



Praca poglądowa/Review paper

## Planowanie radioterapii pacjentów posiadających układ stymulujący pracę serca

### *Planning radiotherapy for patients with a cardiac stimulating system*

Wioletta Jakrzewska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań, Polska

---

#### Streszczenie

Wzrost krzywej przeżywalności pacjentów nowotworowych oraz coraz dokładniejsze metody diagnostyki przyczyniły się do wzrostu liczby pacjentów posiadających stymulatory serca, którzy są poddawani leczeniu radioterapeutycznemu. Istnieje wiele czynników ryzyka, jednak posiadanie elektronicznego układu stymulującego pracę serca nie powinno być przeciwwskazaniem do wdrożenia leczenia. Planowanie takiego leczenia stanowi niemałe wyzwanie, ponieważ promieniowanie jonizujące nie jest obojętne dla urządzeń tego typu. Fizycy medyczni oraz radioterapeuci w trakcie planowania radioterapii powinni zastosować zasadę ALARA (ang. As Low As Reasonably Achievable). Został opracowany szereg wytycznych do jakich należy się zastosować, aby ograniczyć ryzyko uszkodzenia stymulatora.

#### Abstract

The increase in the survival curve of cancer patients and more and the improvement of diagnostic methods have contributed to an increase in the number of patients with pacemakers who are undergoing radiotherapeutic treatment. There are many risk factors, but having an electronic heart stimulation system should not be a contraindication to treatment. Planning such treatment is quite a challenge, because ionizing radiation is not neutral to this type of devices. Medical physicists and radiotherapists should apply the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) when planning radiotherapy. A number of guidelines have been developed that should be followed to reduce the risk of damage to the stimulator.

#### Słowa kluczowe:

**Keywords:** pacemaker, radiotherapy, radiation damage

---

Adres do korespondencji

Wioletta Jakrzewska

Zakład Fizyki Medycznej,

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

e-mail: [wjakrzewska92@gmail.com](mailto:wjakrzewska92@gmail.com)

## Wstęp

Liczba zabiegów implantacji stymulatora serca, a tym samym liczba pacjentów posiadających taki układ stale rośnie. Borykają się oni nierzadko również z innymi problemami zdrowotnymi. Obecność rozrusznika serca nie powinna jednak stanowić ograniczenia ani wykluczenia dla zastosowanego leczenia. Wśród pacjentów onkologicznych poddawanych radioterapii coraz częściej można spotkać takich, którzy posiadają elektroniczny układ stymulujący serce. Planowanie takiego leczenia stanowi niemałe wyzwanie, ponieważ promieniowanie jonizujące nie jest obojętne dla urządzeń tego typu. Należy więc przeprowadzić pacjenta przez proces leczenia w sposób zapewniający wysoce precyzyjne dostarczenie dawki do obszaru tarczowego, jednocześnie minimalizując dawkę jaką otrzyma układ stymulujący, a tym samym zmniejszać ryzyko uszkodzenia urządzenia czy pojawienia się zaburzeń rytmu serca.

## Budowa układu stymulującego serce

Wszczepiane rozruszniki serca zostały zaprojektowane do utrzymania rytmu serca podczas dysfunkcji układu bodźco-przewodzącego. Dwoma podstawowymi elementami, z których jest on zbudowany są: generator impulsów z baterią litową, zamknięty w hermetycznej puszcze oraz elektroda, bądź elektrody (zależnie od rodzaju). Generator wszczepiany jest najczęściej podskórnym w klatce piersiowej, nad mięśniem piersiowym większym. Elektroda to spiralnie zwinięty przewód otoczony silikonową, bądź poliuretanową osłonką. Poprzez końcówkę przewodząca łączy generator impulsów z mięśniem sercowym drogą żywną. Elektrody odczytują i przekazują generowane impulsy [1][2][3].

Istnieją trzy grupy wewnątrzsercowych stymulatorów serca:

1. Kardiostryulator zwany rozrusznikiem (ICP, ang. implantable cardiac pacemakers) implantowany w przypadku wolnej częstości komór. Zastępuje układ bodźco-przewodzący poprzez odczytywanie sygnałów wewnątrzsercowych oraz stymulowanie mięśnia sercowego. Monitoruje naturalną aktywność serca, a w sytuacji, kiedy spada aktywność pracy serca poniżej zaprogramowanej granicy wysyła impuls elektryczny, który następnie pobudza normalną częstość poprzez skurcz mechaniczny.
2. Kardioverter – stymulator (ICD, ang. implantable cardioverter – defibrillators) znajdujący zastosowanie w leczeniu objawowym częstoskurczu komorowego i migotania komór, a także zapobiegawczo u pacjentów wysokiego ryzyka, aby uniknąć nagłej śmierci sercowej. W odróżnieniu od ICP posiada część kardiowertująco-defibrylującą, która w momencie zaistnienia arytmii stanowiącej zagrożenie życia może przeprowadzić kardiowersję, bądź defibrylację.
3. Urządzenie do desynchronizacji serca (CRT, ang. cardiac resynchronization therapy). Jest on wszczepiany osobom, u których występuje desynchronizacja śród- i międzykomorowa, powodująca ciężką niewydolność krążeniową. CRT doprowadza do przesunięcia czasowego pomiędzy skurczem prawej, a lewej komory [1][4].

## Wpływ radioterapii

W trakcie radioterapii zarówno promieniowanie jonizujące jak i elektromagnetyczne ma wpływ na stymulator serca. W przyśpieszaczach liniowych źródłem promieniowania elektromagnetycznego jest magnetron (bądź klistron). Urządzenie stymulujące pracę serca może je pomylić z potencjałem z mięśnia sercowego, a co w konsekwencji może spowodować liczne nieprawidłowości pracy tego urządzenia m.in. blok wyjścia, zaburzenia detekcji czy przeprogramowanie, a w następstwie niezamierzone wyładowanie. Zaburzenia te jednak najczęściej są odwracalne i ustają tuż po zaprzestaniu akwizycji.

W przypadku promieniowania jonizującego problem jest bardziej skomplikowany. Stymulatory zbudowane są z materiałów półprzewodnikowych, które ulegają jonizacji w wyniku, której w paśmie przewodnictwa powstaje nadmiar elektronów, a w paśmie walencyjnym – dodatnie dziury. W skład tranzystora wchodzi emiter, bramka oraz dren, który zawiera domieszki krzemu. Bramka jest oddzielona od kanału między emiternem, a drenem, niewielką warstwą dwutlenku krzemu ( $\text{SiO}_2$ ). Przyłożenie odpowiedniego napięcia bramki indukuje utworzenie kanału przewodzącego między źródłem, a drenem – następuje przepływ prądu. Promieniowanie jonizujące powoduje wytworzenie nadmiaru par elektron-dziura w izolatorze krzemowym i  $\text{SiO}_2$ . W momencie zaprzestania ekspozycji, nadmiarowe pary w krzemie szybko rekombinują, podczas gdy w warstwie dwutlenku krzemu elektrony wybijane są z pasma walencyjnego, a następnie przemieszczają się w stronę półprzewodnika. W następstwie nagromadzenia dziur dochodzi do wychwytu ładunków dodatnich w bramce. Konsekwencją tego zjawiska może być przesunięcie napięcia progowego wyłączającego urządzenia, a w efekcie niekontrolowane zatrzymanie. Nagromadzenie ładunku może również powodować przestawienie, bądź zrestartowanie ustawionych parametrów, co może prowadzić do braku stymulacji zgodnej z potrzebami serca, nieregularnej stymulacji, nieprawidłowych wyładować czy utraty funkcji.

Wraz ze wzrostem dawki skumulowanej w urządzeniu rośnie prawdopodobieństwo uszkodzenia urządzenia. Uszkodzenie to może zaistnieć natychmiast po ekspozycji, bądź dopiero po kilku miesiącach po zakończeniu radioterapii. Dysfunkcje jakie mogą zaistnieć to zmniejszenia amplitudy wyjścia, zwiększenia poboru prądu, fałszywą odpowiedź czujnika np. wykrycie niewystępującego bicia serca. Jest to istotne z punktu widzenia planowania radioterapii.

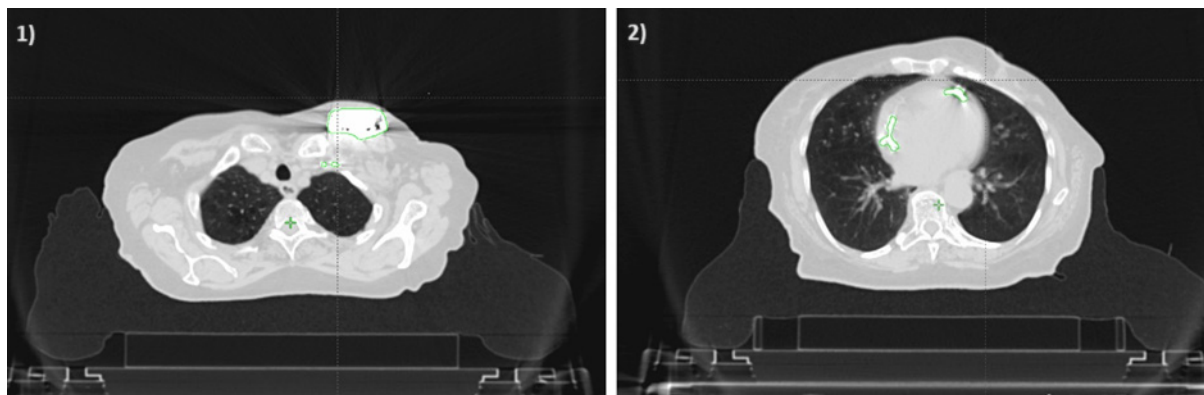
Wysokoenergetyczne fotony  $E \geq 15$  MeV mogą doprowadzić do reakcji fotojądrowej. W metalu stymulatora, bądź elementach akceleratora mogą zostać zaabsorbowane fotony, a następnie wyemitowane neutrony. Wynikiem zajścia tej reakcji może być wystąpienie zakłóceń w pamięci i obwodach logicznych, a w konsekwencji zmiany, bądź całkowita utrata wartości przechowywanych w pamięci mechanizmu, reset urządzenia czy zwiększenie poboru prądu [1][3][5].

## Wytyczne do planowanie radioterapii

W celu uniknięcia niepożądanych dysfunkcji elektronicznego układu stymulującego serce należy podjąć większe środki ostrożności podczas procesu realizacji radioterapii. W 1994 roku powstały pierwsze zalecenia postępowania, opisane w raporcie nr 34 grupy roboczej Amerykańskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej (AAPM, ang. The American Association of Physicists in Medicine) [6]. Wiązki terapeutyczne nie powinny obejmować obszaru rozrusznika, a całkowita dopuszczalna dawka, nie może przekroczyć 2Gy. W raporcie tym, nie ma uwzględnionych różnic pomiędzy urządzeniami różnego typu. Wraz z rozwojem technologii zarówno urządzeń implantowanych, jak i technik radioterapeutycznych wymagał on aktualizacji.

W 2019 roku Polskie Towarzystwo Radioterapii Onkologicznej stworzyło dokładniejsze wytyczne leczenia promieniami jonizującymi pacjentów ze stymulatorami [4]. W dokumencie tym znajdują się zasady kwalifikacji oraz planowania radioterapii. Uwzględnione zostały różne rodzaje rozruszników.

Zaleca on określenie i wrysowanie generatora impulsów oraz elektrod na obrazach z tomografii komputerowej wykorzystywanych do tworzenia planu leczenia, w celu oszacowania dawek jakie otrzymają (rys. 1). Należy dążyć do minimalizowania dawki jakie mogą otrzymać w trakcie realizacji procedury. W tym celu, wykonując plan leczenia dobiera się odpowiednią technikę, skręt głowicy i/lub kolimatora oraz wykorzystuje MLC, osłony oraz kliny. W miarę możliwości należy dobrać tak parametry, aby generator nie znajdował się w polu napromieniania, jeśli jest możliwość przed rozpoczęciem terapii należy rozważyć jego przełożenie. Całkowity okres leczenia powinien być jak najkrótszy - liczba frakcji i liczba wiązek jak najmniejsza. U pacjentów z ICD dopuszczalne są wyłącznie wiązki o energii niższej niż 10MV.



Rysunek 1 1) Generator impulsów 2) elektrody

Ważnym jest obliczenie sumarycznej dawki z całego kursu leczenia zarówno na generator, jak i elektrody oraz ograniczenie ich do ustalonych dawek granicznych (tabela 1). Dawki graniczne są stosunkowo niskie, przez co optymalizacja planów leczenia stanowi duże wyzwanie i wymaga dużej precyzji.

	ICP		ICD		CRT	
	generator	elektrody	generator	elektrody	generator	elektrody
<b>Dawka optymalna</b>	<2Gy	<2Gy	<1Gy	<1Gy	<1Gy	<1Gy
<b>Dawka dopuszczalna</b>	<5Gy	<30Gy	<2Gy	<10Gy	<1Gy	<10Gy

Tabela 1 Dawki graniczne wg “Wytycznych leczenia promieniami jonizującymi pacjentów z układem stymulującym serce”[4]

Każdy pacjent zostaje zakwalifikowany do odpowiedniej grupy ryzyka popromiennego uszkodzenia układu stymulującego serce – tabela 2. W sytuacjach, gdy istnieją wątpliwości do jakiej grupy zakwalifikować pacjenta, wybiera się grupę o wyższym ryzyku.

## GRUPY RYZYKA

Niskie ryzyko	Pośrednie ryzyko	Wysokie ryzyko
<ul style="list-style-type: none"> <li>ICP poza polem napromieniania</li> <li>pacjent stymulatoroniezależny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICP w polu lub w pobliżu pola napromieniania</li> <li>ICD/ICP poza polem napromienianym</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICD/CRT w polu bądź w pobliżu pola napromieniania</li> <li>przekroczenie dawek optymalnych</li> </ul>

Tabela 2 Grupy ryzyka popromiennego uszkodzenia układu stymulującego serca [4].

Podczas pierwszej frakcji zaleca się wykonanie dozymetrii in vivo z okolicy generatora impulsów, a następnie co najmniej raz w tygodniu [4]. Codziennie pacjenta należy obserwować wizualnie oraz dokonywać pomiaru tętna i ciśnienia tętniczego. U chorych z pośredniej i wysokiej grypy ryzyka musi być dostępny zewnętrzny defibrylator.

## Wnioski

Planowanie leczenia radioterapeutycznego u pacjentów posiadających rozrusznik serca jest dużym wyzwaniem. Istnieje wiele czynników ryzyka, jednak posiadanie elektronicznego układu stymulującego pracę serca nie powinno być przeciwwskazaniem do wdrożenia leczenia. Bezpieczna praktyka lekarska wymaga zastosowania się do istniejących wytycznych oraz monitorowanie pacjenta w trakcie terapii. Zarówno etap planowania, jak i realizacji radioterapii powinien być dokładnie przeanalizowany pod kątem zminimalizowania ryzyka uszkodzenia stymulatora.

## Konflikt interesu / Conflict of interest

Nie występuje. / None.

## Etyka / Ethics

Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helsińskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych. / The content presented in the article is consistent with the principles of the Helsinki Declaration, EU directives and unified requirements for biomedical magazines.

## Bibliografia

- [1] Miften, Moyed, et al. "Management of radiotherapy patients with implanted cardiac pacemakers and defibrillators: a report of the AAPM TG-203." *Medical physics* 46.12 (2019): e757-e788.
- [2] E. Ziółkowska, T. Wiśniewski, M. Zarzycka, A. Meller, A. Woźniak-Wiśniewski, „Zastosowanie radioterapii u chorych ze stymulatorem serca Część I. Budowa i zastosowanie stymulatorów serca”, *Współczesna Onkologia* (2008) vol. 12; 9 (395–399)
- [3] W. Jakrzewska, P. Czajkowski, „Oszacowanie dawek pochłoniętych przez układy stymulujące pracę serca podczas radioterapii sterowanej obrazem.”, *Inżynier Fizyk Medyczny* (2023) vol. 23; (45-48)
- [4] [https://kipdf.com/polskietowarzystworadioterapiionkologicznej\\_5aedb4877f8b9adb908b45ea.html](https://kipdf.com/polskietowarzystworadioterapiionkologicznej_5aedb4877f8b9adb908b45ea.html)
- [5] Last, A. "Radiotherapy in patients with cardiac pacemakers." *The British journal of radiology* 71.841 (1998): 4-10.
- [6] Marbach, J. R., et al. "Management of radiation oncology patients with implanted cardiac pacemakers: Report of AAPM Task Group No. 34." *Medical physics* 21.1 (1994): 85-90.
- [7] Tajstra, Mateusz, et al. „Chorzy z implantowanym urządzeniem do elektroterapii serca poddawani radioterapii w warunkach polskich.” *Kardiologia Polska (Polish Heart Journal)* 77.III (2019): 82-89.
- [8] Ilangovan, Bhargavi, et al. „Radiotherapy for patients with cardiovascular implantable electronic device-a single institutional experience.” *IHJ Cardiovascular Case Reports (CVCR)* 6.1 (2022): 16-20.
- [9] Sundar, S., R. P. Symonds, and C. Deehan. „Radiotherapy to patients with artificial cardiac pacemakers.” *Cancer treatment reviews* 31.6 (2005): 474-486.
- [10] Solan, Amy N., et al. „Treatment of patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy.” *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics* 59.3 (2004): 897-904.
- [11] Soejima, Toshinori, et al. „Radiation therapy in patients with implanted cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators: a prospective survey in Japan.” *Journal of radiation research* (2011) 52: 516–521