

Analiza czynności stymulatora w badaniu EKG metodą Holtera

Romuald Ochotny, Hanna Wachowiak-Baszyńska i Przemysław Mitkowski

I Klinika Kardiologii Instytutu Kardiologii Akademii Medycznej im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Wstęp

Badanie chorego ze stymulatorem obejmuje, poza badaniem klinicznym, telemetryczną ocenę progu stymulacji, pomiary potencjałów z jam serca, sprawdzenie zapisów z analizy rytmu przy użyciu funkcji holterowskich rozrusznika, wreszcie (w pewnych przypadkach) badanie poprawności stymulacji — wyzwalania i hamowania impulsów — w całodobowym zapisie EKG wykonanym metodą Holtera [1, 2].

Rozbudowane funkcje holterowskie współczesnych stymulatorów pozwalają na praktycznie nieograniczone zliczanie m.in. wykrytych natywnych potencjałów serca i impulsów stymulacji [1, 3]. Analiza metodą Holtera umożliwia stwierdzenie zarówno skuteczności, jak i zaburzeń stymulacji, określenie odsetka rytmu stymulowanego w ciągu badanego okresu, stwierdzenie współlistniejących zaburzeń rytmu serca: spontanicznych, niezależnych od stymulacji, oraz wyzwalanych stymulacją lub w których pośredniczy układ stymulujący [4, 5]. Ponadto badanie holterowskie, obok próby wysiłkowej, jest cenną metodą ostatecznej oceny indywidualnie programowanych funkcji adaptacji częstotliwości stymulacji (tzw. *rate responsive*) oraz skuteczności programów typu *dual demand modality* czy *automatic mode conversion* [5, 6].

Należy podkreślić, że ocena zaburzeń pracy stymulatora, zdiagnozowanych już za pomocą programatora lub standardowego EKG, a także rutynowe kontrole bezobjawowych pacjentów nie są, według ogólnie przyjętych zasad, wskazaniem do badania holterowskiego.

Z oczywistych względów problemy technicznej jakości zapisów elektrokardiogramu odgrywają po-

dobną, jeśli nie większą niż w przypadku pacjentów bez wszczepionego rozrusznika serca, rolę w prawidłowej analizie zapisu.

Problemy techniczne badania

W analizie holterowskiej EKG z zarejestrowanymi impulsami rozrusznika konieczne jest zastosowanie systemu pozwalającego na próbkowanie sygnału z częstotliwością umożliwiającą wykrycie impulsu wytwarzanego przez stymulator (tzw. iglicy). W zasadzie większość systemów holterowskich nie rozróżnia impulsów przedsionkowych i komorowych. Nowsze aparaty zaznaczają te dwie iglice na przykład za pomocą kolorów. Nie ma jednak pewności, czy impuls z elektrody przedsionkowej wywołuje depolaryzację przedsionka. Ocena skuteczności stymulacji przedsionkowej w układach stymulacji przedsionkowo-komorowej w badaniu holterowskim jest oceną wizualną zapisu przy dużym powiększeniu. Podstawowej oceny stymulacji (w zasadzie jedynie w zakresie częstotliwości rytmu, szczególnie w prostych rozrusznikach) można dokonać, wykorzystując aparaturę holterowską bez funkcji detekcji impulsu stymulującego. Jednak w większości przypadków, zwłaszcza skomplikowanych, gdy relacje między rozrusznikiem a rytmem własnym chorego są bardzo zmienne i złożone, badanie takie nie dość, że jest pracochłonne, to jeszcze nie do końca wiarygodne.

Zastosowanie układów stymulujących jedno- i dwubiegunowych, z uwagi na różną wielkość rejestrowanego przez system holterowski impulsu stymulatora i możliwe zakłócenia, wymaga różnego rozmieszczenia elektrod rejestrujących na ciele pacjenta:

- stymulacja jednobiegunowa (duża amplituda impulsu stymulacji w EKG) — jedna elektroda w pobliżu stymulatora, druga tak, aby linia je łącząca nie przebiegała w linii prostopadłej do linii stymulator-końcówka elektrody;

Adres do korespondencji: Prof. dr hab. med. Romuald Ochotny
I Klinika Kardiologii IK AM im. K. Marcinkowskiego
ul. Długa 1/2, 61–838 Poznań
Nadesłano: 21.02.2002 r. Przyjęto do druku: 19.03.2002 r.

- stymulacja dwubiegunowa (mała amplituda impulsu stymulacji w EKG) — elektrody umieszczone równolegle do końcówki elektrody stymulatora, w odległości 10–20 cm od siebie;
- stymulacja DDD — zaleca się indywidualne dobieranie rozmieszczenia elektrod rejestrujących, zwłaszcza gdy jedna z elektrod układu stymulującego jest jednobiegunowa, a druga — dwubiegunowa.

Znajomość powyższych zagadnień obowiązuje także techników podłączających rejestratory, a przyczyna zlecenia badania i dane o typie stymulacji i rodzaju elektrod stymulatora muszą być wyraźnie wypisane na skierowaniu [2, 7].

Analiza zapisu

Warunkiem poprawnej oceny zapisu jest znajomość funkcji i wartości czasowych stymulatora (najlepiej posługiwać się dołączonym do skierowania wydrukiem aktualnych parametrów stymulacji). Podstawowe dane, których znajomość jest niezbędna do wykonania analizy, to:

- tryb stymulacji (VVI, AAI, DDD, VDD, DDI);
- częstotliwość stymulacji (podstawowa, histereza, funkcja *rate responsive*, program nocny);
- *upper rate limit* — maksymalna częstotliwość rytmu przedsionków, wywołująca synchroniczną stymulację komór w stosunku 1:1 w układach stymulacji w trybie VAT;
- *maximum sensor rate* (przy włączonej funkcji *rate responsive*) — najwyższa częstotliwość stymulacji, przewidziana w czasie maksymalnego wysiłku;
- w układach dwujamowych — wartość opóźnienia przedsionkowo-komorowego (*AV delay*) i dane o jego ewentualnej adaptacji do zmian częstotliwości pracy serca.

Po wczytaniu badania do jednostki analizującej konieczna jest edycja zapisu, ponieważ tylko wtedy możliwe jest oczyszczenie zapisu z niepotrzebnych szumów i artefaktów, co pozwala na wykorzystanie analizy automatycznej przy zmienionych — w stosunku do proponowanych standardowo — wartościach granicznych relacji czasowych. Powyższe zmiany należy wprowadzać na podstawie informacji o programie stymulacji, dlatego nieodzowne jest posiadanie pełnych danych o układzie stymulującym. Mimo to analiza zapisu najczęściej wymaga dedukcji i cierpliwości.

W części systemów holterowskich możliwa jest analiza prospektywna z weryfikacją klasyfikacji morfologii zespołów i zaburzeń stymulacji w czasie samej analizy.

Wstępnej oceny zapisu można dokonać, oglądając histogram częstotliwości, który umożliwia obserwację okresów rytmu stymulowanego, okresów działania rozrusznika w tzw. programie nocnym, sprawdzenie przyczyny nagłej zmiany (przyspieszenie lub zwolnienie) rytmu itd.

Najczęściej dostępne systemy do analizy EKG ze stymulatorem pozwalają na ocenę wzajemnych relacji rytmu spontanicznego (odstępów między załawkami R) i stymulatora (odstępów impuls–R, R–impuls, impuls–impuls). Odstępów mierzone między impulsami są zliczane jako „zdarzenia” o danym czasie trwania i prezentowane (najczęściej) w postaci histogramów [8]. Oś odciętych histogramu przedstawia czas (w milisekundach), na osi rzędnych w postaci słupka prezentuje się liczbę zdarzeń o danym (wyznaczonym na osi czasu) czasie trwania.

Przekroczenie założonych wartości granicznych umożliwia określenie podstawowych zaburzeń stymulacji. Wobec wprowadzenia nowych trybów i funkcji stymulatorów wykresy wspomnianych zależności stają się bardzo skomplikowane. Po uzyskaniu wykresów przegląda się skupiska zliczeń w przedziałach czasu, w których takich zliczeń nie powinno być. Konieczne jest też, poprzez wywołanie fragmentów zapisu, sprawdzenie skupień zdarzeń w obszarach „granicznych”.

Wymienionych zaburzeń stymulacji poszukuje się w czterech podstawowych histogramach: odstępów R-R, odstępów R-S, odstępów S-S i odstępów S-R (gdzie R — załamek R, a S — iglica/artefakt stymulatora/*spike*). W histogramach tych szuka się podstawowych nieprawidłowości, określanych jako:

- FTO (*failure to output*), zdarzenie określane także jako FTP (*failure to pace*), czyli brak pobudzenia własnego lub artefaktu rozrusznika w zaprogramowanym odstępie czasu — ocenia się z pomiaru czasu od załamek R do następnego załamek R lub impulsu (S) stymulatora i notowane po przekroczeniu limitu w histogramach: R-R, R-S, S-S;
- FTC (*failure to capture*), czyli nieskuteczna stymulacja komorowa — ocenia się czas od impulsu (S) do następnego załamek R (histogram S-R), wyjątek stanowi sytuacja, gdy wyzwolenie impulsu nie jest blokowane natywnym pobudzeniem serca i pojawia się w okresie refrakcji komór;
- FTS (*failure to sense*), czyli brak blokowania stymulacji natywnymi pobudzeniami serca („załawkami R”); zdarzeń takich można się spodziewać w histogramie R-S.

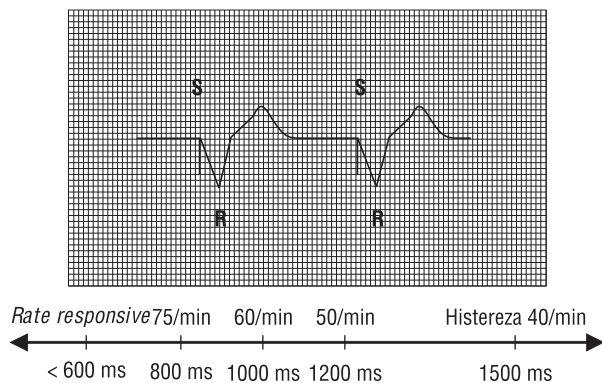
W którym histogramie i gdzie w nim szukać określonych nieprawidłowości?

Histogram R-R

Przedstawia zliczenia odstępów między załamkami spontanicznego rytmu serca. Zwolnienie częstotliwości serca poniżej zaprogramowanej dla danego stymulatora częstotliwości stymulacji powoduje zaprzestanie zliczania zdarzeń na histogramie R-R (stroma, prawa granica histogramu). Maksymalny odstęp R-R wynika z zaprogramowanej częstotliwości. Może być wydłużony w przypadku histerezy (mniej stroma prawa granica). Należy pamiętać, że odstęp ten może być też dłuższy, gdy jest włączony program nocny. Wydłużenie R-R ponad maksymalną, dopuszczalną wartość to potencjalne FTO. W praktyce każde skupisko zliczeń w tym zakresie wymaga sprawdzenia.

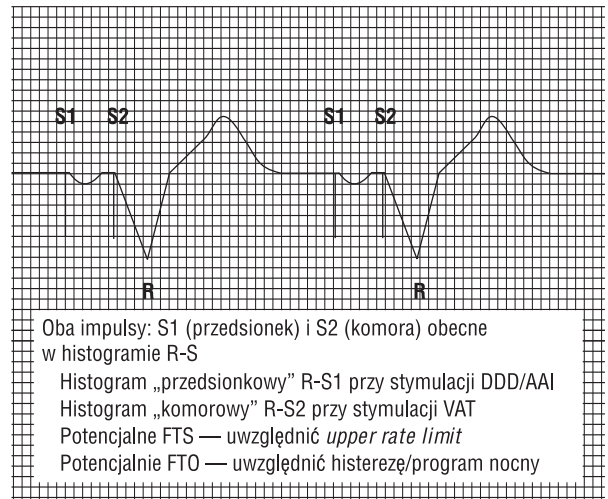
Histogram R-S

Prosta zależność między załamkiem własnym R a impulsem rozrusznika komplikuje się w rozrusznikach z programowaną częstotliwością, dwujamowych (DDD) oraz wyposażonych w funkcję adaptacji częstotliwości. Rycina 1 przedstawia możliwości zliczeń w stymulatorach VVI(R), a rycina 2 — w DDD między dwoma impulsami (przedsionkowym lub komorowym) oraz załamkiem R. Podczas stymulacji w trybie DDD należy pamiętać, że wartość *upper rate limit* (np. 140/min) ogranicza zliczanie (R-S2) do zakresu wyznaczonego



Rycina 1. Histogram R-S w stymulatorze VVI(R) przy uwzględnieniu histerezy 40/min (RR = 1500 ms) lub programu nocnego — 50/min (RR = 1200 ms) i funkcji *rate responsive* > 100/min (RR < 600 ms)

Figure 1. R-Spike histogram for VVI(R) mode pacemaker analysis. Markers on the histogram point R-S values for hysteresis 40 bpm (1500 ms); night programme 50 bpm (1200 ms) and rate responsive pacing > 100 bpm (RR < 600 ms)

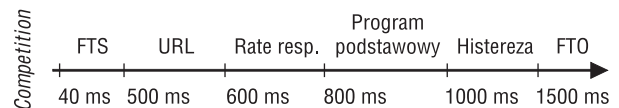


Rycina 2. Histogram R-S w stymulatorze DDD przy uwzględnieniu obecności impulsu przedsionkowego i komorowego

Figure 2. R-Spike histogram for DDD mode pacemaker analysis. Markers on the histogram points the R-S values including atrial and ventricular spikes

okresem odpowiadającym tej częstotliwości (tu około 430 ms).

Rycina 3 pokazuje, gdzie na skali czasu histogramu poszukiwać zliczeń dla założonych warunków stymulacji (stymulacja w trybie DDDR, z podstawową częstotliwością stymulacji 60/min, włączoną histerezą — 40/min, *rate responsive* do 100/min, *upper rate limit* — 120/min). Dla powyższych parametrów, w zakresie <math>< 1000\text{ ms}</math> i $> 600\text{ ms}$, w zależności od relacji między częstotliwością własnych załamków P oraz częstotliwością narzucałą przez sensor funkcji *rate responsive* do histogramu mogą być zliczane odstępy R-S2 (stymu-



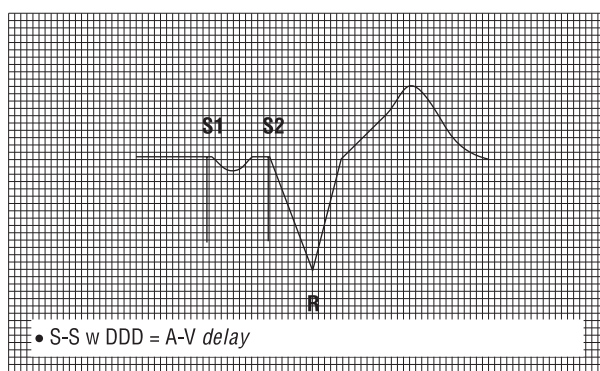
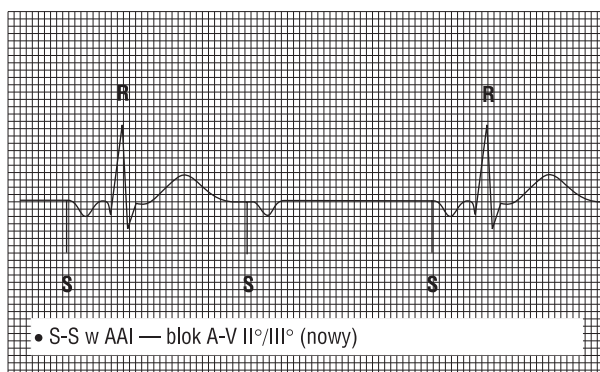
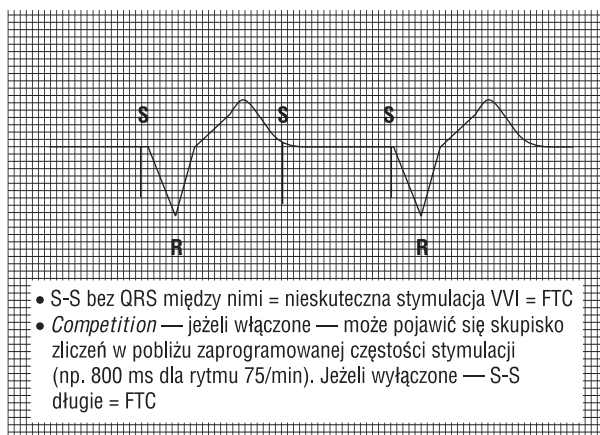
Rycina 3. Histogram R-S w stymulatorze DDD(R) przy uwzględnieniu rytmu podstawowego — 60/min (RR = 1000 ms), *rate responsive* — do 100/min (RR = 600 ms), tryb VAT do URL — 120/min (RR = 500 ms) i histerezy 40/min (RR = 1500 ms)

Figure 3. R-Spike histogram for DDD(R) mode pacemaker analysis. Markers on the histogram point the R-S values for basic rhythm 60 bpm (RR = 1000 ms), rate responsive pacing to 100 bpm (RR = 600 ms), VAT pacing to upper rate limit — 120 bpm (RR = 500 ms) and hysteresis 40 bpm (RR = 1500 ms)

lacja VAT, obecna iglica toru komorowego) lub R-S1 (impulsy stymulacji przedsionków albo przedsionków i komór, obecna iglica toru przedsionkowego).

Histogram S-S

Rycina 4 przedstawia sposób obliczania i możliwe zaburzenia sekwencji impuls-impuls (S-S).



Rycina 4. Histogramy S-S w stymulatorach: VVI, AAI i DDD

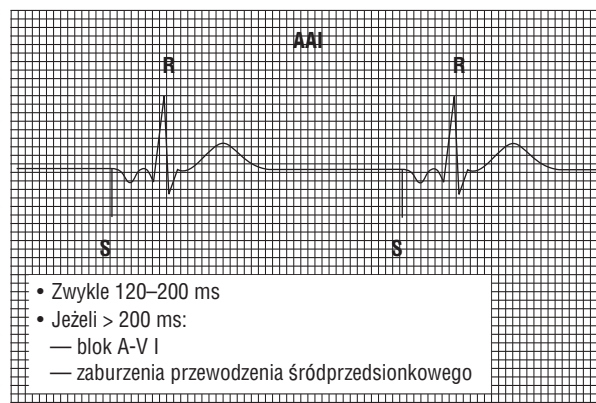
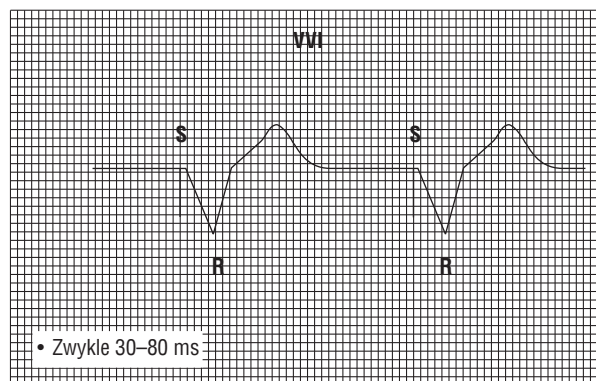
Figure 4. Spike-Spike histogram for VVI, AAI or DDD mode pacemaker analysis

Histogram S-R

Zliczenia w tym histogramie zależą od trybu stymulacji (VVI, AAI, DDD). Ryciny 5 i 6 prezentują możliwe „sytuacje” i skalę czasu z zakresami dla poszczególnych „zdarzeń”.

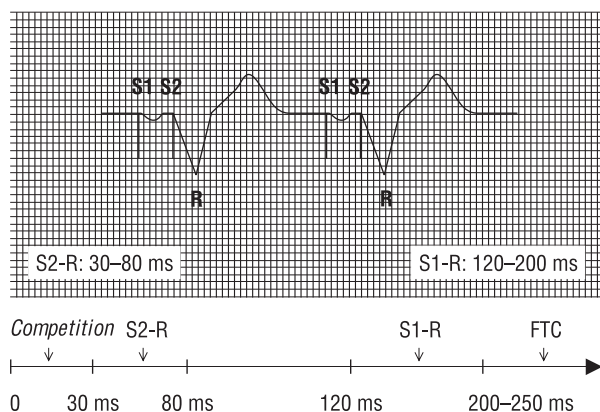
Analiza FTS/FTC

Pojawienie się impulsu rozrusznika w okresie refrakcji oczywiście nie wywołuje depolaryzacji, jest jednak odczytywane i liczone przez system holterowski oraz kwalifikowane jako nieprawidłowość. W celu oceny i bliższego zróżnicowania FTS i FTC zalecana jest najpierw analiza histogramu R-S, czyli analiza FTS. *Failure to sense* jest odejmowane od zdarzeń FTC w sytuacji, gdy impuls pojawia się w okresie refrakcji i każde FTS jest FTC (ryc. 7). Przesuwanie znacznika limitującego FTS w zakresie między 300 ms a wartością odpowiadającą zaprogramowanej częstości stymulacji (np. 800 ms dla 75/min), z następową reanalizą, spowoduje, że mniej lub więcej zdarzeń znajdzie się w FTC.



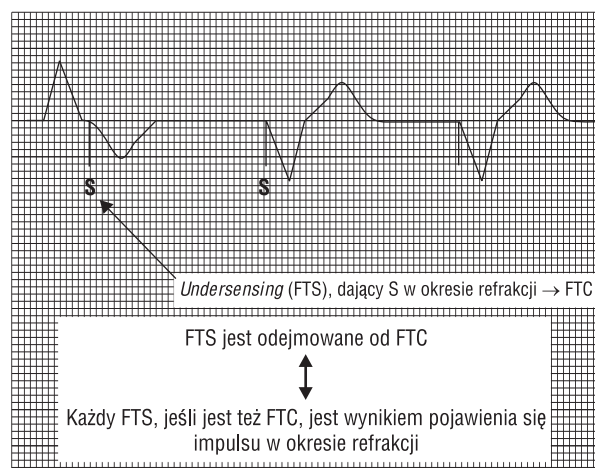
Rycina 5. Histogram S-R w stymulatorach VVI i AAI

Figure 5. Spike-R histogram for VVI and AAI mode pacemaker analysis



Rycina 6. Histogram S-R w stymulatorze DDD przy uwzględnieniu obecności impulsu przedsionkowego i komorowego

Figure 6. Spike-R histogram for DDD mode pacemaker analysis. Markers on the histogram points the S-R values including atrial and ventricular spikes



Rycina 7. Zasady analizy FTS/FTC

Figure 7. FTS/FTC analysis

Pobudzenia zsumowane (zderzone, kompetycyjne — *fusion, competition*; pseudokompetycyjne — *pseudo-fusion*)

Jeśli depolaryzacja własna zbiega się w czasie z impulsem stymulatora, powodującym również depolaryzację, jest to opisywane jako pobudzenie kompetycyjne. Powoduje ono zmianę kształtu pobudzenia i może być zliczane i prezentowane w histogramie. Podobnie zespoły pseudokompetycyjne, powstające wskutek prawie jednoczesnego pobudzenia własnego i impulsu, który nie zmienia morfologii zespołu komorowego.

Pojawienie się iglicy stymulacji w obrębie zespołu QRS nie musi świadczyć o *undersensingu* R. Układ detekcji stymulatora reaguje na zmiany potencjału wewnątrz serca, które następnie podlegają filtrowaniu, dlatego możliwe jest niewielkie przesunięcie w fazie w stosunku do EKG powierzchniowego.

Zasadą jest, że nie wszystkie interwały i zliczenia są przetwarzane i umieszczane w histogramie: — tylko pierwszy impuls testuje się dla FTS i dodaje się do histogramu R-S; — tylko czas od pierwszego do ostatniego impulsu dodaje się do histogramu S-S; — tylko pierwszy impuls i pierwszy załamek R wlicza się do pobudzeń zsumowanych (*competition*); — tylko ostatni impuls i ostatni załamek R wlicza się do pobudzeń zsumowanych.

Nierzadkim, dyskusyjnym problemem bywa ocena częstotliwości rytmu serca u pacjentów z wszczepionym układem przedsionkowym, u których dochodzi do utrwalonego migotania przedsionków. Ze względu na częsty w tej sytuacji brak blokowania stymulacji przedsionkowej, w zapisie mogą występować impulsy stymulatora, które bywają przez układ analizujący interpretowane jako załamki R, co fałszywie zawiąza częstotliwość rytmu komór.

Piśmiennictwo

1. Standardy postępowania w elektroterapii serca. Badania kontrolne i prowadzenie ambulatoryjne osób z układem stymulującym serca: przedsionkowym, komorowym, przedsionkowo-komorowym. Sekcja Stymulacji Serca i Elektrofizjologii Klinicznej Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego. *Kardiolog. Pol.* 1999; 50 (supl. I): 28–38.
2. Standardy postępowania dotyczące wybranych zagadnień elektrokardiologii nieinwazyjnej Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego. Cz. III. Badanie holterowskie — analizy uzupełniające. Ocena funkcji stymulatora w badaniu holterowskim. *ESS* 1999; 5 (supl. II): 36–40.
3. Wrancik J.K., Chudzik M., Cygankiewicz I., Maciejewski M., Wojtasik L., Bartczak K., Kargul W. Comparison of pacemaker Biotronik Actros S memory data and 24 hour holter monitoring. *ANE* 2000; 5: 26 (streszczenie).
4. Barold S.S. Usefulness of Holter recordings in the evaluation of pacemaker function: standard techniques and intracardiac recordings. *ANE* 1998; 3: 345–379.
5. Assessment of pacemaker and ICD function. ACC/AHA Guidelines for ambulatory electrocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1999; 34: 931–932.

6. Wranicz J.K., Chudzik M., Cygankiewicz I. Wartość 24-godzinne monitorowania EKG metodą Holtera w rutynowej kontroli asymptomatycznych pacjentów z wszczepionymi stymulatorami VVI. Folia Cardiol. 2001; 8 (supl. A): 31–34.
7. Ochotny R. Ocena czynności stymulatora serca w badaniu EKG metodą Holtera. Folia Cardiol. 2001; 8 (supl. A): 11–15.
8. Pacemaker Analysis — Clinical Guide. Materiały firmy Oxford.