

W ciągu ostatnich lat obserwuje się wzrost zachorowalności na choroby serca i tym samym rośnie liczba pacjentów, którzy wymagają wszczepienia stymulatorów (ang. *implantable cardiac pacemakers* – ICPs) i implantowanych kardiowerterów-defibrylatorów (ang. *implantable cardioverter-defibrillators* – ICDs). Głównymi wskazaniami do wszczepienia stymulatora są: bradykardia i jej objawy w postaci omdlenia, stanu przedomdleniowego lub bloki przedsionkowo-komorowe. Działanie przyspieszacza liniowego może powodować uszkodzenie stymulatora na skutek działania promieniowania jonizującego lub elektromagnetycznego. Obecnie stosuje się nowoczesne stymulatory, które zawierają zespół półprzewodników o wysokiej wrażliwości na promieniowanie jonizujące. Mimo dużej wiedzy na temat budowy stymulatorów i ich pracy, nadal konieczne są środki ostrożności, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia zaburzeń rytmu u chorych z ICP i ICD podczas radioterapii. Celem pracy jest zapoznanie lekarzy onkologów z budową i pracą stymulatorów serca oraz przedstawienie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego u pacjentów onkologicznych poddanych radioterapii.

Słowa kluczowe: kardiowerter-defibrylator, stymulator, promieniowanie jonizujące, radioterapia.

Zastosowanie radioterapii u chorych ze stymulatorem serca

Część I. Budowa i zastosowanie stymulatorów serca

Radiating therapy in patients with a cardiac pacemaker or cardioverter

Part I. The structure and mechanism of cardiac pacemakers

Ewa Ziótkowska¹, Tomasz Wiśniewski¹, Małgorzata Zarzycka¹, Aleksandra Meller², Anita Woźniak-Wiśniewska³

¹Oddział Radioterapii I, Centrum Onkologii im. F. Łukaszczyka w Bydgoszczy

²Zakład Teleradioterapii, Centrum Onkologii im. F. Łukaszczyka w Bydgoszczy

³Oddział Kardiologii z Zakładem Diagnostyki Kardiologicznej, Szpital Uniwersytecki Nr 2 im. dr. J. Bizuela w Bydgoszczy

Wstęp

W ciągu ostatnich lat obserwuje się wzrost zachorowalności na choroby serca i tym samym rośnie liczba pacjentów, którzy wymagają wszczepienia stymulatorów (ang. *implantable cardiac pacemakers* – ICPs) i implantowanych kardiowerterów-defibrylatorów (ang. *implantable cardioverter-defibrillators* – ICDs). Rocznie ok. 300 tys. pacjentów z chorobami serca na całym świecie kwalifikuje się do tego typu zabiegu. W Polsce żyje ponad 100 tys. osób z wszczepionym kardiostymulatorem, a liczba implantacji w ciągu roku dochodzi do ok. 9500. Przekłada się to na stopniowy wzrost liczby pacjentów z wszczepionym stymulatorem lub kardiowerterem-defibrylatorem poddawanych radioterapii. Ze względu na lokalizację sztuczne stymulatory serca stanowią problem w radioterapii chłoniaków, sutka, płuc, głowy i szyi, tarczycy oraz przełyku [1]. Również w przypadku napromieniania nowotworów zlokalizowanych w odległych od stymulatora okolicach ciała należy zachować ostrożność i stworzyć określone warunki bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego. Celem pracy jest zapoznanie lekarzy onkologów z budową i pracą stymulatorów serca oraz przedstawienie wytycznych dotyczących napromieniania pacjentów onkologicznych z rozrusznikiem serca.

Budowa i podział stymulatorów

Sztuczny rozrusznik serca (stymulator) to urządzenie elektryczne, które inicjuje czynność elektryczną serca za pomocą prądu elektrycznego. Najwcześniejsze próby elektrostymulacji serca sięgają roku 1871. Pierwszy zewnętrzny rozrusznik serca zbudował John Hopps w 1950 r., natomiast wewnętrzny rozrusznik wszczepili Ake Senning i Elmqvist 8 października 1958 r. w Sztokholmie [2].

Każdy rozrusznik składa się z układu zasilania (baterie litowe), układu rejestracji (uproszczony odczyt EKG), generatora impulsów oraz elektrody. Często występuje także programator kontrolujący takie parametry, jak częstotliwość rytmu, napięcie i czas trwania impulsu oraz czułość [1].

Stymulatory dzieli się na 3 grupy:

1. Zewnętrzne tymczasowe, stosowane w przejściowej, objawowej bradyarytmii (głównie na skutek zawału serca lub polekowych zaburzeń przewodzenia) lub celem zabezpieczenia pacjenta do czasu założenia stymulatora wewnętrznego.

With an aging population and the increased use of pacemakers (ICPs) and implantable cardioverter-defibrillators (ICDs), the incidence of patients presenting for radiation therapy with a pacemaker or ICD is increasing. ICDs are pacemakers that are also able to deliver a high voltage shock in case of a life-threatening ventricular tachycardia or ventricular fibrillation. The usual indication for placement of an ICP is the presentation of bradycardia and its resultant symptoms of syncope, semi-syncope or atrioventricular block. Therapeutic irradiation may cause pacemakers to malfunction due to the effects of ionizing radiation or electromagnetic interference. Modern pacemakers, using complementary metal oxide semiconductor (CMOS) circuitry, are more sensitive than older bipolar semiconductor devices. Precautions are necessary to minimize the risk to patients with ICP and ICD devices during radiotherapy. The aim of the study is to introduce oncologists to the construction and operation of pacemakers and performance conditions of the safe use of ionizing radiation in oncological patients with pacemakers during radiation therapy.

Key words: cardioverter-defibrillator, pacemaker, ionizing radiation, radiotherapy.

- Wyróżniamy trzy możliwe sposoby stymulacji tymczasowej:
- przeskórną, która obecnie jest rzadko stosowana ze względu na bolesne odczucia,
 - przezprzełykową, którą również rzadko się stosuje ze względu na dyskomfort pacjenta w trakcie stymulacji,
 - wewnątrzsercową – elektroda jest założona do jamy serca przez wklecie do żyły podobojczykowej, natomiast generator impulsów znajduje się na zewnątrz i jest wielkości 10 × 5 cm (ryc. 1).
2. Wewnętrzne state – mają bardzo małe wymiary – 5 × 5 × 1 cm i wagę <400 g (ryc. 2., 3.). Generator wszczepiany jest pod skórę – z reguły w okolicy podobojczykowej lewej w przestrzeni podskórnej nad mięśniem piersiowym. Elektrody umieszcza się drogą żylną, zazwyczaj przez żyłę podobojczykową lewą i żyłę główną górną w kierunku prawej komory lub prawego przedsionka, pod kontrolą rentgenoskopii. Końcówka elektrody zaopatrzona jest w silikonowe haczyki lub ząbki zaprojektowane tak, aby wklinać się po-



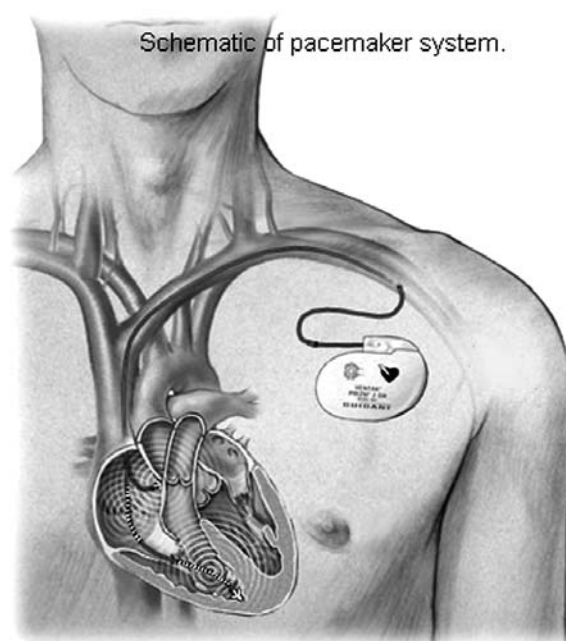
Ryc. 1. Stymulator zewnętrzny – stymulacja wewnątrzsercowa

Fig. 1. External pacemaker – intracardial stimulation



Ryc. 2. Stymulator wewnętrzny

Fig. 2. Internal pacemaker



Ryc. 3. Schemat układu stymulatora

Fig. 3. Schematic diagram of pacemaker system

między beleczki mięśniowe. Elektrody pozostają w kontakcie z mięśniem sercowym, dostarczając mu impulsy elektryczne i jednocześnie mierząc napięcie elektryczne serca. Przeciętny czas pracy baterii wynosi 7–10 lat.

3. Kardiowertery-defibrylatory – zostały po raz pierwszy wszczępione w 1980 r., a w 2001 r. ich liczbę oszacowano na ok. 30 tys. sztuk na świecie. W sposób ciągły monitorują rytm serca i w przypadku wykrycia poważnej arytmii regulują pracę serca poprzez impuls elektryczny (defibrylacja, kardiowersja, stymulacja z wysoką częstotliwością). Są wskazane dla pacjentów z ryzykiem nagłej śmierci sercowej. Wymagają wymiany co 4–8 lat. Mają wiele różnorodnych funkcji:

- rozpoznawanie tachyarytmii i bradyarytmii,
- defibrylację wysokoenergetyczną do przerywania migotania komór,
- kardiowersję niskoenergetyczną do przerywania częstoskurczu komorowego,
- stymulację antyarytmiczną do przerywania częstoskurczu komorowego,
- stymulację przeciwiwo bradykardii,
- pamięć holterowską z możliwością odtworzenia elektrokardiogramu [1–5].

Stymulatory starszej generacji zbudowane z dwubiegowego półprzewodnika i charakteryzujące się prostotą budowy oraz dużą opornością na uszkodzenia popromienne nie są już używane. Nowoczesne stymulatory zawierają w swojej budowie zespół obwodów półprzewodnikowych opartych na krzemie (ang. *complimentary-metal-oxide silicon* – CMOS), który warunkuje większą wrażliwość na promieniowanie jonizujące [1, 5].

W celu ułatwienia i ujednoczenia przekazu informacji o specyficznych cechach różnego typu stymulatorów stosuje się pięcioletni kod, w którym poszczególne pozycje oznaczają ściśle określone cechy i funkcje stymulatora. Często używa się wersji skróconej, składającej się z 3 pierwszych liter, opisujących najważniejsze funkcje stymulatora.

W przeszłości najczęściej wszczępiano stymulatory typu VVI. Obecnie rzadko się je stosuje ze względu na utratę synchronii skurczów przedsionków. Może to powodować tzw. zespół stymulatorowy, w którym występuje skurcz przedsionków przy zamkniętych zastawkach przedsionkowo-komorowych, co skutkuje zmniejszeniem rzutu serca. Prowadzi to

do objawów, takich jak: omdlenia, zawroty głowy, męczliwość, uczucie dławienia w gardle. Bardziej fizjologiczne są typy AAI, VDD, DDD. W wyjątkowych sytuacjach (np. terapia resynchronizacyjna w niewydolności serca) prowadzi się stymulację dwukomorową, wtedy lewa komora jest stymulowana przez elektrodę umieszczoną w żyłę wieńcowej (poprzez zatokę wieńcową). Dzięki odpowiedniemu zaprogramowaniu urządzenia można przywrócić synchroniczny skurcz pomiędzy wolną ścianą lewej komory i przegrodą międzykomorową, co poprawia wydajność pracy lewej komory [2, 6].

Zastosowanie

Z zasady stymulatory serca (ICP) stosuje się u chorych z zaburzeniami automatyzmu i przewodnictwa elektrycznego w mięśniu sercowym, głównie w objawowej bradykardii lub blokach przedsionkowo-komorowych II i III stopnia. Warunkiem koniecznym do implantacji stałego rozrusznika serca jest występowanie zaburzeń rytmu, które cechują się nieodwracalnością, niosą poważne zagrożenia dla życia lub zdrowia pacjenta i powodują dokuczliwe objawy.

Kardiowerter-defibrylator (ICD) jest urządzeniem bardziej skomplikowanym i droższym. Jego działanie polega na dostarczeniu odpowiedniej energii elektrycznej do serca w przypadku groźnych tachyarytmii. Urządzenia te stosuje się w pierwotnej i wtórnej prewencji nagłej śmierci sercowej. W migotaniu komór ICD wykonuje defibrylację wewnątrzsercową, natomiast gdy wystąpi częstoskurcz komorowy, to energia dostarczana do serca jest sprzężona z załamkiem R i taki proces nosi nazwę kardiowersji. Stąd też nazwa urządzenia [2, 7].

Tryb testowy stymulatora

Obecnie produkowane stymulatory pracują na zasadzie ciągłej analizy pracy serca i dopiero po wykryciu zaburzeń rytmu serca zaczynają wysyłać własne impulsy, które ukazują się w elektrokardiogramie w postaci charakterystycznych iglic. Przy prawidłowej pracy serca stymulator nie wysyła impulsów, więc w elektrokardiogramie nie można zobaczyć efektów jego działania. Aby sprawdzić pracę stymulatora, należy wykonać elektrokardiogram po przyłożeniu magnesu nad generatorem impulsów (puszczka umieszczona podskórnie pod obojczykiem). Uruchamia się wtedy tryb testowy – stymulator pracuje ze stałym, ściśle

Tabela 1. Kody literowe stymulatorów [5, 6]

Table 1. Pacemaker codes [5, 6]

| Pierwsza litera miejsce stymulacji | Druga litera miejsce wykrywania impulsów kardiopowych | Trzecia litera tryb odpowiedzi | Czwarta litera możliwość programowania | Piąta litera funkcja przeciwyarytmiczna |
|---|---|---|--|--|
| A – prawy przedsionek (atrium) | A – prawy przedsionek (atrium) | I – hamowany impulsem kardiopowym (<i>hibited</i>) | P – programowanie 1–2 funkcji (<i>programmable</i>) | B – krótkie serie impulsów (<i>burst</i>) |
| V – prawa komora (ventricle) | V – prawa komora (ventricle) | D – wyzwany przy braku impulsu kardiopowego (<i>demand</i>) | M – wielofunkcyjny (<i>multifunctioning</i>) | S – impulsy o określonym sprężeniu (<i>scanning</i>) |
| D – prawa komora i przedsionek (<i>dualchambre</i>) | D – prawa komora i przedsionek (<i>dualchambre</i>) | T – zsynchronizowany z własnym impulsem (<i>triggering</i>) | O – bez możliwości programowania | E – funkcje kontrolowane z zewnątrz (<i>extern</i>) |

określonym rytmem, niezależnym od częstości pracy serca. Częstość pracy trybu testowego jest określona w specjalnej karcie stymulatora, którą powinien mieć każdy pacjent z rozrusznikiem serca. Z reguły wykonuje się badania kontrolne co 6 mies., podczas których sprawdza się aktualną częstość testową z tą wpisaną w karcie. Zmniejszenie częstości pracy o ponad 10% oznacza wyczerpywanie się baterii i wiąże się z koniecznością wymiany stymulatora. Przyłożenie magnesu umożliwia również szybkie przerwanie niektórych zaburzeń pracy stymulatora.

Magnes umieszczony nad kardiowerterem-defibrylatorem najczęściej wyłącza program przeciwdziałania groźnym tachyarytmom i wtedy kardiowersja lub defibrylacja nie są możliwe, pozostają natomiast funkcje zwykłego stymulatora. Wszystko powraca do stanu wyjściowego po zdjęciu magnesu [8].

Możliwe typy zaburzeń pracy stymulatora:

- defekt detekcji – nieprawidłowe wykrywanie własnych impulsów elektrycznych:
 - *undersensing* – rozrusznik nie wyczuwa pobudeń pochodzących z serca i mimo prawidłowego rytmu wyzwała impulsy,
 - *oversensing* – rozrusznik wyczuwa potencjały zewnątrzsercowe, np. z mięśni szkieletowych, i nie wyzwała impulsów mimo bradykardii,
- blok wyjścia – w zapisie EKG widoczne impulsy stymulatora, które nie prowadzą do depolaryzacji komórek (brak zespołów QRS),
- częstoskurcz stymulatorowy – głównie w stymulatorach typu DDI – stymulacja przedsionka przez przewodzone wstecznie ektopowe pobudzenie komorowe wykryte przez rozrusznik i ponowna stymulacja komory – proces ten przerywa magnes przyłożony do generatora impulsów.
- wyczerpanie baterii – objawia się zmniejszeniem częstości testowej wyzwalanej magnesem o ponad 10%,
- do prawie już niespotykanych i niebezpiecznych powikłań stymulacji należy nieoczekiwane przyspieszenie rytmu rozrusznika (*rozrusznik zerwany z uwięzi* – *runaway pacemaker*) sięgające 200–400, a nawet 1000 impulsów na minutę – obecnie jedyną praktycznie przyczyną tego zjawiska jest radioterapia bez odpowiedniej osłony generatora. W przypadku ujawnienia się tego zaburzenia trzeba natychmiast przyłożyć magnes nad generatorem, a gdy zabieg ten nie przyniesie korzyści, należy natychmiast chirurgicznie przeciąć elektrodę. Pomimo szybkiej interwencji zaburzenie to jest obarczone dużą śmiertelnością [5, 7, 9, 10],
- specyficzne dla ICD:
 - nieuzasadnione wyładowania – w przebiegu tachykardii zatokowej, migotania przedsionków, częstoskurczu nadkomorowego, zliczania załamek T,
 - burze elektryczne – kilka wyładowań w ciągu doby na skutek uporczywie nawracającej arytmii.

Wpływ środowiska zewnętrznego na pracę stymulatorów serca

Obserwowano nieprawidłowe wyładowania ze stymulatora, gdy pacjent znajdował się w pobliżu pracującego silnika lub ciężkiego sprzętu przemysłowego. Prawdopodobnie zaburzenia pracy rozrusznika powstały na skutek oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego wytworzone-

go przez ten sprzęt [11]. Telefony komórkowe również wytwarzają promieniowanie elektromagnetyczne zdolne zaburzyć pracę rozrusznika serca, ze względu na niewielką odległość, w jakiej znajdują się od stymulatora. Z reguły obserwowane zaburzenia pracy rozrusznika były przejściowe, a za bezpieczną uważa się odległość ponad 10 cm od stymulatora – wystarczy więc rozmawiać przez prawe ucho i nie nosić telefonu w pobliżu serca, np. w wewnętrznej kieszeni marynarki [12, 13]. Odnotowano nieprawidłową pracę stymulatorów w pobliżu urządzeń zabezpieczających przed kradzieżą, jakie występują np. w supermarketach w pobliżu kas. Powinno się unikać opierania o nie lub dłuższego przebywania w ich pobliżu. Jeżeli chory przechodzi obok urządzenia normalnym krokiem, jego wpływ jest praktycznie niemożliwy [14, 15]. Z kolei wykrywacze metalu używane m.in. na lotniskach nie zaburzą pracy stymulatorów [16]. Podobnie nie wykazano zakłóceń pracy rozruszników podczas wykonywania zdjęć rentgenowskich i tomografii komputerowej [17], natomiast takie procedury medyczne, jak rezonans magnetyczny, pozytonowa tomografia emisyjna, litotrypsja, radioterapia mają udowodniony wpływ na pracę stymulatorów serca [18–20].

Wpływ radioterapii

Pacjenci poddani radioterapii z akceleratorów liniowych znajdują się pod wpływem dwóch rodzajów promieniowania.

Promieniowanie elektromagnetyczne niejonizujące

Jest to rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego, o charakterze fali poprzecznej, w której składowa elektryczna i magnetyczna są prostopadłe do siebie i kierunku ruchu oraz nawzajem się przekształcają. Źródłem promieniowania jest drgający lub przyspieszany ładunek elektryczny, czyli w przypadku akceleratorów jest to głównie klystron lub magnetron (urządzenia odpowiedzialne za przyspieszenie ładunku elektrycznego). Największe natężenie tego promieniowania obserwuje się w momencie włączania i wyłączenia się przyspieszacza liniowego. Stymulator serca może odbierać zaburzenia pola elektromagnetycznego jako potencjał z mięśnia sercowego, co może skutkować następującymi nieprawidłowościami w pracy tych urządzeń: zaburzeniami detekcji w postaci *oversensing*, blokiem wyjścia, stymulacją ze stałym rytmem lub bardzo rzadko przeprogramowaniem urządzenia. Na szczęście większość zaburzeń jest odwracalna po wyłączeniu pola elektromagnetycznego. Ciągłe udoskonalanie budowy akceleratorów prowadzi do zmniejszenia emisji promieniowania elektromagnetycznego. Obecnie istnieje tendencja do pomijania wpływu tego promieniowania jako możliwej przyczyny zaburzenia pracy stymulatora serca. Odmienna sytuacja jest z kardiowerterami, które są ok. 5–10 razy czulsze na wpływ zewnętrznego pola elektromagnetycznego. W ich przypadku zaleca się wyłączenie funkcji przeciwarytmicznej przed radioterapią, aby nie doszło do przypadkowego wyładowania w trakcie napromieniania [8, 21–25].

Promieniowanie jonizujące

Promieniowanie jonizujące, oddziałując z materią, powoduje powstanie w niej jonów. Dzieli się je na:

- promieniowanie korpuskularne, inaczej cząsteczkowe – w radioterapii wykorzystuje się głównie promieniowanie β (elektrony),
- elektromagnetyczne (fotonowe), do którego zalicza się promieniowanie γ powstające na skutek rozpadu jąder pierwiastków promieniotwórczych lub promieniowanie typu rentgenowskiego powstające w przyspieszaczach liniowych.

Wpływ promieniowania jonizującego na pracę stymulatorów jest trudny do oszacowania. Zaburzenia powstają prawdopodobnie na skutek jonizacji metalowych elementów w układach elektronicznych. Nowsze generacje rozruszników cechują się bardziej skomplikowaną budową i wykorzystaniem delikatniejszych układów elektronicznych, co skutkuje ich większą wrażliwością na promieniowanie jonizujące. Ich podzespoły są oparte na krzemie, który pod wpływem promieniowania jonizującego traci elektrony z powłok kowalencyjnych, co może skutkować zaburzeniami w pracy całego układu elektronicznego. Najczęściej obserwowano zmianę częstości pracy urządzenia, ale występowały także zaburzenia w pamięci urządzenia objawiające się przeprogramowaniem lub zresetowaniem ustawionych parametrów (szczególnie w kardiowerterach-defibrylatorach), a nawet całkowite zaprzestanie działania stymulatora. W przeciwieństwie do promieniowania elektromagnetycznego skutki promieniowania jonizującego są często nieodwracalne i podlegają kumulacji. Z tego względu dostępne zalecenia odradzają radioterapię z rozrusznikiem serca w polu napromienianym [8, 26]. Trzeba jednak pamiętać, że nawet jak stymulator znajduje się poza polem napromienianym to może podlegać wpływom promieniowania rozproszonego oraz przeciwku promieniowania przez osłony i to powinno się uwzględnić przy planowaniu leczenia [8, 22, 23, 26].

Podsumowanie

Dotychczas uważano, iż pacjenci z rozrusznikiem serca nie stanowią istotnego problemu klinicznego, ponieważ sytuacja dotycząca napromieniania takich chorych zdarzała się rzadko. Jednak wzrost zachorowalności na nowotwory złośliwe powoduje konieczność szerszego stosowania radioterapii, również u pacjentów obciążonych kardiologicznie. Obecnie czas przeżycia chorych na nowotwory złośliwe wydłuża się, więc populacja pacjentów ze stymulatorem serca będzie coraz częściej obserwowana w leczeniu onkologicznym. Dlatego też stosowanie rozrusznika serca nie powinno ograniczać leczenia przeciwnowotworowego. Planując radioterapię, należy jedynie podjąć większe środki ostrożności i częściej monitorować takich pacjentów, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia zaburzeń rytmu serca u chorych z ICP i ICD.

Piśmiennictwo

- Sundar S, Symonds RP, Deehan C. Radiotherapy to patients with artificial cardiac pacemakers. *Cancer Treat Rev* 2005; 31: 474-86.
- Trusz-Gluza M. Zaburzenia rytmu i przewodzenia – elektrostymulacja serca. W: *Choroby wewnętrzne*. Szczeklik A (red.). Tom I. Medycyna Praktyczna, Kraków 2005; 224-6.
- O'Connor S, Baker T. *Practical Cardiology: An Approach to the Management of Clinical Problems*. Via Medica, Gdańsk 2001; 113-9.
- Fischer W, Ritter P. *Cardiac pacing in clinical practice*. Springer, New York 1998.
- Dąbrowska B, Dąbrowski A. Sztuczna stymulacja serca. W: *Podręcznik elektrokardiografii*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2005; 221-43.
- Hayes DL, Zipes DP. *Stymulatory serca i kardiowertery-defibrylatory*. W: *Choroby serca*. Braunwald. Tom 2. Braunwald E, Bonow RO, Zipes DP, Libby P. (red.). Banasiak W (red. wyd. pol.). Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2007.
- Braun J, Steirle U. *Elektrostymulacja serca*. W: *Poradnik lekarza praktyka*. Braun J (red.). Ścioborski R (red. wyd. pol.). Ossolineum, Wrocław 1999.
- Solan AN, Solan MJ, Bednarz G, et al. Treatment of patient with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004; 3: 897-904.
- Cardall T, Brady W, Chan T, Perry J, Yilke G, Rosen P. Permanent cardiac pacemakers: issues relevant to the emergency physicians. Part II. *J Emerg Med* 1999; 17: 697-709.
- Griffin J, Smithline H, Cook J. Runaway pacemaker: A case report and review. *J Emerg Med* 2000; 19: 177-81.
- Crystal RG, Kastor JA, DeSanctis RW. Inhibition of discharge of an external demand pacemaker by an electric razor. *Am J Cardiol* 1971; 27: 695-7.
- Hayes DL, Wang P J, Reynolds DW, et al. Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones. *N Engl J Med* 1997; 336: 1473-9.
- Fetter JG, Ivans V, Benditt DG, Collins J. Digital cellular telephone interaction with implantable cardioverter-defibrillators. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 623-8.
- Mclvor ME, Sridhar S. Interactions between cardiac pacemakers and antishoplifting security systems. *N Engl J Med* 1998; 339: 1394-5.
- Groh WJ, Bosch SA, Engelstein ED, et al. Interactions between electronic surveillance systems and implantable cardioverter-defibrillators. *Circulation* 1999; 100: 387.
- Copperman Y, Zarfati D, Laniado S. The effect of metal detector gates on implanted permanent pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 1988; 11: 1386-7.
- Blamires NG, Myatt J. X-ray effects on pacemaker type circuits. *Pacing Clin Electrophysiol* 1982; 5: 151-5.
- Luechinger R, Duru F, Zeijlemaker VA, Scheidegger MB, Boesiger P, Candinas R. Pacemaker reed switch behavior in 0.5, 1.5, and 3.0 Tesla magnetic resonance imaging units: are reed switches always closed in strong magnetic fields? *Pacing Clin Electrophysiol* 2001; 24: 199-205.
- Drach GW, Weber C, Donovan JM. Treatment of pacemaker patients with extracorporeal shock wave lithotripsy: experience from 2 continents. *J Urol* 1990; 143: 895-6.
- Mouton J, Haug R, Bridier A, Dodinot B, Eschwege F. Influence of high-energy photon beam irradiation on pacemaker operation. *Phys Med Biol* 2002; 47: 2879-93.
- Quertermous T, Megahy MS, Das Gupta DS, Griem ML. Pacemaker failure resulting from radiation damage. *Radiology* 1983; 148: 257-8.
- Lee RW, Huang SK, Mechling E, Bazgan I. Runaway atrioventricular sequential pacemaker after radiation therapy. *Am J Med* 1986; 81: 883-6.
- Last A. Radiotherapy in patients with cardiac pacemakers. *Br J Radiol* 1998; 71: 4-10.
- Calfee RY. Therapeutic radiation and pacemakers. *PACE* 1982; 5: 160-1.
- Piński SL, Trohman RG. Interference with cardiac pacing. *Cardiol Clin* 2000; 18: 219.
- Marbach JR, Meoz-Mendez RT, Huffman JK, Hudgins PT, Almond PR. The effects of cardiac pacemakers of ionizing radiation and electromagnetic interference from radiotherapy machines. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1978; 4: 1055-8.

Adres do korespondencji

dr med. **Ewa Ziółkowska**
 Oddział Radioterapii I
 Centrum Onkologii im. F. Łukaszczyka
 ul. I. Romanowskiej 2
 85-796 Bydgoszcz
 tel. +48 52 374 33 74
 e-mail: ziolkowskae@co.bydgoszcz.pl