Porównanie histogramów dla obszarów tarczowych (DIBH i FB)

Wyniki porównano dla planów tworzonych niezależnie na swo- bodnym oddechu i głębokim wstrzymanym wdechu.

Plany leczenia spełniały kryteria akceptacji. Dawki średnie w obszarach tarczowych, zarówno dla techniki DIBH, jak i FB, wynosiły 100% dawki przepisanej z maksymalnym odchyleniem na poziomie 1%. Dawka maksymalna nie przekraczała 107% dawki przepisanej, a dawka minimalna była większa niż 95% dawki przepisanej dla wszystkich pacjentek.

W tabeli 1 znajdują się wartości średnie i odchylenia standar- dowe (ang. *Standard Deviation*, SD) badanych parametrów dla obszaru tarczowego: dawka średnia, $V_{95\%}$ [%] i $V_{107\%}$ [%] dla grupy

Tabela 1 Uśrednione parametry statystyczne rozkładu dawki w obszarze tarczowym dla 2 grup pacjentek

Parametr	DIBH		FB		Schemat napromieniania
	średnia	SD	średnia	SD	
D_{sr} [Gy]	45,312	0,079	45,325	0,099	40,5/20fr.
$V_{95\%}$ [%] pierś	98,64	0,375	98,68	0,412	
$V_{107\%}$ [%] pierś	0,005	0,005	0,02	0,039	
D_{sr} boost [Gy]	53,286	0,161	53,247	0,159	53/45/20fr.
$V_{95\%}$ [%] boost	99,649	0,388	99,646	0,345	
$V_{107\%}$ [%] boost	0,001	0,004	0,001	0,004	
$V_{95\%}$ [%] pierś	99,281	0,323	99,126	0,329	

Źródło: Opracowanie własne.



pacjentek po mastektomii oraz poddanych leczeniu oszczędzającym w obszarze łoża pooperacyjnej: dawka średnia, $V_{95\%}$ [%], $V_{107\%}$ [%].

(b) Serce

Statystykę analizowanych parametrów umieszczono w tabeli 2.

Tabela 2 Uśrednione parametry rozkładu dawki w sercu dla techniki DIBH i FB dla 2 grup pacjentek

Parametr	SERCE				Schemat napromieniania
	DIBH		FB		
	średnia	SD	średnia	SD	
D_{sr} [Gy]	4,687	1,548	6,450	1,461	40,5/20fr.
V_{20Gy} [%]	0,892	1,359	3,438	2,555	
V_{5Gy} [%]	29,388	19,673	47,188	16,238	53/45/20fr.
D_{sr} [Gy]	2,907	0,733	5,245	1,317	
V_{20Gy} [%]	0,030	0,109	2,064	1,920	
V_{5Gy} [%]	10,322	9,194	35,159	17,353	

Źródło: Opracowanie własne.

Dla wszystkich pacjentek uzyskano obniżenie dawki średniej w technice DIBH w porównaniu do techniki FB. Obliczono procentową redukcję dawki średniej w sercu poprzez uzgodnienie, że dawka z planu na swobodnym oddechu wynosiła 100%. Średnia dawka średnia w sercu dla techniki DIBH względem FB była mniejsza o 44,6% (operacja oszczędzająca) i 27,3% (mastektomia). W grupie pacjentek po mastektomii redukcja średniej dawki średniej wyniosła w granicach od 7% do 45%, a w grupie pacjentek po operacji oszczędzającej od 6% do 62%. Różnica między technikami dla grupy pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu została potwierdzona testem statystycznym U Manna-Whitneya na poziomie $p = 0,0000001$. Dla grupy pacjentek po mastektomii różnicy między technikami nie potwierdzono statystycznie ($p = 0,09$).

Objętości serca otrzymujące dawkę 20 Gy nie przekroczyły 8% objętości tego narządu w FB i 4% w DIBH. U 2/3 pacjentek uzyskano zredukowanie parametru V_{20Gy} w sercu do zera dzięki technice DIBH. Objętość serca, w której wystąpiła dawka 20 Gy, została obniżona średnio o 82% (mastektomia) i 89% (operacja oszczędzająca) dla techniki DIBH względem FB. Różnica między technikami dla grupy pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu została potwierdzona testem statystycznym t-Studenta na poziomie $p = 0,000005$. Dla grupy pacjentek po mastektomii różnicę potwierdzono testem statystycznym U Manna-Whitneya na poziomie $p = 0,05$.

Dawka co najmniej 5 Gy wystąpiła w obszarze serca u wszystkich pacjentek po mastektomii i wynosiła od 21,8% do 70,0% objętości serca dla techniki FB i od 8,28% do 52,9% objętości serca dla techniki DIBH. W grupie pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu D_{5Gy} dla techniki DIBH wynosiła od 1,4% do 30,4% objętości serca, a w technice FB od 8,4% do 86,5% objętości serca. Uzyskano obniżenie objętości otrzymującej dawkę 5 Gy prawie o 40% dla pacjentek po mastektomii i 65% dla pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu. Różnica między technikami dla pacjentek po operacji oszczędzającej została

potwierdzona testem statystycznym U Manna-Whitneya na poziomie $p = 0,0000005$. Dla grupy pacjentek po mastektomii różnicy między technikami nie potwierdzono statystycznie ($p = 0,13$).

(c) Lewa tętnica wieńcowa

Badając parametry rozkładu dawki w lewej tętnicy wieńcowej, oceniono dawkę średnią i maksymalną. Średnie wartości wraz z odchyleniami standardowymi zebrano w tabeli 3.

Tabela 3 Uśrednione parametry statystyczne rozkładu dawki w lewej tętnicy wieńcowej dla techniki DIBH i FB dla 2 grup pacjentek

Parametr	Lewa tętnica wieńcowa				Schemat napromieniania
	DIBH		FB		
	średnia	SD	średnia	SD	
D_{sr} [Gy]	10,983	4,375	19,103	4,363	40,5/20fr.
D_{max} [Gy]	26,822	7,068	36,503	3,821	
D_{sr} [Gy]	5,645	1,959	14,514	5,311	53/45/20fr.
D_{max} [Gy]	15,736	6,674	31,154	7,476	

Źródło: Opracowanie własne.

Procentowa redukcja uśrednionej dawki średniej w technice DIBH względem FB w lewej tętnicy wieńcowej wyniosła średnio 43% (mastektomia) i 59% (operacja oszczędzająca).

W przypadku dawki maksymalnej różnica średnich w technikach DIBH-FB dla grup pacjentek po mastektomii i po leczeniu oszczędzającym wyniosła 26,5% i 49,5%.

Dla obu parametrów w grupie pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu widoczna jest znacząca różnica między techniką DIBH i FB potwierdzona testem U Manna-Whitneya ($p = 0,0000003$ dla dawki średniej i $p = 0,000003$ dla dawki maksymalnej). Również w grupie pacjentek po mastektomii różnica ta jest poparta testem statystycznym U Manna-Whitneya dla dawki średniej ($p = 0,02$) i dawki maksymalnej ($p = 0,013$).

(d) Płuco po stronie napromienianej

Wyniki analizy parametrów rozkładu dawki dla płuca lewego przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4 Uśrednione parametry statystyczne rozkładu dawki dla techniki DIBH i FB dla 3 grup pacjentek dla płuca po leczonej stronie

Parametr	Płuco po stronie napromienianej				Schemat napromieniania
	DIBH		FB		
	średnia	SD	średnia	SD	
D_{sr} [Gy]	14,742	0,926	15,68	0,993	40,5/20fr.
V_{20Gy} [%]	30,208	3,526	31,55	3,296	
V_{10Gy} [%]	50,362	3,264	50,498	3,859	53/45/20fr.
D_{sr} [Gy]	9,552	1,93	10,995	2,74	
V_{20Gy} [%]	14,96	4,862	17,964	7,181	
V_{10Gy} [%]	30,138	8,134	33,881	11,57	

Źródło: Opracowanie własne.

Procentowa redukcja uśrednionej dawki średniej w płucu lewym wyniosła średnio 14% dla pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu i 6% dla pacjentek po mastektomii. Pacjentkom po operacji oszczędzającej redukcję dawki średniej potwierdzono testem t-Studenta ($p = 0,04$), w przeciwieństwie do



pacjentek po mastektomii, gdzie p obliczone z wykorzystaniem testu U Manna-Whitneya wyniosło 0,13.

Pacjentki, u których nastąpiło zmniejszenie objętości V_{20Gy} dla techniki na wstrzymanym głębokim wdechu, otrzymały redukcję średnio o 4% (mastektomia) i 17% (operacja oszczędzająca). Parametr V_{10Gy} został zredukowany dla tych pacjentek o średnio 3% i 15%. Test t-Studenta nie potwierdził różnicy między technikami dla pacjentek poddanych leczeniu oszczędzającemu dla parametrów V_{20Gy} i V_{10Gy} (odpowiednio $p = 0,1$, $p = 0,2$). W grupie pacjentek po mastektomii wykorzystano test U Manna-Whitneya i również nie potwierdzono różnicy statystycznej ($p = 0,5$ dla V_{20Gy} i $p = 1$ dla V_{10Gy}).

(e) Korelacje

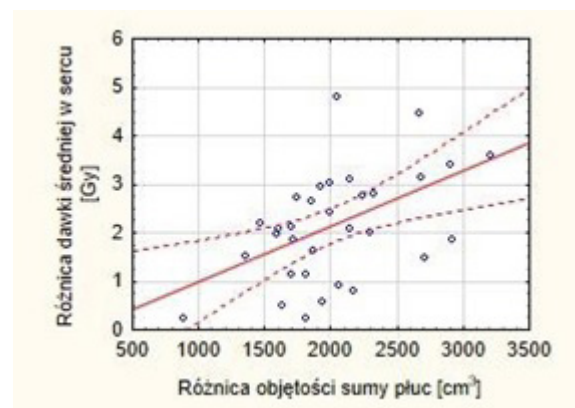
Podsumowując powyższą analizę, zauważono, że nie wszystkie pacjentki uzyskały poprawę parametrów rozkładu dawki dla techniki DIBH. Zweryfikowano zatem, czy objętość nabieranego powietrza ($V_{\text{płuca DIBH}} - V_{\text{płuca FB}}$) ma związek z wielkością redukcji dawki średniej. Sprawdzone korelację między różnicą objętości płuca lewego i sumy płuc a różnicą dawki średniej dla techniki na swobodnym oddechu i wstrzymanym głębokim wdechu w następujących narządach: płuca lewym, sercu, płuca prawym i lewej tętnicy wieńcowej. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5 Macierz korelacji. Wartości na czerwono oznaczają, że współczynniki korelacji są istotne za $p < 0,05$, czarne wartości nie zostały potwierdzone statystycznie

		Różnica dawki średniej (DIBH-FB)			
		w płucu lewym	w sercu	w płucu prawym	w LAD
Różnica objętości	płuca lewego	0,42	0,21	0,23	0,07
	sumy płuc	0,21	0,48	0,19	0,00

Źródło: Opracowanie własne.

Na rycinie 1 przedstawiono wykresy korelacji wybranych parametrów. Płuco lewe wraz ze wzrostem objętości wdychanego powietrza uzyskuje większą redukcję dawki średniej w technice DIBH względem techniki FB, podobnie serce. Krzywa regresji dla wykresu przedstawiającego różnicę dawki średniej w sercu



Ryc. 1 Wykresy korelacji różnicy objętości sumy płuc i różnicy dawki średniej dla serca
Źródło: Opracowanie własne.

w funkcji różnicy objętości sumy płuc wygląda następująco:
 $y = 0,0011 \cdot x - 0,1397$.

Z otrzymanej krzywej regresji można obliczyć przypuszczalną redukcję dawki średniej w sercu. Przy zwiększeniu objętości wdychanego powietrza o 1000 cm³ (dla współczynnika kierunkowego równego 0,0011) wyniesie ona 110 cGy.

Wnioski

Aby ocenić, czy technika DIBH przynosi korzyści, należało sprawdzić jej wpływ na objęcie obszaru napromieniania i stopień zdeponowanej dawki w narządach krytycznych.

Plany leczenia na wstrzymanym głębokim wdechu i swobodnym oddechu pod względem objęcia obszaru tarczowego dawką 95% nie różniły się znacząco. W żadnej z technik nie występowało więcej maksimów lokalnych. Dawka średnia była porównywalna i oscylowała w granicy 100% dawki przepisanej. Wszystkie parametry mieściły się w granicach tolerancji. Można więc stwierdzić, że prawdopodobieństwo kontroli miejscowej nowotworu było porównywalne dla obu technik.

Różnice pojawiły się dla narządów krytycznych. W tabeli 6 znajdują się średnie wartości parametrów rozkładu dawki dla obu analizowanych technik.

Tabela 6 Redukcja parametrów rozkładu dawki w technice DIBH względem techniki FB

Narządy krytyczne	Parametr	średnia		
		FB [Gy]	DIBH [Gy]	Redukcja [%]
serce	D_{sr}	5,5	3,3	40,5%
	V_{20Gy}	2,3	0,2	91,4%
	V_{5Gy}	37,6	14,1	62,4%
LAD	D_{sr}	15,5	6,7	56,6%
	D_{max}	32,3	18,0	44,3%
płuca lewe	D_{sr}	11,9	10,6	11,2%
	V_{20Gy}	20,7	18,0	12,9%
	V_{10Gy}	37,2	34,2	8,1%

Źródło: Opracowanie własne.

Porównanie planów leczenia dla techniki DIBH i FB wykazało mniejszą dawkę średnią deponowaną w obszarze serca dla wszystkich badanych pacjentek. Korzyści płynące z techniki na wstrzymanym głębokim wdechu potwierdzają też inne badania, w których udało się zmniejszyć dawkę średnią w sercu od 26% do 75% [5] oraz od 29% do 67% [6]. Objętości objęte dawkami 20 Gy i 5 Gy zmniejszyły się względem techniki FB dla większości badanych odpowiednio o 91,4% i 62,4%.


Lewa tętnica wieńcowa, podobnie jak serce, uzyskała mniejszą dawkę dzięki technice DIBH. Redukcja dawki średniej u pacjentek wyniosła ponad 56%, a dawki maksymalnej ponad 44%. Potwierdzają to inne badania zebrane w artykule [6]. Wykazują one zmniejszenie dawki średniej w LAD o 20-73%. Oznacza to, że dzięki zastosowaniu techniki na wstrzymanym głębokim wdechu możliwe jest zmniejszenie deponowanej dawki w sercu i LAD, a co za tym idzie – zmniejszenie prawdopodobieństwa powikłań kardiologicznych (np. zawału serca, miażdżycy). Należy zwrócić uwagę na to, że również dla techniki na swobodnym



oddechu wszystkie kryteria dla narządów krytycznych były spełnione. Jest to alternatywa dla pacjentek, które nie kwalifikują się do terapii DIBH.

Płuco po stronie leczonej piersi jest bardziej narażone na promieniowanie z powodu bliskości obszaru wysokiej dawki – PTV. Napromienianie na głębokim wdechu niweluje po części te skutki poprzez ogólne zwiększenie objętości płuc. Zostało to również potwierdzone korelacją między objętością wdychanego powietrza a redukcją dawki średniej w płucu lewym oraz sercu ($p < 0,05$). Z otrzymanej krzywej regresji obliczono przypuszczalną redukcję dawki średniej w sercu. Przy zwiększeniu objętości wdychanego powietrza o 1000 cm^3 (dla współczynnika kierunkowego równego 0,0011) wyniesie ona 110 cGy. Podobne wyniki uzyskano w badaniu [7], gdzie objętość 1000 cm^3 powodowałaby redukcję dawki średniej w sercu o 130 cGy.

Przed podjęciem decyzji o zastosowaniu techniki DIBH należy zwrócić uwagę na możliwości oddechowe pacjentki, stabilność i powtarzalność oddechów. Konieczny jest również trening oddechowy przed rozpoczęciem radioterapii.

Reasumując, zastosowanie techniki DIBH zmniejsza dawkę podawaną w obszarze serca i lewej tętnicy wieńcowej, dodatkowo stabilizując obszar napromieniania. Nie oddziałuje negatywnie na objęcie targetu dawką przepisaną. W konsekwencji może korzystnie wpłynąć na standard życia chorego po radioterapii. 

1. J. Dzikowska, U. Wojciechowska, P. Olasek: *Nowotwory złośliwe w Polsce w roku 2019*, Krajowy Rejestr Nowotworów, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2021.
2. ICRU: *Prescribing, recording, and reporting pho-ton-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) (ICRU Report 83)*, Journal of the ICRU, 2010.
3. A. Daniluk: *Ocena parametrów rozkładu dawki dla pacjentek z lewostronnym rakiem piersi napromienianych techniką VMAT na głębokim wdechu*, praca magisterska, promotor A. Semaniak, Warszawa: Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, 2020.
4. R. Nowak: *Statystyka dla fizyków*, PWN, Warszawa 2002.
5. Latty D. et al.: *Review of deep inspiration breath-hold techniques for the treatment of breast cancer*, J Med Radiat Sci., 2015.
6. Bergom Carmen et al.: *Deep Inspiration Breath Hold: Techniques and Advantages for Cardiac Sparing During Breast Cancer Irradiation*, Frontiers in Oncology, 2018.
7. Tanguturi SK. et al.: *Prospective assessment of deep inspiration breath-hold using 3-dimensional surface tracking for irradiation of left-sided breast cancer*, Pract Radiat Oncol, 2015.

Wielkimi krokami zbliża się termin XVII Kongresu Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej

Szanowni Państwo,

Wielkimi krokami zbliża się termin XVII Kongresu Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej, który w tym roku odbywać się będzie w Krakowie w dniach 30 września – 2 października 2022.

Celem Kongresu jest zarówno wymiana wiedzy merytorycznej, jak i budowanie trwałych relacji pozwalających na efektywną współpracę ośrodków naukowych i akademickich z przedstawicielami otoczenia społeczno-gospodarczego. Uczestnictwo w Kongresie jest również świetną okazją do czerpania specjalistycznej wiedzy dla Studentów, Doktorantów oraz Uczestników specjalizacji z dziedziny fizyki medycznej.

Program konferencji będzie podzielony na sekcje obejmujące poszczególne zakresy tematyczne:

- Brachyterapia
- Diagnostyka
- Medycyna nuklearna
- Teranostyka
- Radioterapia
- Promieniowanie niejonizujące
- Protonoterapia
- Inżynieria biomedyczna

- Ochrona radiologiczna
 - Kształcenie fizyków medycznych w Polsce
- Bardzo serdecznie zapraszamy do uczestnictwa w wydarzeniu oraz przesyłaniu streszczeń opracowań naukowych.

Więcej szczegółów na temat wydarzenia, w tym jego program ramowy, znajdą Państwo pod adresem:

<https://kongresptfm2022.ifj.edu.pl>

Opłat za uczestnictwo można dokonywać za pomocą sklepu PTFM:

<https://www.ptfm.org/sklep/>

W razie pytań, uwag lub wątpliwości zapraszamy do kontaktu: kongresptfm@ifj.edu.pl

Z niecierpliwością wyczekujemy spotkania w Krakowie!

Komitet Organizacyjny

PATRONAT MEDIALNY

FIZYK INŻYNIER MEDYCZNY 