

Życie ze wszczepialnym urządzeniem kardiologicznym

Living with an implantable cardiac device

**Przemysław Sawicki¹, Piotr Malyszka¹, Łukasz Wołowicz¹, Bartosz Górny¹,
Małgorzata Chudzińska², Walery Zukow³, Władysław Sinkiewicz¹**

¹II Katedra Kardiologii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

²Zakład Podstaw Prawa Medycznego, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

³Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Streszczenie

Liczba pacjentów z implantowanymi urządzeniami kardiologicznymi (z ang. cardiac implantable electronics devices CIEDs) wzrasta bardzo gwałtownie. Jest to wynik między innymi starzejącej się populacji, ale również coraz nowszych i bardziej skomplikowanych urządzeń. Ponadto rozszerzane są wskazania do zabiegów, dzięki licznym publikacjom w których dowiedziono skuteczności takiego postępowania w zmniejszaniu śmiertelności i zachorowalności. Wraz z rozwojem technologicznym jaki ma obecnie miejsce, rośnie liczba potencjalnych źródeł powodujących zakłócenia pracy urządzeń wszczepialnych. Zalecane dotychczas środki ostrożności mogą być już nieaktualne. Opracowanie to ma na celu przybliżyć lekarzowi stykającemu się z pacjentami z CIEDs oraz ogólnej populacji rodzaje implantowanych urządzeń, ukazać potencjalne źródła interferencji elektromagnetycznych (z ang. electromagnetic interference, EMI) i ich wpływ na pracę urządzeń. Ponadto zaktualizować przeciwwskazania i zoptymalizować postępowanie w różnych sytuacjach dnia codziennego i procesie leczenia.

Kluczowe słowa: stymulator, kardiowerter – defibrylator, terapia resynchronizująca, urządzenie do wspomaganie lewej komory, interferencje elektromagnetyczne

Abstract

The number of patients with implantable cardiac devices (CIEDs) is rapidly increasing. One of the reason behind this phenomenon is aging population and sophisticated treatment of coronary artery disease but also new technologies are continually evolving. Indication for the implantation are changing following new trials results proving the reduction of mortality and morbidity rates. With the technological development that is currently taking place, there is a growing number of electromagnetic signals which can potentially create electromagnetic interference (EMI) with cardiac devices. This study aims to bring closer the matter of living with cardiac device to all kind of medical staff and patients, with special regard to potential sources of electromagnetic interference and its effect on cardiac devices. The paper also updates contraindications and optimize management in a variety of “real life” situations.

Key words: pacemaker, cardioverter – defibrykator, cardiac resynchronization therapy, ventricular assist device, electromagnetic interference

Wstęp

Z każdym rokiem przybywa pacjentów z kardiologicznymi urządzeniami wszczepialnymi (z ang. cardiac implantable electronics devices CIEDs). Do urządzeń tych zaliczamy: stymulatory serca (z ang. pacemaker – PM), kardiowertery – defibrylatory (z ang. cardioverter –defibrylator – ICD), terapię resynchronizującą (cardiac resynchronization therapy – CRT) oraz urządzenia do wspomaganie komór (ventricularassistdevice – VAD). Postęp technologiczny sprawia, że równocześnie ze wzrostem liczby CIEDs pojawiają się nowe urządzenia elektroniczne. Potencjalnie każde z nich może być źródłem zakłócenia pracy wszepionego urządzenia. Interferencje elektromagnetyczne u pacjenta z implantowanym urządzeniem kardiologicznym, to zakłócenia działania układu spowodowane przez sygnały elektryczne, elektromagnetyczne i magnetyczne o nefizjologicznym pochodzeniu. [1] Czynniki zakłócające możemy podzielić takie które wymagają kontaktu ze skórą np.: kardiowersja/defibrylacja, elektrokoagulacja, jonoforeza oraz na takie które tego kontaktu nie wymagają np.: telefon komórkowy, spawarka łukowa, wykrywacze metalu,

rezonans elektromagnetyczny, dźwigi magnetyczne. Interferencje mogą zostać wywołane przez następujące źródła energii:

- przepływ,
- oddziaływanie pól elektromagnetycznych,
- oddziaływanie pola magnetycznego,
- promieniowanie jonizujące (stosowane w leczeniu nowotworów),
- fale akustyczne (stosowane dla rozbijania kamieni nerkowych i żółciowych),
- energię cieplną (wytwarzana w tkankach przy diatermii elektrycznej),
- ciśnienie np.: wywierane przez wodę na stymulator przy nurkowaniu swobodnym [2].

Według rejestru MAUDE prowadzonego przez FDA (z ang. Food and Drug Administration) przez ostatnie 4 lata w Stanach Zjednoczonych odnotowano 1656 przypadki nieprawidłowego działania urządzeń medycznych spowodowanych zakłóceniami elektromagnetycznymi. [3]

Stymulator

Stymulator (z ang. pacemaker PM) to urządzenie służące do pobudzania mięśnia sercowego za pomocą impulsów elektrycznych. Zbudowane jest z generatora impulsów zawierającego komputer sterujący. Najczęstszym miejscem implantacji jest lewa okolica podobojczykowa, urządzenie zlokalizowane jest w specjalnie wytworzonej kieszonce podskórnej na mięśniu piersiowym większym. Z generatorem impulsów łączy się elektroda bądź elektrody, których dystalne końce są przeżylnie zakotwiczone w mięśniu sercowym. Dotychczas urządzenia dzieliło się na jednojamowe oraz dwujamowe w zależności od ilości umieszczonych elektrod w sercu. Urządzenia jednojamowe składają się ze stymulatora oraz jednej elektrody umieszczonej w prawej komorze, dwujamowe natomiast posiadają dodatkowo elektrodę w prawym przedsionku. Nowym rodzajem PM jest bezelektrodowy stymulator serca, w odróżnieniu od dotychczasowych urządzeń pozbawiony przezżylniej elektrody tj. najślabszego ogniwa układu. W 2014 roku w Polsce implantowano 28740 urządzeń, w przeliczeniu na milion mieszkańców 743 (dla porównania w Czechach 891/mln, w Niemczech 1156/min, we Francji 1029/mln). Średni czas oczekiwania na zabieg wynosi około 20 tygodni. [4] Podstawowe wskazania do zabiegu zawarte są w wytycznych opublikowanych przez Europejskie Towarzystwo Kardiologiczne (z ang. European Society of Cardiology, ESC), a są to między innymi objawowa choroba węzła zatokowego, bloki przedsionkowo-komorowe II stopnia typu 2 oraz III stopnia.

Tytanowa obudowa współczesnego stymulatora w pewnym stopniu chroni układy przed wpływem fal elektromagnetycznych. Elektroda stymulacyjna stanowi jakby antenę

zdolną odbierać i przekazywać energię do stymulatora. Początkowo stosowano elektrody jednobiegunowe, obecnie standardem są dwubiegunowe elektrody które odbierają energię tylko niewielkim, dystalnym odcinkiem (pierścieniem), przez co są mniej podatne na zakłócenia [1-2,5]. Odebrane przez elektrodę potencjały pozasercowe, powstałe w elektrodzie w następstwie dostatecznie silnych fal elektrycznych bądź przepływających przez ciało prądów galwanicznych, jeżeli nie zostaną całkowicie wyeliminowane przez filtry stymulatora - uruchamiają różne algorytmy (reakcje) ze strony stymulatora - od czasowego zablokowania wysłania pobudzenia (czasowe zablokowanie), gdy dany kanał stymulatora pracuje w trybie blokowanim, wyzwolenie pobudzenia lub serii pobudzeń - gdy dany kanał stymulatora pracuje w trybie wyzwalań (trigerowania) bądź też wyzwolenie stymulacji z drugiego kanału - gdy dwu- lub więcej jamowy stymulator pracuje w trybie określanym jako DDD. Małe zakłócenia mogą nie zostać zatrzymane przez układ filtrów stymulatora, jeżeli mają charakterystykę i częstotliwość podobną do sygnałów wewnątrzsercowych (tj. 20-100 Hz) dotrą wtedy do obwodów sterujących stymulatora drogą przewidzianą dla potencjałów wewnątrzsercowych. W wielu typach rozruszników na końcu okresu refrakcji jest tzw. okres próbkowania zakłóceń (*noisesampling period*) [1-2,5]; sygnały wewnątrzsercowe odbierane w tym okresie (migotanie i trzepotanie komór w kanale komorowym, zjawisko migotania i trzepotania w kanale przedsionkowym) powodują przejście stymulatora na rytm stały. Identyczne następstwa powodują zakłócenia elektromagnetyczne i elektryczne o odpowiedniej częstotliwości i wystarczająco dużej energii; słabsze, wychwytywane tylko okresowo jako pojedyncze impulsy, hamują funkcję stymulacji. Sygnały o odpowiednio dużej energii, połączone ze stałym polem magnetycznym, które otwiera dostęp do obwodów programowania (uzyskanym np. przez przyłożenie magnesu), mogą dodatkowo zmienić program stymulatora. Najczęstszym programem stymulacji po zadziałaniu odpowiednio dużego ładunku energii jest *backup mode* – czyli *stymulacja asynchroniczna VVI*.

Kardiowerter – defibrylator

Kardiowerter – defibrylator to urządzenie podobne w swojej budowie do stymulatora. Składa się z tzw. generatora impulsów oraz podłączonych do niego jednej lub dwóch elektrod. Jego zadanie, pomimo podobnej budowy jest jednak inne. ICD należą do grupy urządzeń zwanych potocznie „wysoko energetycznymi”. Nazwa ta wynika z dużo większej pojemności baterii tych urządzeń, która potrzeba jest do przerywania groźnych komorowych zaburzeń rytmu serca. Kardiowerter przez cały okres swojego działania jest swojego rodzaju stróżem pacjenta. Nieustannie monitoruje pracę serca, analizując wewnątrzsercowy elektrogram i na

jego podstawie klasyfikując zaburzenia rytmu. Do owej klasyfikacji używa zaawansowanych algorytmów różnicujących, odmiennych dla każdego producenta. W momencie stwierdzenia groźnej arytmii, urządzenie uwalnia dużą dawkę energii wykonując kardiowersję lub defibrylację. Nie jest to jedyna metoda leczenia arytmii, urządzenia te posiadają również funkcje antytachyarytmiczne, to jest specjalne opcje stymulacji które są w stanie przerwać niektóre z potencjalnie śmiertelnych zaburzeń rytmu. Ostatnią z funkcji tych skomplikowanych urządzeń jest stymulacja – taka sama jak w poprzednio opisywanych stymulatorach. Typowy ICD implantuje się w sposób identyczny jak stymulator. Nowością ostatnich lat są kardiowertery podskórne (ang. subcutaneous cardioverter-defibrillator, S-ICD), które w całości zlokalizowane są poza układem wewnątrznaczyniowym pacjenta, dzięki czemu wyeliminowano wszystkie powikłania jakie niesie przezżylna implantacja.

W chwili obecnej w Polsce funkcjonują 122 ośrodki kardiologiczne w których wykonuje się zabiegi implantacji kardiowertera-defibrylatora. W 2015r wykonano 8399 zabiegów, 219 w przeliczeniu na 1 mln mieszkańców. Dla porównania w Czechach 219/mln, Niemczech 337/mln, we Francji 223/mln [4]. Wskazania do implantacji różnią się w zależności od rodzaju prewencji w której chcemy chronić pacjenta, dzielimy ją na pierwotną i wtórną. Prewencja pierwotna dotyczy pacjentów z niewydolnością serca i frakcją wyrzutową lewej komory $\leq 35\%$, prewencja wtórna natomiast pacjentów po przebyłym epizodzie arytmii komorowejgroźnej dla życia.

Nieprawidłowo wyczułe pobudzenie w kanale przedsionkowym dwujamowego kardiowertera spowodowane EMI zadziała w podobny sposób jak w PM, tj. wywoła przełączenie trybu z nieprawidłową stymulacją komorową, natomiast dłuższe narażenie na zakłócenia elektromagnetyczne w kanale komorowym może skutkować nieadekwatnym wyładowaniem lub serią wyładowań (tzw. burzą elektryczną). Ponadto nieprawidłowa interwencja urządzenia może sama być źródłem arytmii groźnej dla życia. Przy dostatecznie silnym polu elektromagnetycznym urządzenie może przełączyć się w tryb asynchroniczny, co niesie za sobą dwa niebezpieczeństwa, tj. poprzez sztywną stymulację wysłać impuls w okresie refrakcji, co może działać proarytmicznie – wówczas ICD działa zupełnie odwrotnie od swojego pierwotnego przeznaczenia, lub też może opóźnić wyładowanie, przez co urządzenie nie spełni swojej podstawowej funkcji, która polega na przerywaniu zaburzeń rytmu.

Tabela 1. Podsumowanie wpływu EMI na PM i ICD [6]

Urządzenie/Pacjent	Możliwy typ odpowiedzi
<i>Typ urządzenia</i>	
Stymulator: kanał komorowy	Stymulacja asynchroniczna przez aktywację algorytmów w okresie próbkowania zakłóceń; bezpieczna stymulacja (stymulacja z krótkim odstępem p-k); zahamowanie pobudzenia komorowego; tryb magnetyczny
Stymulator: kanał przedsionkowy	Stymulacja asynchroniczna, zahamowanie pobudzenia przedsionkowego; tryb magnetyczny
ICD	Nieadekwatna interwencja (ATP i wyładowanie)
<i>Charakterystyka pacjenta</i>	
Stymulatorozależny	Zahamowanie stymulacji może spowodować zwolnienie częstości serca, które może skutkować zawrotami głowy, omdleniem itp.; nieprawidłowe sterowanie może prowadzić do nagłego przyspieszenia częstości serca; nieprawidłowe wyczucie EMI przez ICD może prowadzić do nieprawidłowej terapii
Stymulatoroniezależni	Zahamowanie stymulacji nie powoduje objawów; nieprawidłowe sterowanie może prowadzić do nagłego przyspieszenia częstości serca; stymulacja asynchroniczna może powodować kołatanie serca, rzadko może wywołać arytmie; nieprawidłowe wyczucie EMI przez ICD może prowadzić do nieprawidłowej terapii

Terapia resynchronizująca z funkcją defibrylacji

Urządzenie to łączy w sobie dwa poprzednio opisane tj. PM i ICD, z tą jednak różnicą, że stymuluje pracę obu komór (lewej i prawej). Zbudowane jest z generatora impulsów, najbardziej zaawansowanego komputera sterującego oraz najczęściej trzech elektrod implantowanych przezżylnie. Dwie z nich położone są typowo: w prawym przedsionku i prawej komorze, trzecia natomiast znajduje się w układzie żylnym mięśnia sercowego i od strony nasierdza stymuluje lewą komorę. Głównym wskazaniem do implantacji urządzenia jest upośledzenie funkcji skurczowej lewej komory z frakcją wyrzutową $\leq 35\%$ ocenianą za pomocą badania echokardiograficznego oraz stwierdzenie asynchronii skurczu komór

serca na podstawie elektrokardiogramu, tj. czas trwania zespołu QRS powinien wynosić ≥ 130 ms i najlepiej posiadać morfologię bloku lewej odnogi pęczka Hisa. W chwili obecnej w Polsce zabiegi wszczepienia kardiowertera- defibrylatora resynchronizującego wykonywane są w absolutnej większości w dużych, klinicznych ośrodkach wysokospecjalistycznych (powyżej 85% zabiegów). Liczba zabiegów w 2015r wyniosła 3718, tj. w przeliczeniu 97/mln mieszkańców. Dla porównania Czechach 176/mln, Włoszech 200/mln, we Francji 145/mln [4]. Oddziaływanie EMI na CRTd będzie sumą efektu wywieranego na ICD i PM.

Urządzenie do mechanicznego wspomaganie lewej komory

Jest to pompa bezpośrednio implantowana do serca i lokowana w przestrzeni osierdziejowej pacjenta, przeznaczona do długoterminowego wspomaganie serca chorego w warunkach domowych. Pompa wszczepiana jest poprzez wprowadzenie krótkiej kaniuli wlotowej, zintegrowanej z pompą, przez otwór w koniuszku serca bezpośrednio do jamy lewej komory serca. Krew wypływa z pompy do układu naczyniowego chorego poprzez graft, zespolony do ściany aorty wstępującej. Proteza zasilana jest cienkim przewodem sterującym wyprowadzonym przez powłoki skórne brzucha do sterownika, noszonego bezpośrednio przy ciele pacjenta. W najnowszych urządzeniach przepływ krwi w pompie powoduje zawieszony w polu magnetycznym i hydrodynamicznym wirnik – jedyny ruchomy element pompy [7]. Najczęściej implantowanymi urządzeniami są HeartWare oraz HearMate. Kandydatem do implantacji LVAD jest chory z ciężką niewydolnością serca, u którego wykorzystano już wszystkie możliwości terapeutyczne farmakologiczne i nefarmakologiczne. Zgodnie z wytycznymi Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego urządzenie stosuje się w celu:

- 1) poprawy funkcji narządów aby umożliwić przeszczepienie serca u pacjenta, u którego transplantacja była dotychczas niemożliwa,
- 2) umożliwienia przeżycia pacjenta z grupy wysokiego ryzyka zgonu do czasu dostępności narządu do przeszczepienia serca,
- 3) przeżycia pacjenta do czasu poprawy funkcji serca,
- 4) długotrwanie jako alternatywa dla przeszczepienia serca u pacjenta ze schyłkową niewydolnością serca, niekwalifikującego się do transplantacji lub długotrwałego oczekiwania na przeszczepienie serca.

Poniższa tabela zawiera kryteria kwalifikujące potencjalnych kandydatów do implantacji urządzenia. [8]

Tab. 2 Wskazania do implantacji LVAD

Pacjenci z utrzymującymi się ponad 2 miesiące ciężkimi objawami niewydolności serca mimo optymalnej farmakoterapii i stosowanych urządzeń wszczepialnych oraz obecnym więcej niż jednym z poniższych:
LVEF < 25% oraz, o ile określono, szczytowe VO ₂ < 12 ml/kg/min
≥ 3 hospitalizacje z powodu niewydolności serca w ciągu ostatnich 12 miesięcy bez ewidentnego czynnika wywołującego
Zależność od dożylnego leczenia inotropowego
Postępująca dysfunkcja narządów docelowych (pogarszanie się czynności nerek i/lub wątroby) z powodu zmniejszenia perfuzji, a nie w wyniku nieodpowiedniego ciśnienia napełniania komory (PCWP ≥ 20 mm Hg i SBP ≤ 80–90 mm Hg lub CI ≤ 2 l/min/m ²)
Brak ciężkiej dysfunkcji prawej komory łącznie z ciężką niedomykalnością zastawki trójdzielnej

Dotychczas nie ukazały się badania na temat wpływu różnych źródeł elektrycznych, magnetycznych i elektromagnetycznych na urządzenia do wspomaganie pracy komór i raczej z uwagi na ewentualne konsekwencje prowadzenia takich badań, nie możemy spodziewać się ich w przyszłości. Należy w takim razie w większości przypadków opierać się na zaleceniach producentów i doniesieniach z literatury. Zgodnie z zaleceniem producentów po implantacji pompy HeartWare i HearMate bezwzględnie przeciwwskazane jest wykonywanie MRI i używanie elektrycznego noża chirurgicznego. Należy unikać leczenia za pomocą ultradźwięków, urządzeń do radioterapii, a w czynnościach dnia codziennego nie zbliżać się do telewizorów, monitorów, a telefon utrzymywać w odległości 50 centymetrów od urządzenia [9,10]. Co ciekawe w przypadku pompy HeartWare prowadzenie samochodu teoretycznie nie jest przeciwwskazane, decyzję pozostawiono lekarzowi prowadzącemu danego pacjenta.

Życie codzienne i procedury medyczne u pacjentów z implantowanym urządzeniem kardiologicznym

Częstość występowania zjawiska EMI w populacji pacjentów z ICD wg Olsena w wynosi 1,87 % pacjenta na rok. Do swojego badania obserwacyjnego, które trwało 8 lat

włączył 2940 pacjentów z kardiowerterami, średni wiek pacjenta wynosił 63 lata. W trakcie obserwacji wystąpiło 145 epizodów EMI, z czego 97 w środowisku szpitalnym, a pozostałe w środowisku pozaszpitalnym. Wszystkie zarejestrowane epizody analizowano po kącie ryzyka w powstaniu zakłóceń w pracy kardiowertera i przydzielono do odpowiednich grup: istotnego ryzyka, potencjalnego ryzyka oraz małego ryzyka. Analizując epizody wg tego podziału, średnio jedynie 0,27% zdarzenia w przeliczeniu na pacjent na rok miało istotny lub potencjalnie istotny wpływ na pracę urządzenia [11]. W badaniu ICD-ON prowadzono ponad roczną obserwację w 3 szpitalach na przedmieściach Chicago od lutego 2014 r do sierpnia 2015r. Do badania włączono 333 pacjentów, średni wiek wynosił 73 lata, 65% stanowili mężczyźni. Pacjentów z wszczepionym przezżylnie urządzeniem (PM lub ICD) poddanych zabiegom chirurgicznym z użyciem chirurgicznego noża elektrycznego przydzielono do trzech grup: 1) grupy przeprogramowania, 2) grupy przyłożenia magnesu, 3) grupy u której nie wykonano zmian w programie urządzenia. Pacjentów stymulatorozależnych oraz pacjentów z ICD u których używano noża do elektrokoagulacji w odległości mniejszej niż 15 centymetrów przydzielono do grupy pierwszej (16%). Pacjentów z ICD i zabiegiem powyżej grzebienia biodrowego przydzielono do grupy drugiej (15%). Pozostali pacjenci automatycznie znaleźli się w grupie trzeciej (69%). EMI stwierdzono u 34 pacjentów, głównie w postaci niefizjologicznej nadczułości urządzenia. W podziale zabiegów względem lokalizacji anatomicznej 45% zakłóceń wystąpiło w trakcie operacji w obrębie tułowia, 35% okolicy głowy i szyi, 15% w okolicy kończyn górnych oraz 3% w okolicy jamy brzusznej. Nie stwierdzono EMI w trakcie operacji poniżej grzebienia biodrowego. Nie odnotowano żadnego przypadku nieprawidłowego działania urządzenia [12]. W badaniu nad ryzykiem wystąpienia w urządzeniach wszczepialnych (PM i ICD) interferencji elektromagnetycznych spowodowanych sprzętem dentystycznym Miranda-Rius i wsp. wykonali szereg testów in vitro trzech stymulatorów i trzech kardiowerterów różnych producentów z sześcioma urządzeniami stosowanymi w gabinetach stomatologicznych. Na podstawie przeprowadzonej analizy pokazali, iż największe niebezpieczeństwo powstania zakłóceń niesie ze sobą używanie urządzeń do oceny żywotności miazgi zęba. Ponadto stwierdzili, że jeżeli pojawią się jakiegokolwiek zakłócenia w pracy urządzenia kardiologicznego, to w stymulatorach są stopnia lekkiego i średniego, natomiast defibrylatorach stwierdza się je rzadziej, ale mogą być poważniejsze [13]. W 2016 roku na łamach „Anesthesia Progress” ukazały się zalecenia odnośnie przygotowywania pacjentów z CIEDs do zabiegów chirurgicznych w stomatologii, w chirurgii jamy ustnej oraz chirurgii szczękowo-twarzowej. Zaleca się w nich: unikanie monopolarnych elektronarzędzi, stosowanie narzędzi bipolarnych, minimalizację czasu

używania potencjalnych źródeł zakłóceń (krótkie i częste aplikacje nożem diatermicznym w przeciwieństwie do rzadszych i dłuższych) oraz umieszczenia elektrody dyspersyjnej jak najdalej od generatora urządzenia [14]. W kolejnej pracy Maheshwari i wsp. oceniając wpływ 9 urządzeń dentystycznych pod kątem wystąpienia EMI w CIEDs, obserwowali w kilku urządzeniach wystąpienie interferencji elektromagnetycznych (między innymi w testerze żywotności miazgi), które nie powodowały zaburzeń pracy urządzeń kardiologicznych. Jedynie dentystyczna jednostka służąca do elektrochirurgii może powodować na tyle silne zakłócenia, że może być przyczyną nieadekwatnego wyładowania [15]. Dotychczas nie przeprowadzono badań nad bezpieczeństwem użycia lasera chirurgicznego u chorych z implantowanym urządzeniem kardiologicznym. W jednej pracy badano pola magnetyczne emitowane przez sześć różnych laserów i jeden laser pulsacyjny. Wyniki pomiarów porównywano do podanych przez producentów CIED (ICD i PM) limitów ekspozycyjnych. Większość z laserów emitowała pole magnetyczne poniżej dopuszczalnego przez producentów stymulatorów i defibrylatorów. Jedynie laser CO₂ i rubinowy produkowały na tyle silne pole magnetyczne, że potencjalnie mogłyby wpłynąć na działanie CIEDs. Z uwagi na to zaleca się zachowanie maksymalnej odległości od jednostki lasera w celu zminimalizowania szansy powstania EMI [16].

W dzisiejszych czasach trudno wyobrazić sobie badania obrazowe bez użycia rezonansu magnetycznego (magnetic resonance imaging, MRI). MRI jest wykorzystywane w wielu dziedzinach medycyny, w tym również w kardiologii. Wraz z rosnącą liczbą chorych z implantowanym urządzeniem kardiologicznym, rośnie liczba pytań i niepewności o bezpieczeństwo takiej procedury. W prospektywnym badaniu „Power on Reset” wykonano 256 badań MRI w większości głowy - 160 skanów, ale również klatki piersiowej i kończyn. Oceniano w nim częstość występowania zjawiska „resetu urządzenia” (z ang. power on reset; PoR) które jest zabezpieczeniem w momentach kiedy praca urządzenia elektronicznego jest zakłócona. W stymulatorach może to prowadzić do wystąpienia stymulacji asynchronicznej bądź zahamowania impulsów stymulatora. Bardziej podatni na wystąpienie działań niepożądanych tego typu są pacjenci stymulatorozależni. Z analizy badania wyłączono chorych z urządzeniami przeznaczonymi do działania w środowisku elektromagnetycznym. PoR wystąpiło w czasie 9 badań – 3,5%, w 4 przypadkach odnotowano istotne zmiany w monitorowanych czynnościach życiowych pacjentów. Wszystkie epizody wystąpiły w urządzeniach starszej generacji, które były implantowane przed 2005 rokiem [17]. Do kolejnego badania nad bezpieczeństwem wykonywania 1,5 Teslowego MRI u pacjentów z implantowanymi urządzeniami kardiologicznymi opublikowanym na łamach „American

Journal of Roentgenology” włączono 104 pacjentów z implantowanym urządzeniem– 74 PM, 39 ICD. Wykonano łącznie 113 badań przy pomocy MRI. Przeprogramowania przez badaniem wymagało 62,8% urządzeń. Zarówno w trakcie wykonywanych badań, jak i podczas pozabiegowych kontroli urządzeń nie stwierdzono zmian w parametrach urządzeń. Trzech pacjentów zgłosiło przejściowe dolegliwości podczas badania (uczucie gorąca w kieszonce urządzenia, mrowienie w okolicy urządzenia, kołatanie serca). Wszystkie badania uznano jako diagnostyczne z technicznego punktu widzenia, ograniczenie oceny tkanek dotyczyło jedynie tych zlokalizowanych w okolicy generatora [18]. Do kolejnego badania nad bezpieczeństwem wykonywania MRI u pacjentów z CIED Dandamudi i wsp. włączyli 58 pacjentów (po 29 z ICD i PM), z czego 89% miało urządzenia nie dedykowane do MRI. Wykonano 51 rezonansów mięśnia sercowego i 11 rdzenia kręgowego. W analizie badanie nie stwierdzono zaburzeń w czułości, impedancji i progu stymulacji w kanale przedsionkowym i komorowym. Nie zaobserwowano również zmian w trybie pracy urządzeń, nieadekwatnych terapii, nie odnotowano arytmii indukowanej urządzeniem, nie stwierdzono resetu urządzenia ani nieoczekiwanego wyczerpania baterii. Jedno badanie przerwano z powodu zgłoszonego przez pacjenta bólu w klatce, nie znaleziono jednak jego przyczyny. Interpretacja 33% badań mięśnia sercowego była ograniczona z powodu wystąpienia artefaktów obrazu [19].

Samochód w dzisiejszych czasach jest podstawowym środkiem transportu. Wraz ze starzejącą się populacją wzrasta liczba potencjalnych chorych z implantowanym urządzeniem, którzy po zabiegu chcieli by wrócić do prowadzenia pojazdu. Wytyczne towarzystw kardiologicznych nie zawierają przeciwwskazań do prowadzenia samochodu po implantacji kardiostymulatora, zaleca się tylko odczekanie tygodnia od zabiegu. Sytuacja wygląda odmiennie w przypadku chorego z kardiowerterem. W Europie istnieje zakaz prowadzenia pojazdów po implantacji ICD u chorych którzy są kierowcami zawodowymi. Sytuacja wygląda odmiennie w przypadku prowadzenie samochodu dla celów prywatnych. Po implantacji ICD w prewencji wtórnej zaleca się odczekanie 3 miesięcy do powrotu do prowadzenia pojazdu, dla pacjentów w prewencji pierwotnej okres ten wynosi 4 tygodnie. Po wymianie elektrod bez względu na pierwotną przyczynę implantacji urządzenia, zaleca się okres miesięcznej karencji dla prowadzenia pojazdów, a po wymianie generatora okres ten skraca się zaledwie do tygodnia. Po odnotowaniu adekwatnej interwencji wysokoenergetycznej lub objawowej terapii antytachyarytmicznej należy wstrzymać się od prowadzenia samochodu przez 3 do 6 miesięcy, a w przypadku nieadekwatnej interwencji do czasu wyjaśnienia i zminimalizowania kolejnych epizodów tego typu [20]. W badaniu

Merchant i wsp. na podstawie analizy 14 230 pacjentów z ICD stwierdzili, że prawdopodobieństwo doświadczenia kolejnego wyładowania wzrasta na przestrzeni od 1 do 6 miesięcy od pierwszego incydentu. Istotną rolę odgrywa również ilość zaprogramowanych stref terapii – wzrasta wraz z ilością programowanych stref [21]. W kolejnym badaniu Kim i wsp. na podstawie analizy 2262 pacjentów z implantowanym kardiowerterem wykazali, że prawdopodobieństwo kolejnego wyładowania zależy również od rodzaju pierwszej interwencji ICD. Jest większe w przypadku, gdy pierwszą interwencją było wyładowanie wysokoenergetyczne. Z kolei, jeżeli pierwszą interwencją była terapia antytachyarytmiczna, to wówczas szansa na kolejne wyładowanie jest mniejsza [22]. Coraz większym zainteresowaniem cieszą się samochody hybrydowe. Wiadomo, że posiadanie kardiologicznego urządzenia wszczepialnego (PM, ICD, CRT-d) samo w sobie nie stanowi przeciwwskazania do prowadzenia pojazdu po spełnieniu wspomnianych wyżej warunków. Pojazdy hybrydowe, z uwagi na ich budowę, są potencjalnie większym źródłem zakłóceń elektromagnetycznych. W pracy opublikowanej na łamach „International Journal of Cardiology” prowadzono badanie *in vivo* mające ocenić wpływ pojazdów hybrydowych na działanie kardiowerterów-defibrylatorów. Podczas wykonywanych testów nie odnotowano zaburzeń czułości ani zmiany programu urządzeń. Stopień emisji fal magnetycznych, elektromagnetycznych i radiowych oceniany na miejscu kierowcy, pasażerów oraz w okolicy pojazdu był bardzo niski. W związku z czym stwierdzono, że nie istnieją przeciwwskazania do prowadzenia pojazdów hybrydowych u pacjentów z implantowanym kardiowerterem [23].

Niewydolność serca dotyka pacjentów w różnym wieku, w tym młode osoby będące w wieku reprodukcyjnym. W parze z coraz lepszą opieką kardiologiczną pojawiają się nowe wyzwania, takie jak na przykład prowadzenie ciąży u chorej z niewydolnością serca i implantowanym urządzeniem kardiologicznym. Boulé i wsp. w poddali ocenie 20 ciąż u 12 kobiet, które miały implantowany kardiowerter w typowej okolicy z elektrodami bipolarnymi. U 7 pacjentek wskazaniem do implantacji ICD była kardiomiopatia rozstrzeniowa, u pozostałych kanałopatia. Odnotowano dwanaście interwencji urządzeń u dwóch pacjentek, przy czym jedna z nich poroniła niedługo po wyładowaniu urządzenia – była w 4 tygodniu ciąży, wg autorów badania można to wiązać z działaniem ICD. Podczas analizy badania nie stwierdzono, aby ciąża wpływała na pracę kardiowertera. Na znaleziono również dowodów na to, że ICD zwiększa liczbę powikłań w czasie ciąży – poza wspomnianym poronieniem [24].

Trudno w dzisiejszych czasach wyobrazić sobie życie bez telefonu komórkowego. Według Unii Telekomunikacji w krajach rozwiniętych na jednego mieszkańca przypada średnio 1,2 telefonu. Doniesienia o wpływie na pracę stymulatorów pochodzą sprzed kilku lat

i nie dotyczą urządzeń nowszej generacji stosowanych obecnie. Wpływ telefonii komórkowej może być większy na kardiowertery z uwagi na ich większą programowaną czułość konieczną do prawidłowej pracy. Haran Burri i wsp. w swoim badaniu podjęli się sprawdzenia czy dotychczasowe zalecenie producentów kardiowerterów – defibrylatorów o utrzymywaniu odległości 15 centymetrów od generatora impulsów jest nadal aktualne. Do swojego badania włączyli 63 pacjentów z 29 różnymi rodzajami ICD (jednojamowymi, dwujamowymi, dwukomorowymi, różnych producentów). Przeprowadzili łącznie 882 testy związane z wytwarzaniem EMI w pobliżu urządzeń (między innymi bezpośrednio nad generatorem impulsów oraz w sąsiedztwie elektrod) w różnych trybach pracy telefonów – w trybie czuwania, trybie aktywnym, oraz podczas wykonywania połączeń. Podczas testów wszystkie kardiowertery były telemetrycznie podłączone do programatorów oraz wykonywano jednoczesowy wydruk elektrogramów w celu oceny zakłóceń. Wyłączono opcje terapeutyczne we wszystkich urządzeniach na wypadek wywołania nieadekwatnych interwencji, funkcję stymulacji pozostawiono bez zmian. W żadnym teście nie wykazano negatywnego wpływu telefonu komórkowego na ICD/CRT-d, nie odnotowano żadnych zakłóceń w czułości urządzeń ani zahamowania stymulacji [25]. Lennerz i wsp. oceniając bezpieczeństwo używania smartfonów u chorych z ICD u 307 pacjentów stwierdzili 1 przypadek interakcji pomiędzy urządzeniami. Polegał on na zahamowaniu stymulacji ICD oraz przedwczesnej stymulacji urządzenia [26].

Dla pacjentów z pogarszającą się niewydolnością serca jedynym ratunkiem przed śmiercią może być implantacja urządzenia do wspomaganie lewej komory (Ventricle Assist Device –VAD). VAD można podzielić na dwa typy w zależności od generowanego przepływu: pulsacyjny (-PF) lub ciągły (-CF). Częściej stosowane są te drugie, natomiast wśród nich najwięcej obecnie implantuje się modeli HeartWare oraz Heart Mate II. Oba pracują z użyciem zawieszzonego w polu magnetycznym wirnika pracującego z różną szybkością obrotową, odpowiednio 1800 do 3200/min i 6000-15000/min. Urządzenia do wspomaganie lewej komory w trakcie swojej pracy emitują energię magnetyczną która może być przyczyną nieprawidłowego działania implantowanego uprzednio ICD. Interakcje te zależą zarówno od typu wszczepionego ICD (klasyczny czy podskórny), jak i od rodzaju implantowanego VAD. Pecha i wsp. do badania nad bezpieczeństwem implantacji ICD i VAD włączyli 41 pacjentów, część z już implantowanym kardiowerterem, część miała wykonany najpierw zabieg implantacji VAD a następnie ICD. Przez okres obserwacji który wynosił 12.2 ± 8.9 miesięcy, zaobserwowano jedno nieadekwatne wyładowanie (3,9%) spowodowane migotaniem przedsionków z szybką czynnością komór. Nie odnotowano

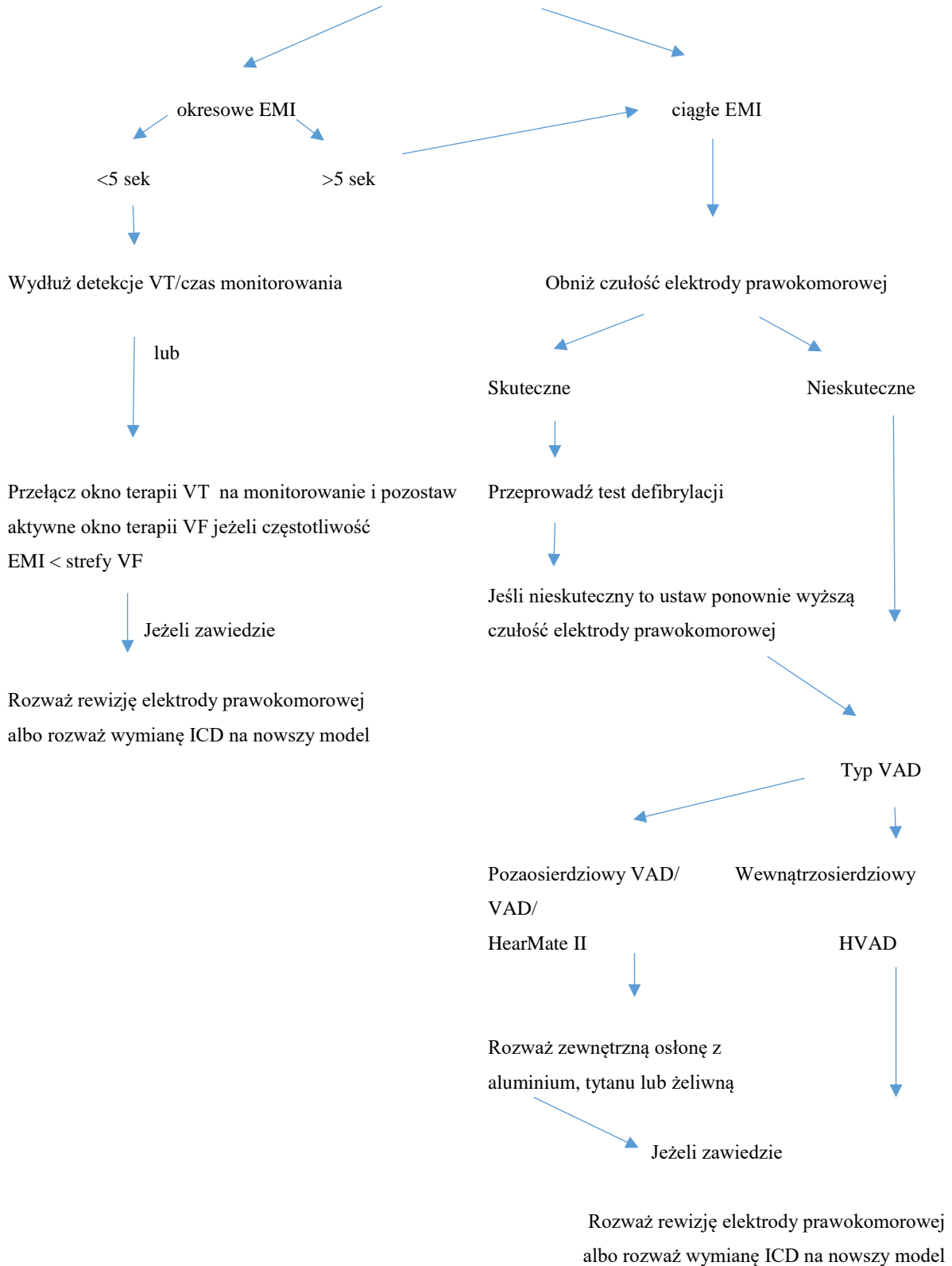
zaburzeń ICD spowodowanych pracą LVAD [27]. W badaniu nad współwystępowaniem ICD i LVAD analizowano zdarzenia u 76 pacjentów przez krótki okres 156 dni. W tym czasie odnotowano problem z komunikacją programatora z dwoma kardiowerterami (2.7%). Pacjenci z tymi urządzeniami mieli implantowany system HearMate oraz kardiowertery firmy St. Jude Medical starszej generacji. Powyższe problem spowodowane były podobną częstotliwością komunikacji pomiędzy programatorem i ICD oraz modulatora impulsów LVAD (odpowiednio 7 kHz i 7,2 kHz). Nie odnotowano innych interakcji pomiędzy urządzeniami, w tym zaburzeń wyczuwania, wstrzymania terapii, nieadekwatnych wyładowań [28]. W kolejnym retrospektywnym badaniu nad interakcjami VAD i ICD Boudghène-Stambouli i wsp. prowadzili obserwacje u 23 pacjentów u których implantowano w pierwszej kolejności kardiowerter lub urządzenie do resynchronizacji, a następnie pompę HeartMate. Cztery urządzenia po implantacji VAD utraciły zdolność do łączenia się z programatorem. Dwa spośród z nich musiały zostać poddane wymianie na inne modele, gdyż pomimo różnych manewrów (m.in. zmiany pozycji głowicy) nie udało się nawiązać połączenia. Ponadto w badaniu tym analizowano parametry elektrod umieszczonych w prawej komorze. Stwierdzono że współwystępowanie VAD i ICD zmniejsza siłę sygnału w elektrodzie prawokomorowej, przy równoczesnym zmniejszeniu impedancji oraz zwiększeniu progu stymulacji. Zmiany te jednak nie niosą implikacji klinicznych [29]. W dokonanym przeglądzie publikacji, odnotowano pojedynczy przypadek interakcji CRT-d z VAD. Polegał on na włączeniu alarmu ostrzegającego przed polem elektromagnetycznym i wynikał z bliskości implantowanego HVAD HeartWare [30]. Lovely Chhabra i wsp. opisali przypadek interferencji LVAD typu HeartWare (HVAD) u pacjenta z kardiomiopatią niedokrwinną i implantowanym uprzednio kardiowerterem – defibrylatorem firmy Boston Scientific Vitality. W czwartej dobie po implantacji HVAD, odnotowano wyładowanie ICD. W wykonanej kontroli urządzenia stwierdzono wiele epizodów szybkiej arytmii wchodzącej w zakres detekcji dla częstoskurczu komorowego i migotania komór. W przeprowadzonej analizie elektrogramów w kanale przedsionkowym obserwowano migotanie przedsionków, natomiast w kanele komorowym sygnał o niskiej amplitudzie i wysokiej częstotliwości, który to uznano za zakłócenie elektromagnetyczne spowodowane LVAD. Po przeprogramowaniu parametrów czułości urządzenia pacjent został wypisany do domu. Chory wrócił ponownie po kolejnej serii wyładowań, które również okazały się nieadekwatne. Postanowiono wymienić ICD na Medtronic Viva XT – od tego czasu nie obserwowano nieprawidłowych interwencji [31]. Labeledii i wsp. opisali dwa przypadki interakcji pomiędzy urządzeniem do wspomaganie lewej komory typu HeartWare (LVAD) i kardiowerterem – defibrylatorem. Chorym implantowano

ICD firmy St. JudeMedical (Unify ICD z dwukoilową elektrodą 7 Fr St. Jude Medical Durata model 7120). W obu przypadkach z powodu progresji niewydolności serca implantowano LVAD bez powikłań. W okresie pooperacyjnym odnotowano interwencje kardiowerterów zarówno w postaci terapii antytachyarytmicznej jak i wyładowań wysokoenergetycznych. W kontroli urządzenia stwierdzono obecność interferencji elektromagnetycznych, które były przyczyną nieadekwatnych interwencji. Nie odnotowano zmiany w parametrach elektrod. Podjęto próbę przeprogramowania kardiowerterów poprzez zmianę czułości i wydłużenie okna detekcji, nie wyeliminowano jednak nieprawidłowych terapii. Dopiero rewizja elektrod i zmiana ich położenia z koniuszkowego na przednio-przegrodowe dała efekt w postaci braku EMI w kontroli urządzeń i w związku z tym braku nieadekwatnych terapii. Dalsze funkcjonowanie urządzeń było niezakłócone [32].

Podskórny kardiowerter defibrylator to wspomniana nowa opcja w zapobieganiu nagłej śmierci sercowej u pacjentów z niewydolnością serca z wysokim ryzykiem infekcyjnego zapalenia wsierdza lub problemem z dostępem naczyniowym. W przeglądzie dotychczasowych doniesień odnotowano jeden przypadek implantacji S-ICD u chorego posiadającego już urządzenie do wspomaganie pracy lewej komory – HeartMate II. Podczas zabiegu przeprowadzono test kompatybilności obu urządzeń. Zwiększano ilości obrotów pompy jednocześnie wykonując ciągły zapis elektrokardiograficzny analizując go w każdym z trzech wektorów detekcji pod kątem występowania EMI. Nie stwierdzono żadnych zakłóceń pracy obu urządzeń [33]. Opracowano okołozabiegowy algorytm sprawdzający ewentualne interakcje pomiędzy urządzeniami (ryc 1). Postępowanie zgodnie z nim jest dobrą metodą uniknięcia ewentualnych problemów, choć oczywiście nie wszystkie kłopoty można przewidzieć od razu. Dlatego pomimo kilku cytowanych powyżej doniesień, temat interferencji elektromagnetycznych pomiędzy urządzeniami do wspomaganie lewej komory i kardiowerterami – defibrylatorami wymaga zgłębienia.

Ryc 1. Algorytm postępowania w trakcie implantacji VAD na podstawie [32]

Interogacja ICD przy najwyższych szybkościach pracy VAD od razu po implantacji VAD w celu poszukiwania EMI



Podsumowanie

W ostatnich latach znacznie zwiększyła się liczba kardiologicznych urządzeń wszczepialnych dostępnych dla szerokiej grupy pacjentów. Populacja chorych z takim urządzeniem powiększa się bardzo szybko. Pomimo coraz bardziej zaawansowanych urządzeń z coraz doskonalszymi algorytmami różnicującymi, ryzyko powstania EMI nadal istnieje. Na podstawie analizy przedstawionych badań jest ono większe w trakcie wykonywania procedur medycznych. Natomiast dzięki rozwojowi technologii, większa część procedur kiedyś przeciwwskazanych, obecnie może być wykonana pod specjalnym nadzorem i po odpowiednim przygotowaniu pacjenta i urządzenia. Nadal jednak nie znamy odpowiedzi na wiele pytań, stąd kolejne badania są potrzebne, aby uzupełnić wiedzę z tej interesującej i dynamicznie rozwijającej się dziedziny kardiologii.

Piśmiennictwo

- [1] Hayes D.L. Electromagnetic interference, drug-device interactions, and other practical considerations. W: Furman S., Hayes D.L., Holmes D.R. red. A practice of cardiac pacing. Futura Publishing Inc., Mount Kisco, NY 1993; 665-684.
- [2] Kusumoto F.M., Goldschlager N. Unusual complication of cardiac pacing. W: Barold S.S., Mugica J. red. Recent advances in cardiac pacing. Futura Publishing Company Inc., Armonk, NowyJork 1998; 237-279.
- [3] <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfMAUDE/search.CFM>
- [4] Sekcja Rytmu Serca Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego: Biała księga elektroterapii w Polsce, 2016.
- [5] Strathmore N.F. Interference in cardiac pacemakers. W: Ellenbogen K.A., Kay G.N., Wilkoff B.L. red. Clinical cardiac pacing. 1995; 770-779.
- [6] JunaMisiri ; Fred Kusumoto; Nora Goldschlager.: Electromagnetic Interference and Implanted Cardiac Devices: The Nonmedical Environment (Part I) Clin. Cardiol. 35, 5, 276– 280 (2012).
- [7] Jerzy Pacholewicz¹, Krzysztof Kubacki, Marian Zembala.:Wprowadzenie do stosowania klinicznego wirowych pomp wspomaganie serca w Polsce. Praca realizowana w ramach Programu Polskie Sztuczne Serce.
- [8] Piotr Ponikowski, Adriaan A. Voors, Stefan D. Anker.: Wytyczne ESC dotyczące diagnostyki i leczenia ostrej i przewlekłej niewydolności serca w 2016 roku. KardiologiaPolska 2016; 74, 10: 1037–1147.
- [9] www.heartware.com
- [10] www.thoratec.com
- [11] von Olshausen G, Rondak IC, Lennerz C.:Electromagnetic interference in implantable cardioverter defibrillators: present but rare. Clin Res Cardiol. 2016 Aug;105(8):657-65.

- [12] JANET GIFFORD, KAREN LARIMER, CELIA THOMAS. ICD-ON Registry for Perioperative Management of CIEDs: Most Require No Change. *Pacing ClinElectrophysiol*. 2017 Feb;40(2):128-134.
- [13] Miranda-Rius J, Lahor-Soler E, Brunet-Llobet L, Sabaté de la Cruz X.: Risk of electromagnetic interference induced by dental equipment on cardiac implantable electrical devices. *Eur J Oral Sci*. 2016 Dec;124(6):559-565.
- [14] Tom J.:Management of Patients With Cardiovascular Implantable Electronic Devices in Dental, Oral, and Maxillofacial Surgery. *AnesthProg*. 2016 Summer; 63(2): 95–04.
- [15] Maheshwari KR, Nikdel K, Guillaume G I wsp.: Evaluating the effects of different dental devices on implantable cardioverter defibrillators. *J Endod*. 2015 May;41(5):692-5.
- [16] Lister T, Grant L, Lee SM I wsp.:Electromagnetic interference from lasers and intense light sources in the treatment of patients with artificial pacemakers and other implantable cardiac devices. *Lasers Med Sci*. 2015 Jul;30(5):1619-22.
- [17] John V.Higgins,MD, Seth H.Sheldon, Robert E.Watson Jr iwsp.: Power-on resets in cardiac implantable electronic devices during magnetic resonance imaging. *Heart Rhythm* Volume 12, Issue 3, March 2015, Pages 540–544.
- [18] Camacho JC, Moreno CC, Shah AD iwsp.: Safety and Quality of 1.5-T MRI in Patients With Conventional and MRI-Conditional Cardiac Implantable Electronic Devices After Implementation of a Standardized Protocol. *AJR Am J Roentgenol*. 2016 Sep;207(3):599-604.
- [19] Dandamudi S, Collins JD, Carr JC.:The Safety of Cardiac and Thoracic Magnetic Resonance Imaging in Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices. *AcadRadiol*. 2016 Dec;23(12):1498-1505.
- [20] Amerjeet S. Banning and G. Andre Ng.: Driving and arrhythmia: a review of scientific basis for international guidelines. *European Heart Journal* (2013) 34, 236–24.
- [21] Merchant FM, Hoskins MH, Benser ME iwsp.:Time Course of Subsequent Shocks After Initial Implantable Cardioverter-Defibrillator Discharge and Implications for Driving Restrictions. *JAMA Cardiol*. 2016 May 1;1(2):181-8.
- [22] Kim MH, Zhang Y, Sakaguchi S.:Time course of appropriate implantable cardioverter-defibrillator therapy and implications for guideline-based driving restrictions. *Heart Rhythm*. 2015 Aug;12(8):1728-36.
- [23] Tondato F, Bazzell J, Schwartz L.:Safety and interaction of patients with implantable cardiac defibrillators driving a hybrid vehicle. *Int J Cardiol*. 2017 Jan 15;227:318-324.
- [24] Boulé S, Ovart L, Marquié C iwsp.:Pregnancy in women with an implantable cardioverter-defibrillator: is it safe? *Europace*2014 Nov;16(11):1587-94.
- [25] Haran Burri, Louis Paulin MondouagneEngkoloiwsp.: Low risk of electromagnetic interference between smartphones and contemporary implantable cardioverter defibrillators. *Europace* (2016) 18, 726–731.
- [26] Lennerz C, Pavaci , Grebmer C iwsp.:Electromagnetic Interference in Cardiac Implantable Electronic Devices : Is the Use of Smartphones Safe? *Journal of the*

- American College of Cardiology; Volume 69, Issue 1, 3–10 January 2017, Pages 108–110.
- [27] Pecha S, Wilke I, Bernhardt A.: Clinical experience of combined HeartWare ventricular assist device and implantable cardioverter defibrillator therapy. *J. Cardiovasc Electrophysiol.* 2014 Oct;25(10):1109-14.
 - [28] Kühne M, Sakumura M, Reich SS iwsp.: Simultaneous use of implantable cardioverter-defibrillators and left ventricular assist devices in patients with severe heart failure. *Am J Cardiol.* 2010 Feb 1;105(3):378-82.
 - [29] Boudghène-Stambouli F, Boulé S, Goéminne C iwsp.: Clinical implications of left ventricular assist device implantation in patients with an implantable cardioverter-defibrillator. *J Interv Card Electrophysiol.* 2014 Mar;39(2):177-84.
 - [30] Meyer M, Steffel J.: Magnetic field interaction between a left ventricular assist device controller and a cardiac resynchronization therapy-defibrillator. *Europace.* 2015 Nov;17(11):1719.
 - [31] Chhabra L, Hiendlmayr B, Kluger J.: An Adverse Electrophysiological Interaction Between an Implantable Cardioverter-Defibrillator and a Ventricular Assist Device *Conn Med.* 2015 Jun-Jul;79(6):351-4.
 - [32] Labedi MR, Alharethi R, Kfoury AG iwsp.: Electromagnetic Interference of Automatic Implantable Cardioverter Defibrillator and HeartWare Left Ventricular Assist Device. *ASAIO J.* 2013 Mar-Apr;59(2):136-9.
 - [33] Raman AS, Shabari FR, Kar Biwsp.: No Electromagnetic Interference Occurred in a Patient with a HeartMate II Left Ventricular Assist System and a Subcutaneous Implantable Cardioverter-Defibrillator. *Tex Heart Inst J.* 2016 Apr 1;43(2):183-5.