

Ocena stymulacji serca w elektrokardiogramie

The evaluation of the cardiac pacing in the electrocardiogram

Dariusz Kozłowski

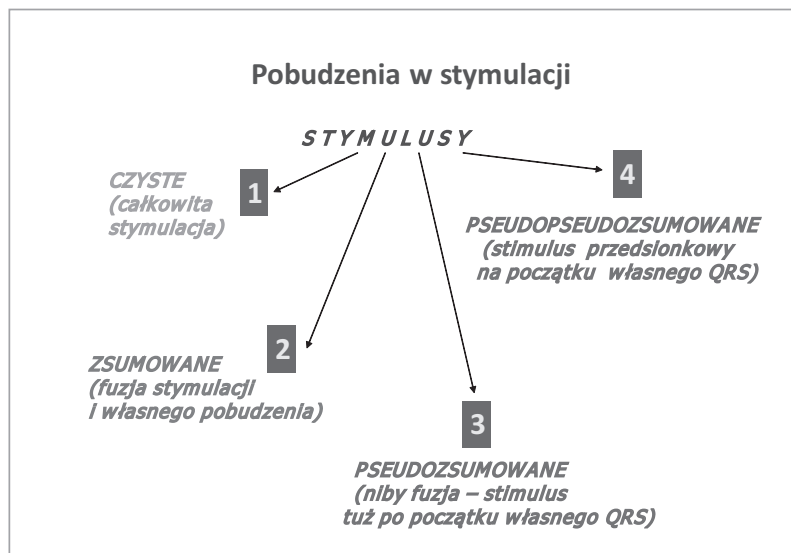
Klinika Kardiologii i Elektroterapii Serca, II Katedra Kardiologii, Gdański Uniwersytet Medyczny

W cyklu *pogadank o elektrokardiografii* zaczęliśmy omawiać zagadnienia związane ze stałą stymulacją serca. Do tej pory omówiłem typy stymulacji i stymulatorów wraz z ich odpowiednim kodowaniem, wpływ położenia elektrody wewnątrzsercowej na stymulację serca, przedstawiłem typowe zapisy elektrokardiograficzne podstawowej stymulacji jednojamowej (przedsionkowej – AAI, komorowej – VVI) oraz dwujamowej (przedsionkowo-komorowej – VAT, DDD). Ponadto skupiliśmy się na podstawowych zasadach oceny funkcji rozrusznika, powołując się na załączone w tekście wydruki z programów stymulatora i tłumacząc akronimy: histereza, ERI, EOL, on demand itd.). W dzisiejszym artykule będę chciał przedstawić cechy skutecznej i nieskutecznej stymulacji, zarówno przedsionkowej, jak i komorowej.

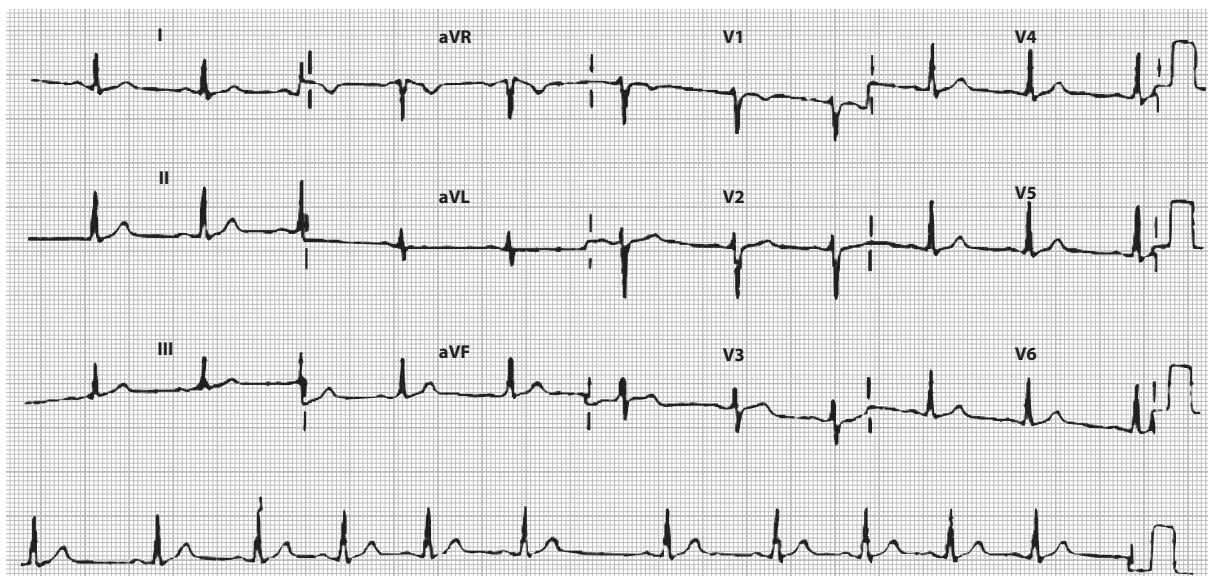
Typy pobudzeń wystymulowanych

Odpowiedź na impuls rozrusznika może być trojakiego rodzaju: (1) zespół czysto wystymulowany – *paced*, (2) zespół zsumowany – *fusion*, (3) zespół pseudozsumowany – *pseudofusion*, (4) zespół pseudopseudozsumowany – *pseudopseudofusion* (rycina 1).

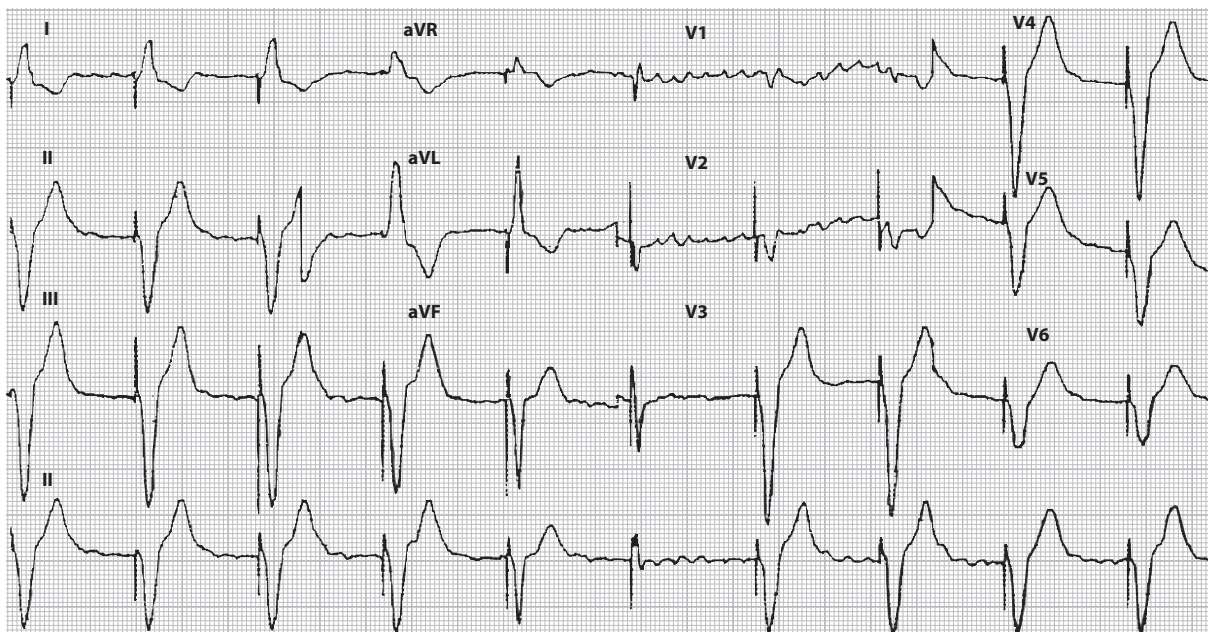
Najłatwiej będzie mi przedstawić wyżej wyszczególnione typy pobudzeń wystymulowanych na podstawie stymulacji komorowej, w której powstaje zespół komorowy QRS. Prawidłowy, własny zespół komorowy jest wąski (80 ms) i różnie ukształtowany w odpowiednich odprowadzeniach: od morfologii rS (V1) przez RS, qRS, qRs (V3-V4) do qR (V5). Przedstawia to zapis EKG na rycinie 2.



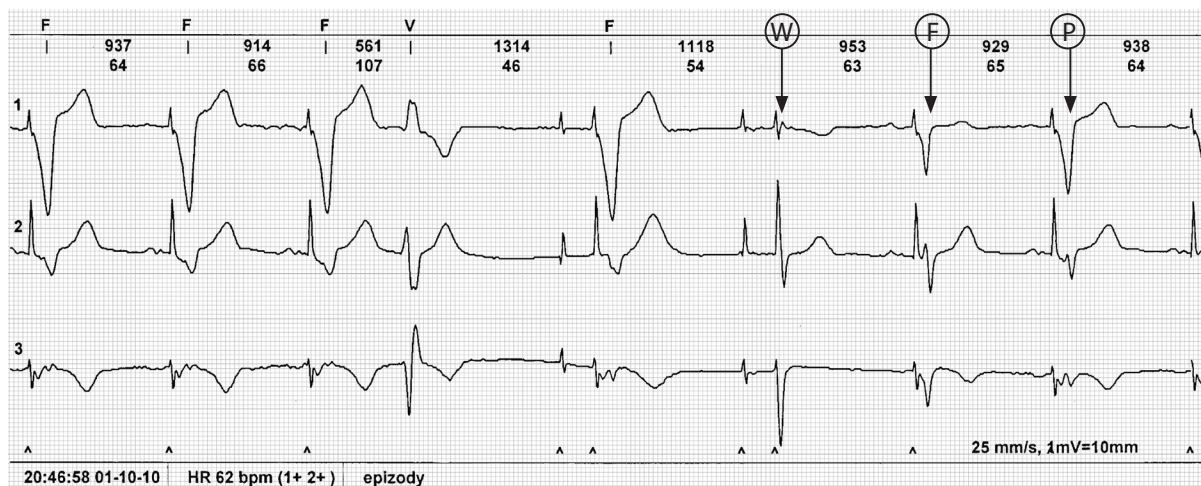
Rycina 1. Zapis elektrokardiograficzny artefaktu stymulacji w standardowym elektrokardiogramie (źródło własne)



Rycina 2. Zapis elektrokardiograficzny własnych zespołów komorowych w standardowym elektrokardiogramie (źródło: Zimmerman F.H.: *Clinical Electrocardiography. PreTest self-assessment and review*. McGraw-Hill Inc, New York 1994)



Rycina 3. Zapis elektrokardiograficzny stymulacji VVI, w której zespoły komorowe są w pełni wystymulowane („czysta stymulacja”), a w przedsionkach występuje migotanie (AF) (źródło własne)



Rycina 4. Zapis elektrokardiograficzny zespołów komorowych *zsumowanych* w zapisie holterowskim. Legenda: W – własny zespół komorowy, F – fuzja, *zsumowany* zespół komorowy, P – pacing, w pełni wystymulowany zespół komorowy (źródło własne)

W rytmie wyłącznie pobudzonym przez stymulator powstaje w pełni *wystymulowany zespół komorowy* (1). Jest on szeroki (120 ms) i przyjmuje morfologię bloku lewej odnogi pęczka Hisa (najczęściej lewej, ponieważ stymuluje się głównie komorę prawą). Taki poszerzony zespół o morfologii bloku śródkomorowego i poprzedzony artefaktem stymulacji – jest czysto wystymulowanym pobudzeniem komorowym (rycina 3). Oznacza to, że komora kurczy się tylko pod wpływem impulsu elektrycznego pochodzącego ze stymulatora tzw. „czysta stymulacja”.

Oprócz takich w pełni wystymulowanych zespołów komorowych, w zapisach elektrokardiograficznych dokonanych podczas stymulacji serca mogą występować także inne formy pobudzeń stymulowanych. Czasem zdarza się, że rytm stymulowany nakłada się w czasie na pobudzenie własne i powstaje wówczas *pobudzenie zsumowane* (2). Zsumowana depolaryzacja komorowa wynika z szybkiego przewodzenia przez natywny układ His-Purkinje (bodziec własny) i równocześnie wolniejszego przewodzenia przez zwykłe komórki miokardium pobudzone przez stymulator (impuls ze stymulatora). Zespoły zsumowane mają więc postać pośrednią pomiędzy zespołami własnymi i wystymulowanymi. Są dzięki temu trochę węższe niż czysto wystymulowane, a nieco szersze niż własne. Proszę zaobserwować wszystkie trzy typy zespołów komorowych na kolejnej rycinie (rycina 4), która tym razem jest zapisem elektrokardiograficznym metodą

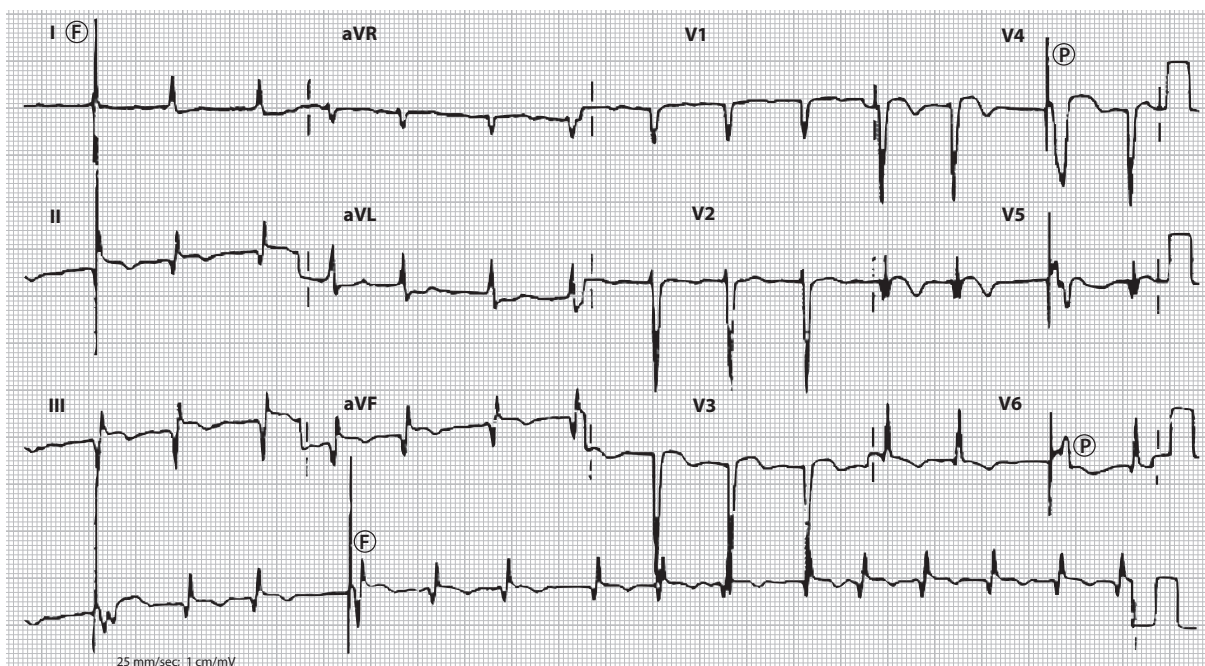
Holtera. W 3-kanalowym zapisie stymulatora dwukomorowego DDD (pracującego głównie w trybie VAT) można zauważyć, że pobudzenie 6. – jest własnym zespołem komorowym QRS (W), pobudzenie 7. – jest zespołem *zsumowanym* (F), a kolejne 8. – jest zespołem w pełni wystymulowanym (P). Zespoły zsumowane pod względem morfologicznym mają cechy spontanicznego zespołu komorowego i zmodyfikowanego jak w bloku odnogi LBBB. Taki pojedynczy zespół zsumowany przedstawiono na elektrokardiogramie z ryciny 5 (pierwsze pobudzenie w odprowadzeniach kończynowych I, II i czwarte pobudzenie w rhythm strip II).

Kolejnym rodzajem bodźca prowokowanego przez układ stymulujący jest *zespół pseudozsumowany* (3). Jego powstanie jest uzależnione od odpowiedniej sytuacji klinicznej, w której dochodzi do hamowania się stymulatora. Prawdopodobnie rozrusznik serca hamuje się wówczas, gdy elektrogram wewnątrzsercowy wygeneruje odpowiednie napięcie. Jednak w tym samym czasie w elektrokardiogramie z powierzchni ciała może się już zapisać znaczna część własnego zespołu komorowego. Stymulator może wtedy wysłać impuls komorowy w czasie trwania spontanicznego zespołu, a to oznacza, że impuls ze stymulatora przypadnie w refrakcji bezwzględnej mięśnia komory. Nie jest wówczas w stanie wywołać depolaryzacji komory. Artefakt takiej stymulacji występuje w standardowym zapisie tuż po początku zespołu QRS. Takie pobudzenie nosi nazwę pseudofuzji

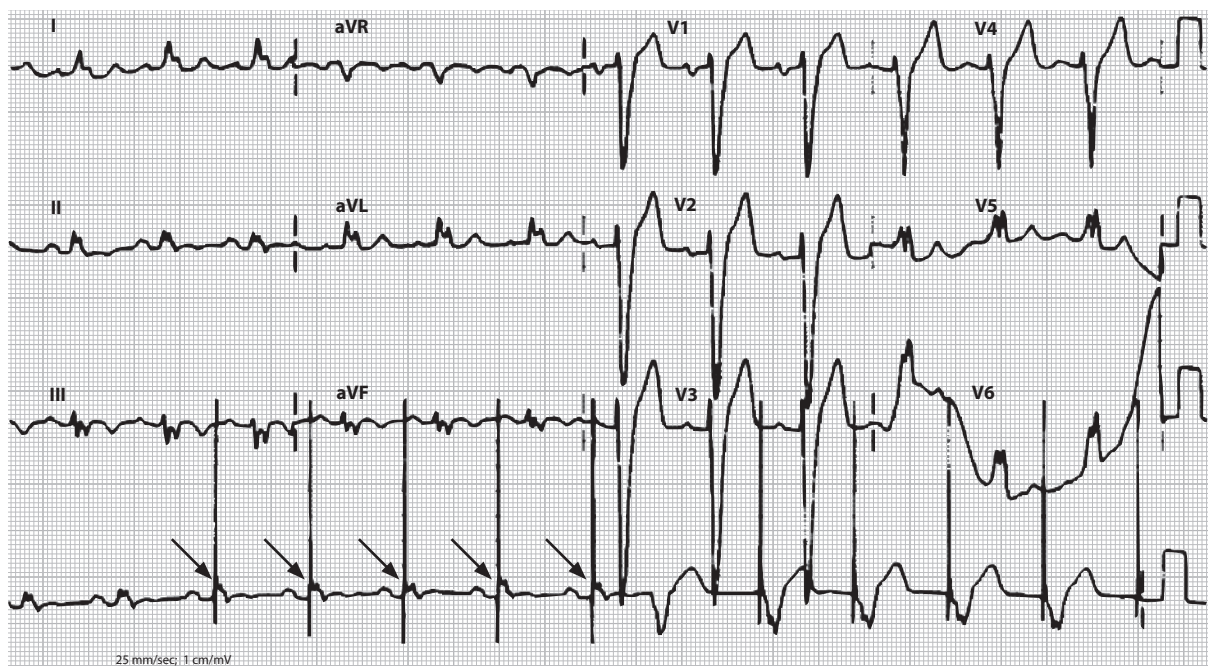
(*pseudofusion*) albo pobudzenia pozornie zsumowanego albo inaczej mówiąc – pseudozsumowanego (rycina 6).

Analogicznie do zespołu pseudozsumowanego może powstawać kolejny typ zespołu wystymulowanego zwany *pseudopseudozsumowanym* (4). Jego powstanie wynika z tego, że w stymulatorach dwujamowych występuje możliwość pojawienia się artefaktu stymulacji przedsionkowej z początkiem trwania spontanicznego zespołu komorowego QRS. Tak więc stymulator wypuszcza impuls przedsionkowy podczas trwania procesu depolaryzacyjnego komory. Takie wbudowanie impulsu (*superimpozycja*) nieskutecznej *a priori* stymulacji przedsionkowej z początkiem trwania QRS-u powoduje powstanie zespołu pseudopseudozsumowanego. Niestety, w zapisie elektrokardiograficznym jest to zespół najtrudniejszy do rozpoznania. Nie wszystkie elektrody z 12-odpro-

dzeniowego zapisu elektrokardiograficznego są w stanie odzwierciedlić taką sytuację. Wynika to z faktu, że stymulacja przedsionkowa – a właściwie artefakty tej stymulacji – są najlepiej rozpoznawalne w odprowadzeniach z płaszczyzny czołowej, a nie horyzontalnej. Tak więc artefakty te najlepiej widać w odprowadzeniu II, a gorzej już w I. Ale praktycznie nie ma ich w odprowadzeniach przedsercowych, np. V1 (zwłaszcza, jeśli są dwubiegunowe). Dlatego niektórzy określają zespoły pseudopseudozsumowane jako „niewidoczne” (odpr. przedsercowe) lub „prawie niewidoczne” (odpr. kończynowe). Należy zaznaczyć, że wyzwolenie impulsu przedsionkowego w okresie początkowej depolaryzacji komory jest możliwe dzięki zbyt późnemu wystawieniu fali R po tym, jak depolaryzacja komorowa zaczęła się już w elektrodach powierzchniowego zapisu.



Rycina 5. Zapis elektrokardiograficzny artefaktu stymulacji w standardowym elektrokardiogramie. Legenda: F – zsumowany zespół komorowy, P – pacing, w pełni wystymulowany zespół komorowy (źródło: Zimmerman F.H.: *Clinical Electrocardiography. PreTest self-assessment and review*. McGraw-Hill Inc, New York 1994)



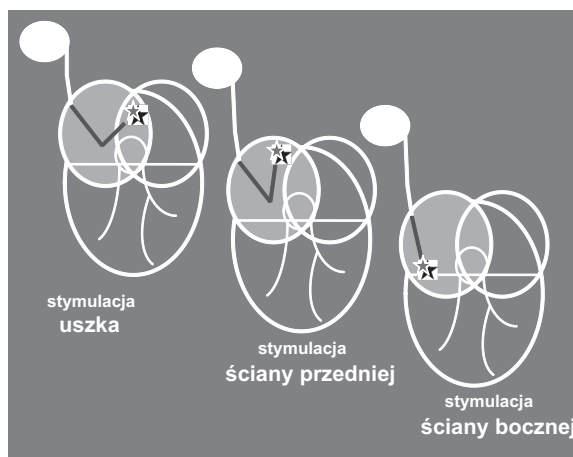
Rycina 6. Zapis elektrokardiograficzny artefaktu stymulacji w standardowym elektrokardiogramie. Strzałkami oznaczono pobudzenia pseudosumowane
(źródło: Zimmerman F.H.: *Clinical Electrocardiography. PreTest self-assessment and review*. McGraw-Hill Inc, New York 1994)

Morfologia wystymulowanego załamka P w stymulacji przedsionkowej

Stymulacja skuteczna

Morfologia wystymulowanego załamka P zależy w głównej mierze od położenia elektrody. Właściwie końcówka elektrody może być ufiksowana w różnych miejscach. Jednak typowym miejscem dla stymulacji przedsionkowej jest uszko prawego przedsionka. Ale zdarza się, że elektrody mogą być zlokalizowane na ścianie przedniej lub bocznej prawego przedsionka (rycina 7). Dzieje się tak głównie u chorych po zabiegach kardiochirurgicznych, podczas których, uszko prawego przedsionka jest mocno zniekształcone lub w ogóle nie istnieje. W obrębie przedsionka elektrodę można również wprowadzić w okolicę przegrody międzyprzedsionkowej lub wręcz do zatoki wieńcowej (celem stymulacji lewego przedsionka).

Stymulacja *uszka prawego przedsionka* charakteryzuje się tym, że front pobudzenia elektrycznego wychodzący z elektrody rozchodzi się głównie w dół przedsionków i dodatkowo odprzegrodowo. Tak więc



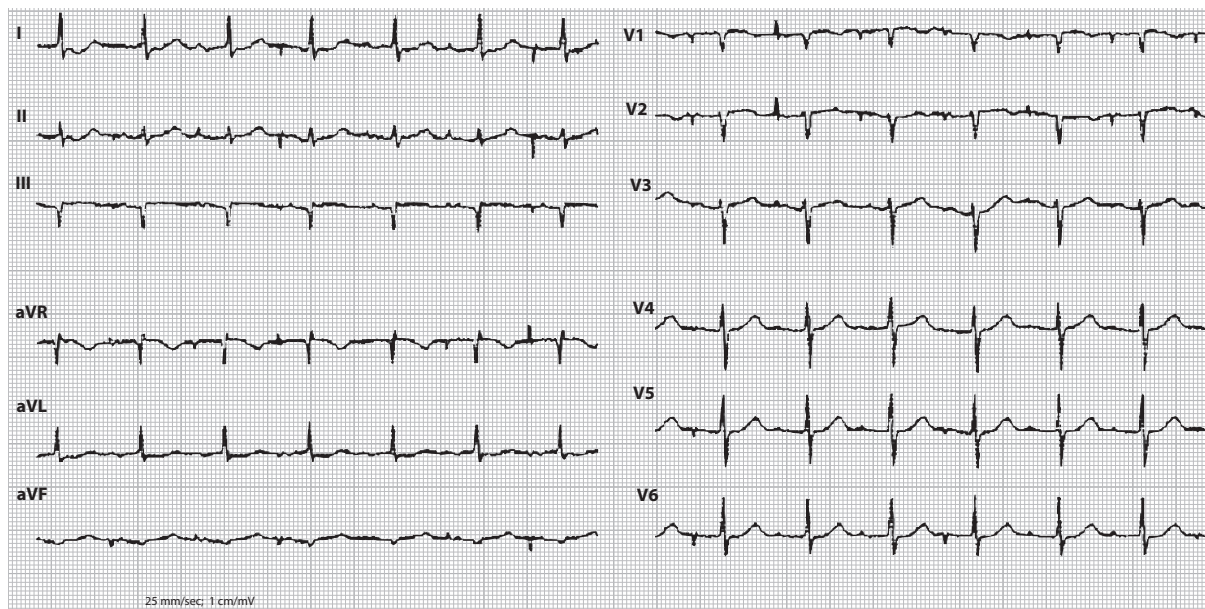
Rycina 7. Schematy wyjaśniające pochodzenie wystymulowanego załamka P u chorych z różnie implantowaną elektrodą przedsionkową (źródło własne)

w odprowadzeniach kończynowych II, III, aVF wychylenie jest dodatnie (front depolaryzacji idzie z góry na dół), natomiast w odprowadzeniach aVR i aVL wychylenia są odpowiednio ujemne i dodatnio-ujemne (front depolaryzacji idzie od prawej strony do lewej). Niewielkie wychylenie ujemne fali P w odprowadzeniu aVL jest spowodowane wczesną aktywacją uszka przedsionkowego, która następnie kieruje się z prawa na lewo. W odprowadzeniach przedsercowych – V1 morfologia załamka jest dodatnio-ujemna, w V2 – płaska, a w V3-V6 dodatnia. Taki właśnie obraz elektrokardiograficzny wskazuje, że elektroda przedsionkowa jest położona w uszku prawego przedsionka. Szczegółowo można tę sekwencję pobudzenia przeanalizować na elektrokardiogramie z ryciny 8.

Inną możliwością położenia elektrody jest jej ufkosowanie w górnej części przedniej ściany przedsionka prawego. Tak powstaje stymulacja *ściany przedniej prawego przedsionka*. Cechą charakterystyczną jest to, że w odprowadzeniach I, II, aVF polaryzacja fali P jest dodatnia, ale już w odprowadzeniu III – wychylenie jest płaskie. Dodatkowo w odprowadzeniu aVR wychylenie powinno być ujemne, a w aVL – dodatnie. Również w odprowadzeniu przedsercowym V1 wychylenie przyjmuje polaryzację ujemną. Podsumowując, aktywacja w tego typu stymulacji przedsionkowej

biegnie od góry (II, aVF), ze strony prawej na lewą (I, aVR, aVL) i nieco ku gorze w lewo (stąd płaskie wychylenie w III). V1 potwierdza, że pobudzenie oddala się od tej elektrody idąc w kierunku tylnym. Nie zawsze musi być takie położenie elektrody na ścianie przedniej – wystarczy, że będzie bardziej przesunięte doprzegrodowo i wtedy załamek P będzie dodatni (+) w odprowadzeniach I, II, III i aVF, ujemny (-) w aVR i płaski (~) w aVL.

Nie zawsze udaje się umieścić elektrodę w wyżej opisanych pozycjach, dlatego czasem wybiera się po prostu miejsce o dobrych parametrach stymulacji i sensingu. Właśnie tak można umiejscowić elektrodę nad *uściem zatoki wieńcowej*. Załamek P w odprowadzeniach II, III, aVF jest ujemny, a w aVL i aVR dodatni. Aktywacja idzie więc z dołu do góry, a także w kierunku bocznym (odprzegrodowym) w kierunku prawym (do aVR – dodatniego) i lewym (do aVL – dodatniego). Dodatkowo w odprowadzeniach przedsercowych wychylenie załamka P w V2-V3 jest płaskie, a w V4 ujemne. Z kolei w V1 zauważa się końcowe dodatnie wychylenie załamka znajdujące się tuż przed zespołem komorowym. Świadczy to o istotnym opóźnieniu w aktywacji przedniej ściany prawego przedsionka. Pamiętać jednak należy, że w odprowadzeniach przedsercowych V1, V2 akty-



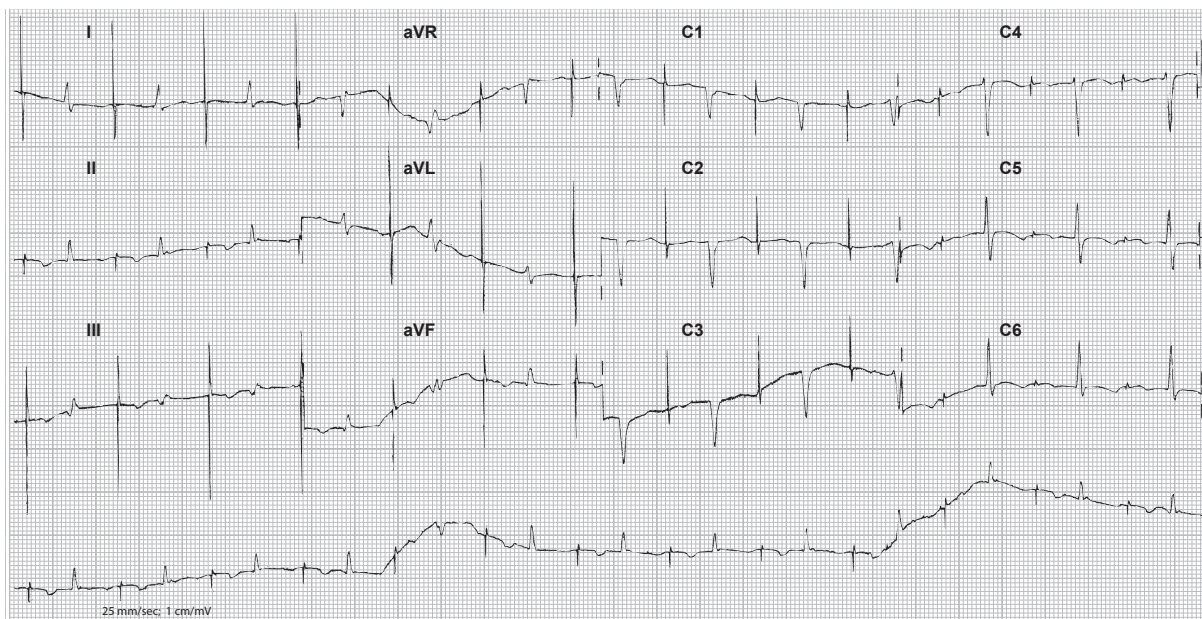
Rycina 8. Stymulacja „uszkowa” AAI 60/min (źródło własne)

wacja prawego przedsionka jest lepiej zaznaczona niż aktywacja lewego. Inną możliwością umiejscowienia elektrody jest głębsze wprowadzenie do światła zatoki wieńcowej. Stymulujemy wówczas *część główną zatoki wieńcowej* położoną blisko przegrody międzyprzedsionkowej. Charakterystyczny dla tej stymulacji obraz

elektrokardiograficzny pokazuje ujemną morfologię wystymulowanych załamków P w odprowadzeniach II, III, aVF oraz V4-V6, dodatnio-ujemną w odprowadzeniach I i V3 oraz dodatnią w pozostałych, czyli aVR, aVL, V1-V2 (porównaj tabela 1). Dodatkowo wychylenie w aVL oznacza, że pobudzenie jest zlokalizowane

Tabela 1. Morfologia wychyleń stymulowanej fali P podczas różnych typów stymulacji jednoprzedsionkowej (źródło własne). Legenda: (+) – wychylenie dodatnie, (-) – wychylenie ujemne, (~) – wychylenie płaskie

ODPROWADZENIA	PRAWY PRZEDSIONEK			LEWY PRZEDSIONEK
Odprowadzenia kończynowe i przedsercowe	Uszko przedsionka	Ściana przednia	Ujście zatoki wieńcowej	Dystalna zatoka wieńcowa
I	+	+	+/-	-
II	+	+	-	-
III	+	~	-	-
aVR	-	-	+	+/-
aVL	+/-	+	+	-
aVF	+	+	-	-
V1	+/-	-	+	+
V2	~	+/-	+	~
V3	+	+	+/-	-
V4	+	+	-	-
V5	+	+	-	-
V6	+	+	-	-

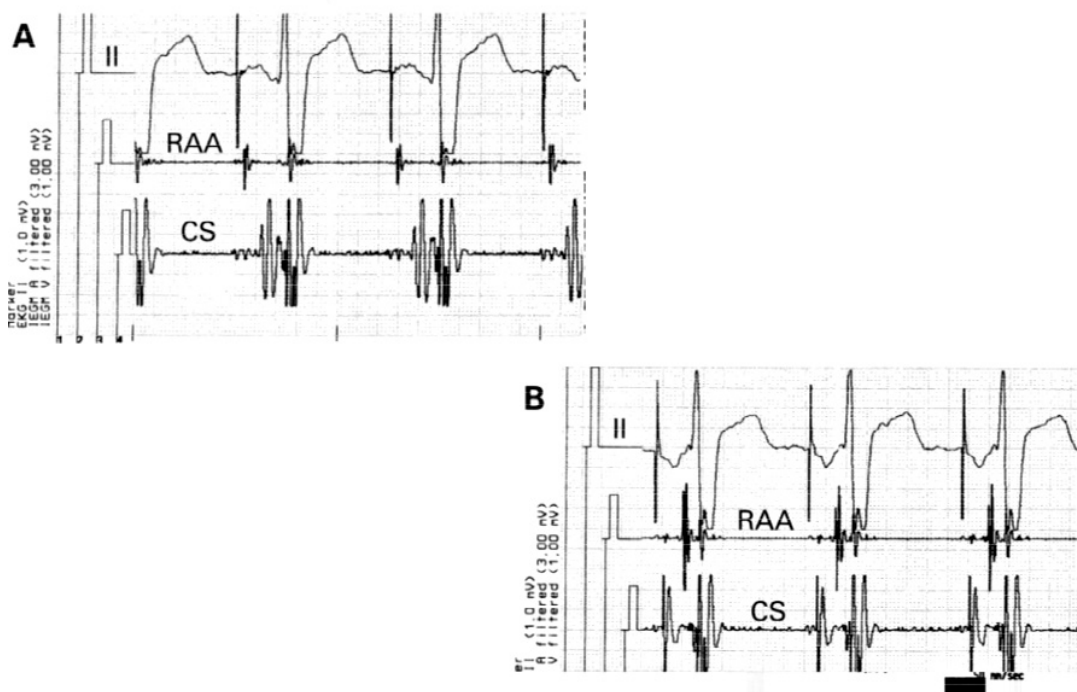


Rycina 9. Stymulacja „wieńcowa” AAI 60/min. Należy zwrócić uwagę na współistnienie zaburzeń przewodzenia przedsionkowo-komorowego (blok I stopnia) i międzyprzedsionkowego (blok międzyprzedsionkowy) (źródło własne)

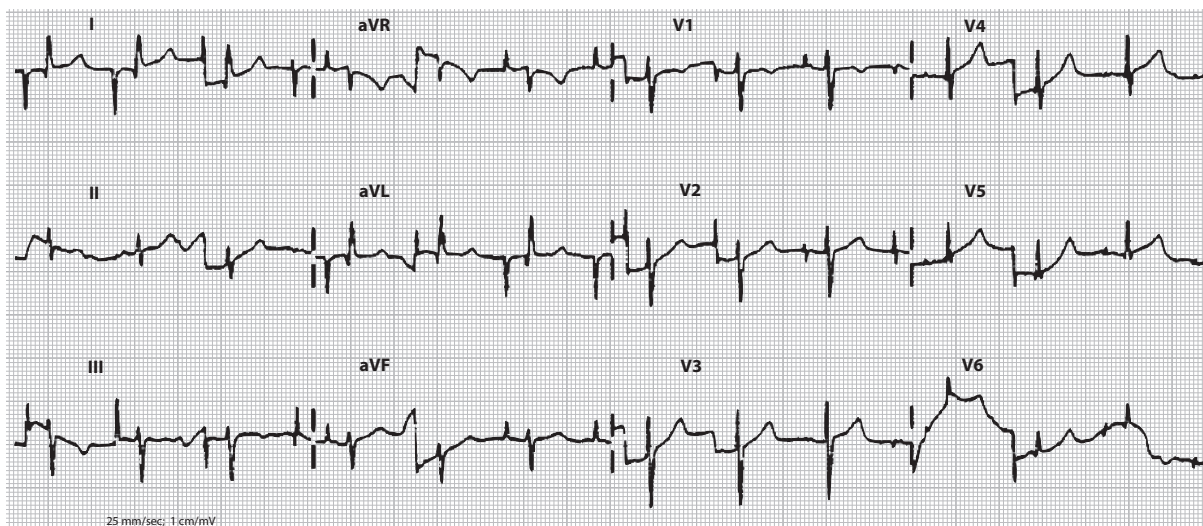
blisko przegrody międzyprzedsionkowej i rozchodzą się od dołu przedsionka (ujemne odprowadzenia dolnościenne) do góry, w stronę elektrod położonych górnościnnie (aVR, aVL). Co charakterystyczne dla położenia wewnątrzwieńcowego elektrody – w V1 i V2 początkowe części załamków P są płaskie, a dopiero później nabierają dodatniego charakteru. Oznacza to, że pobudzenie idzie od dołu i ze strony lewej. Tak więc ten typ stymulacji można nazwać pogranicznym, czyli na granicy prawego i lewego przedsionka (rycina 9). Na rycinie 9 została ona jednak nazwana „wieńcową” od zatoki wieńcowej.

W stymulacji *dwuprzedsionkowej* wystymulowany załamek P może przyjmować bardzo różną morfologię, bezpośrednio zależną od położenia elektrod w prawym i lewym przedsionku. W zależności od ich lokalizacji załamek może być bardzo dobrze widoczny, albo bardzo słabo, a nawet – mimo skutecznej stymulacji – niewidoczny. Jeśli by najpierw rozpatrzyć tworzenie załamka prawo-przedsionkowego, jest to aktywacja typowa dla stymulacji uszkowej. Tak więc, jak wcześniej opisałem, wychylenia są dodatnie w II (+), III(+), aVF (+), ujemne w aVR (-), dodatnio-ujemne w aVL ($\pm$),

dodatnio-ujemne w V1 ($\pm$), w V2 płaskie ($\sim$) i dodatnie w V3-V6 (+). Natomiast położenie lewo-przedsionkowe daje wychylenia: ujemne w II (+), III(+), aVF (+), dodatnio-ujemne w aVR ($\pm$), ujemne w aVL (-), dodatnie w V1 (+), w V2 płaskie ($\sim$) i ujemne w V3-V6 (-). Na rycinie 10 przedstawiono osobno zapis stymulacji prawego i lewego przedsionka. Wystymulowany załamek P jest przedstawiony w II odprowadzeniu kończynowym oraz w zapisie wewnątrzsercowym (elektrogram pochodzący z elektrody). Jak można zauważyć, różna morfologia załamka w stymulacji zarówno prawego, jak i lewego przedsionka wynika z miejsca stymulacji. Podczas stymulacji przedsionka prawego (panel A) pierwsze wychylenie (wystymulowane) zapisuje się w odprowadzeniu z uszka prawego RAA (ang. *right atrial appendix*) a dopiero potem samoistnie przechodzi do CS (ang. *coronary sinus*), czyli lewego przedsionka. Na drugim wykresie (panel B) mamy do czynienia ze stymulacją lewego przedsionka. Dlatego pierwsze wychylenie (wystymulowane) zapisuje się w odprowadzeniu z zatoki wieńcowej CS a dopiero potem samoistnie przechodzi do prawego przedsionka (czyli RAA) (rycina 10).



Rycina 10. Zasady powstawania załamka P w stymulacji biatrialnej (źródło własne)



Rycina 11. Stymulacja BiA 70/min (źródło własne)

Aby zrozumieć stymulację dwuprzedionkową – resynchronizującą, należy – oprócz znajomości lokalizacji elektrod – ustalić zależności czasowe stymulowanych jam. Jeśli pobudzenie obydwu przedsionków będzie prawie równoczesowe, załamki P (w II ujemny z lewego przedsionka i w II dodatni z prawego) nie będą widoczne. Tak wygląda morfologia tych załameków na rycinie 11. Po artefakcie stymulacji w odprowadzeniach II, III, aVF praktycznie nie widać załamka. Jednak dokładna inspekcja odprowadzenia I pokazuje, że po iglicy stymulacji fala P wychyla się najpierw do góry a później do dołu. Oznacza to, że najpierw stymulacja wychodzi z prawego przedsionka (w I pierwsza komponenta dodatnia), a tuż później z lewego (w I druga komponenta ujemna).

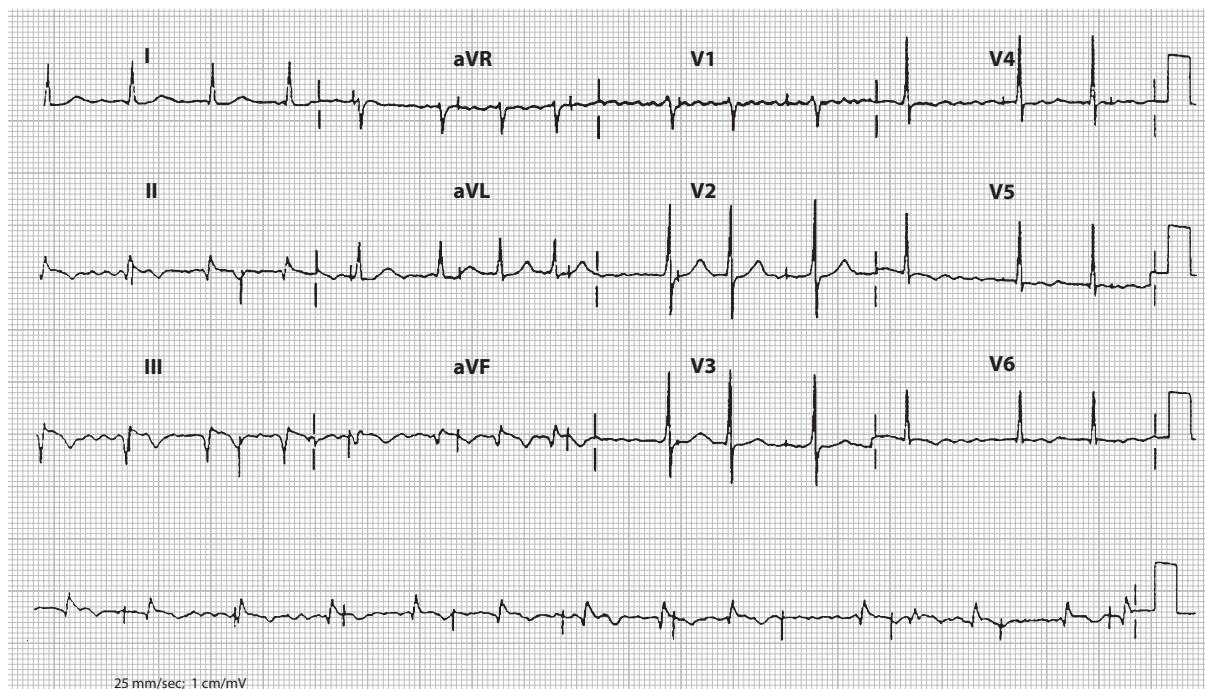
Podsumowując, typowa stymulacja dwuprzedionkowa daje załamek P, który jest wypadkową dwóch załameków pochodzących z różnych przedsionków. Dlatego w odprowadzeniach I i aVL wychylenia są ujemno-dodatnie z wyraźniejszym wychyleniem ujemnym (-) a w doprowadzeniach kończynowych II, III i aVF bardziej dodatnio-ujemne z wyraźniejszym wychyleniem dodatnim ($\pm$). Z kolei w odprowadzeniach przedsercowych: w V1 dominuje wychylenie dodatnie (+), zaś w V2-V6 – ujemne (-). W ostatnim z odprowadzeń aVR wychylenie jest dodatnio-ujemne ($\pm$). Oczywiście pod względem morfologicznym załamek P będzie spełniał także kryteria zaburzeń przewodzenia międzyprzedsionkowego bądź śródprzedsionkowego.

Dlatego też jego kształt może świadczyć o wolnym przewodzeniu w lewym przedsionku (składowa prawoprzedsionkowa w II, III), co potwierdza ujemność w V5-V6 (rycina 11).

Stymulacja nieskuteczna

Skuteczną stymulację można rozpoznać po tym, że praktycznie bezpośrednio po „piku” stymulatora (w praktyce opóźnienie kilku lub kilkunastu milisekund jest niemożliwe do zaobserwowania w standardowym EKG). Wyjątek stanowią chorzy ze znacznym uszkodzeniem serca, z przerostem i towarzyszącym zwłóknieniem, u których odstęp ten może ulec wydłużeniu do kilkudziesięciu milisekund, jednak pozostaje on stały dla danego pacjenta. Zmiana odstępu pomiędzy pikiem stymulatora, a odpowiedzią stymulowanej jamy „uderzenia na uderzenie” z wysokim prawdopodobieństwem wskazuje na nieskuteczną stymulację przypadkowo tylko o podobnej częstotliwości do rytmu kardiopowego.

Jednoznacznym objawem nieskutecznej stymulacji jest brak odpowiedzi stymulowanej jamy po impulsie stymulatora. Dlatego należy prześledzić wszystkie pobudzenia, a wykrycie chociażby jednego nieprzewiedzonego impulsu stymulatora uprawnia nas do rozpoznania nieskutecznej stymulacji. Nieskuteczną stymulację przedsionka oceniamy w oparciu o brak widocznego załamka P w czasie krótszym niż 40 ms od impulsu stymulacji przedsionka. W przypadku jednak stymulacji



Rycina 12. Elektrokardiogram z cechami nieskutecznej stymulacji przedsionkowej

(źródło: Zimmerman F.H.: *Clinical electrocardiography. Review & study guide*. McGraw-Hill, 2004)

w układzie bipolarnym mogą być problemy z identyfikacją impulsów stymulacji a dodatkowo ocena jest utrudniona, gdyż morfologia wystymulowanych i własnych załamków P jest bardzo podobna. Zdarza się, że gdy impuls stymulacji przedsionkowej pojawia się w zespole komorowym, to także nie udaje się potwierdzić skutecznej stymulacji przedsionka. Dotyczy to również stymulacji sekwencyjnej, kiedy w 12-odprowadzeniowym elektrokardiogramie amplituda wystymulowanych załamków P jest niska i utrudnia interpretację. Należy zaznaczyć, że w przypadku trudności oceny załamka P, obecność własnych zespołów QRS w stałej relacji czasowej do impulsów stymulacji w przedsionku przemawia za skuteczną stymulacją przedsionka. Ważne jest także stwierdzenie kiedy nie należy opisywać nieskutecznej stymulacji przedsionka. Istnieją dwie takie sytuacje: (1) brak odpowiedzi na impuls stymulacji w przedsionku, gdy występuje częstoskurcz przedsionkowy, trzepotanie przedsionków, migotanie przedsionków lub (2) brak odpowiedzi na impuls stymulacji przedsionka jako wynik występowania impulsu w okresie refrakcji przedsionka. Przykładowy zapis nieskutecznej stymulacji przedsionkowej przedstawiam na rycinie 12.

Morfologia wystymulowanego załamka R w stymulacji komorowej

Stymulacja skuteczna

Główne zasady oceny stymulacji komorowej w elektrokardiografii zależą od aktywacji odpowiedniego fragmentu mięśnia danej komory. Najczęściej, kiedy myślimy o stymulacji komorowej, to rozpatrujemy stymulację prawej komory. W prawej komorze końcówka elektrody najczęściej powinna się znajdować w jej wierzchołku. Ze względu na silne beczkowanie komory, a także zlokalizowane w niej trzy mięśnie brodawkowate, końcówka elektrody może leżeć w dolnej partii komory, ale bliżej ściany wolnej lub przegrodowej, lub na ścianie bocznej. Po pierwsze (1) stymulacja wywodząca się z lewej komory ma obraz bloku prawej odnogi (RBBB), natomiast stymulacja, która wychodzi z prawej komory ma konfigurację bloku lewej odnogi pęczka Hisa (LBBB). Po drugie (2) przegrodowa lokalizacja końcówki elektrody wiąże się z powstaniem węższych zespołów komorowych, co jest wynikiem bardziej synchronicznej niż sekwencyjnej aktywacji komór. Po trzecie (3) położenie elektrody

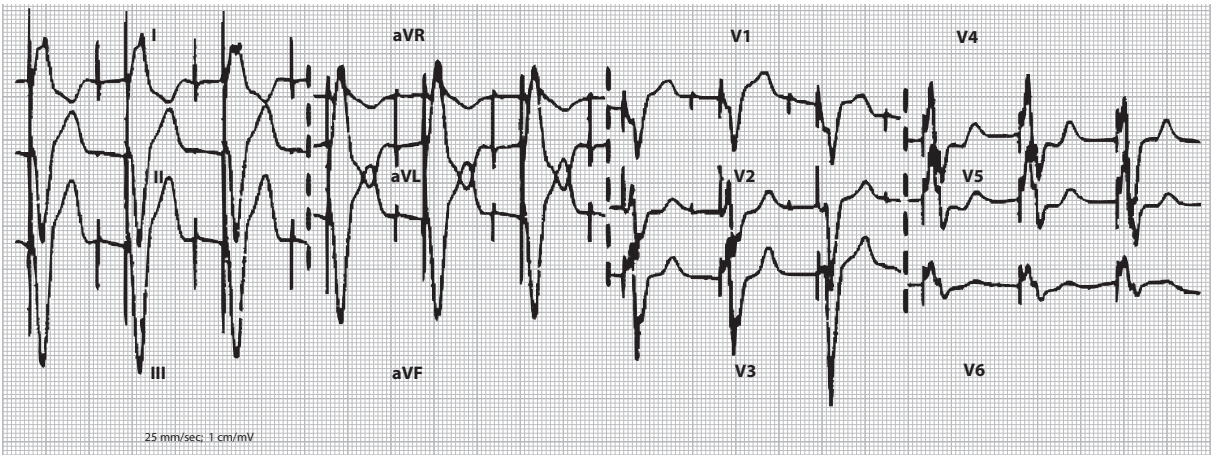
komorowej u podstawy komory powoduje powstanie wychyleń dodatnich (tzw. *positive concordance*) w odprowadzeniach przedsercowych, kiedy natomiast są one wszystkie ujemne (tzw. *negative concordance*), świadczy to o położeniu stricte koniuszkowym. Oś QRS może się różnić istotnie i może być przesunięta wzdłuż osi góra-dół (płaszczyzna czołowa), ale również może dochodzić do przesunięcia w osiach prawo-lewo (płaszczyzna horyzontalna).

Stymulacja *wierzchołka prawej komory* powoduje, że aktywacja komory biegnie z dołu do góry, co daje odpowiednio w odprowadzeniach znad ściany dolnej (II, III, aVF) ujemne (-) wychYLENIA fali R-zespołu

komorowego QRS. Ponieważ aktywacja tejże komory podczas stymulacji biegnie ponadto ze strony prawej na lewą, to QRS-y w odprowadzeniach I i aVL (+) są dodatnie. Z kolei w odprowadzeniach przedsercowych wychYLENIA ujemne w V1-V3 (-) poprzez dodatnio-ujemne w V4 ($\pm$), czyli strefą przejściową przechodzą w dodatnie w odprowadzeniach V5-V6 (+). Należy też podkreślić, że zespół wystymulowany powinien być poszerzony, bowiem zachowuje się jak w typowym bloku lewej odnogi pęczka Hisa. Aktywacja idzie od strony końcowych włókien prawej odnogi pęczka Hisa, a więc jest to sytuacja podobna do lokalizacji częstoskurczów komorowych. Nie mówimy więc o bloku

Tabela 2. Morfologia wychyleń wystymulowanej fali R podczas różnych typów stymulacji jednokomorowej (źródło własne) Legenda: (+) – wychYLENIE dodatnie, (-) – wychYLENIE ujemne, (~) – wychYLENIE płaskie

ODPROWADZENIA	PRAWA KOMORA		LEWA KOMORA
Odprowadzenia końcowe i przedsercowe	Wierzchołek komory	Droga odpływu komory	Żyła średnia serca
I	+	-	+
II	-	+	-
III	-	+	-
aVR	-/+	+/-	+
aVL	+	-	+
aVF	-	+	-
V1	-	-	+
V2	-	-	+
V3	-	-	+/-
V4	+/-	-	-
V5	+	-	-
V6	+	+/-	-



Rycina 13. Rycina 14. Stymulacja „wierzchołkowa” w układzie DDD 60/min (źródło własne)

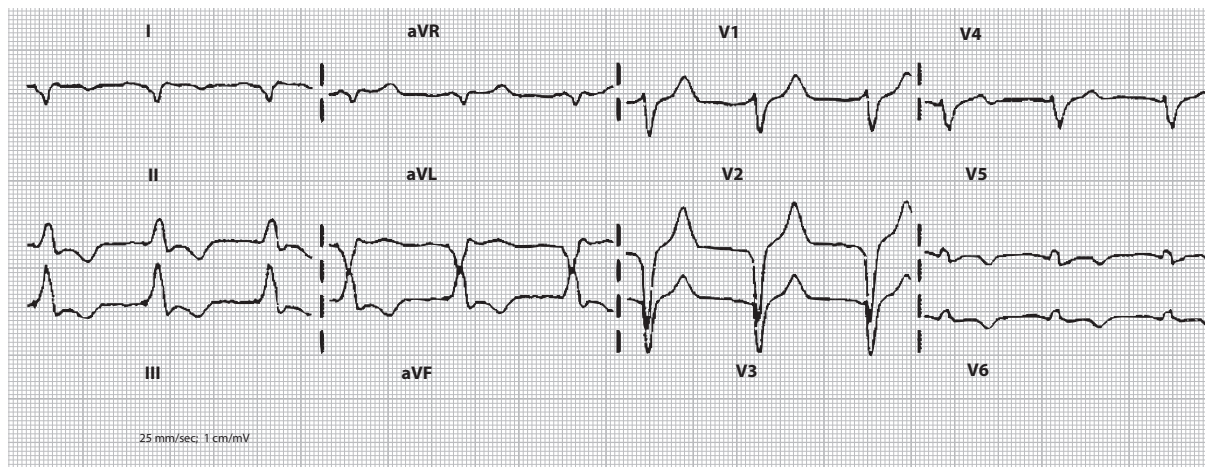
odnogi, a jedynie o morfologii stymulowanego zespołu QRS jak byłby blok LBBB (ang. *LBBB-like morphology*). Podsumowując w skrócie, prawokomorowa stymulacja wierzchołkowa charakteryzuje się wychyleniami ujemnymi w II, III, aVF, V1-V3 i strefą przejściową w V4 (tabela 2, rycina 13).

Kolejnym typem stymulacji prawej komory jest stymulacja *drogi odpływu prawej komory*. W tej stymulacji aktywacja komory biegnie z góry do dołu, co daje odpowiednio w odprowadzeniach znad ściany dolnej (II, III, aVF) dodatnie (+) wychylenia fali R-zespołu komorowego QRS. Ponieważ aktywacja tejże komory podczas stymulacji biegnie od przegrody, w kierunku od drogi odpływu prawej komory, czyli ze strony lewej na prawą, to QRS-y w odprowadzeniach I i aVL będą ujemne (-). Co ciekawe, w odprowadzeniu aVR wychylenie QRS będzie dwufazowe – najczęściej dodatnio-ujemne ($\pm$), co wskazuje na kierunek pobudzenia z lewej strony na prawą. W analizowanych odprowadzeniach przedsercowych dominują głównie wychylenia ujemne, praktycznie od V1-V5. Brak właściwej strefy przejściowej, a wystymulowane zespoły komorowe z ujemnych zmieniają się na dodatnio-ujemne ($\pm$) dopiero na poziomie elektrody V6. Taki zapis elektrokardiograficzny stymulacji jednojamowej, prawokomorowej wskazuje na drogę odpływu prawej komory o umiejscowieniu poniżej grzebienia nadkomorowego (rycina 14).

Stymulacja lewej komory z żyły *średniej serca* w odprowadzeniach kończynowych daje dominujące ujemne wychylenia w II, III, aVF, zaś dodatnie

w I i aVL. Co dość istotne, również w odprowadzeniu kończynowym aVR wychylenie jest dodatnie (+), mimo że typowo jest wychyleniem ujemnym. W odprowadzeniach przedsercowych V1-V2 wychylenia są dodatnie (czyli jak w RBBB), strefa przejściowa w V3, a w V4-V6 wychylenia ujemne. Oznacza to, że aktywacja biegnie od elektrod V4-V6 (z lewej strony na prawą) i od elektrod II, III, aVF (z dołu do góry). Wychylenia, co należy zaznaczyć dodatkowo, są głęboko-ujemne w odprowadzeniach dolnościennych II, III i aVF oraz dodatnie w aVR i aVL. Bezwzględnie dowodzi to przegrodowego pochodzenia (a przegroda jest zbudowana głównie z lewej komory – w 2/3), ale także tego, że stymulacja z wyżej wymienionej żyły jest epikardialna.

Ocenę elektrokardiograficzną stymulacji prawej komory opisałem powyżej. Aby przeanalizować stymulację dwukomorową-resynchronizującą musimy skupić się na położeniu elektrody w lewej komorze. W lewej komorze końcówka elektrody najczęściej jest wprowadzona do żyły średniej serca, ale czasem do żył odchodzących od żyły wielkiej serca. Może być ona jednak wprowadzona przez zatokę wieńcową, najczęściej powinna się znajdować w jej wierzchołku. Ze względu na silne beczkowanie komory, a także zlokalizowane w niej trzy mięśnie brodawkowate, końcówka elektrody może leżeć w dolnej partii komory, ale bliżej ściany wolnej lub przegrodowej, lub na ścianie bocznej. Po pierwsze (1) stymulacja wywodząca się z lewej komory ma obraz bloku prawej odnogi (*RBBB-like morphology*) i po drugie (2) stymulacja, która wychodzi z prawej komory ma obraz bloku lewej odnogi (*LBBB-like*



Rycina 14. Stymulacja „drogi odpływu prawej komory” w układzie BiV 70/min (źródło własne)

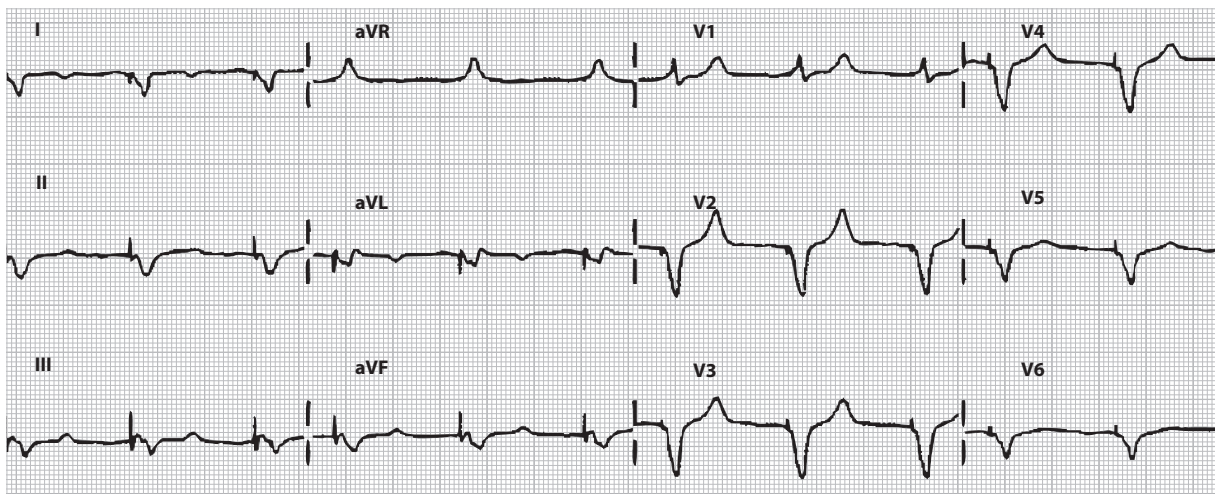
morphology). Tak więc stymulacja dwukomorowa będzie stanowić w pewnym sensie nałożenie obydwu tych morfologii. Zależność odpowiedniego obrazu elektrokardiograficznego będzie bezpośrednio zależała również od położenia elektrody w lewej komorze – czy bardziej epikardialnie, czy raczej miokardialnie.

Stymulacja resynchronizująca polega na nałożeniu obydwu rytmów stymulowanych: z lewej komory i z prawej, aby poprawić hemodynamiczną czynność serca. Dlatego kształt zespołów komorowych powinien być sumą wektorów pochodzących z prawej komory (albo stymulacji wierzchołkowej, albo drogi odpływu) i lewej komory (ściana przednio-boczna w okolicy przypodstawnej). Na ostateczną morfologię zespołów komorowych będzie też miało wpływ opóźnienie czasowe pomiędzy obydwiema komorami. Oczywiście, im będzie ono mniejsze, tym wypadkowy zespół komorowy węższy. Główne wychylenia w odprowadzeniach II, III i aVF powinny być ujemne, ale w porównaniu z typową stymulacją jednojamowo-prawokomorową są płytsze i mogą rozpoczynać się niewielkim złamkiem „r” pochodzącym z elektrody lewokomorowej. Z kolei w odprowadzeniu aVL wychylenie zespołu QRS będzie dodatnie, ale z niewielkim załamkiem „q” też pochodzenia elektrody lewokomorowej. W odprowadzeniach przedsercowych powinniśmy mieć wychylenia, które stanowią składową obydwu komór – tak więc w V1-V4 wychylenia będą dodatnio-ujemne (dodatnie pochodzą z lewej komory, ujemne z prawej komory) (rycina 15).

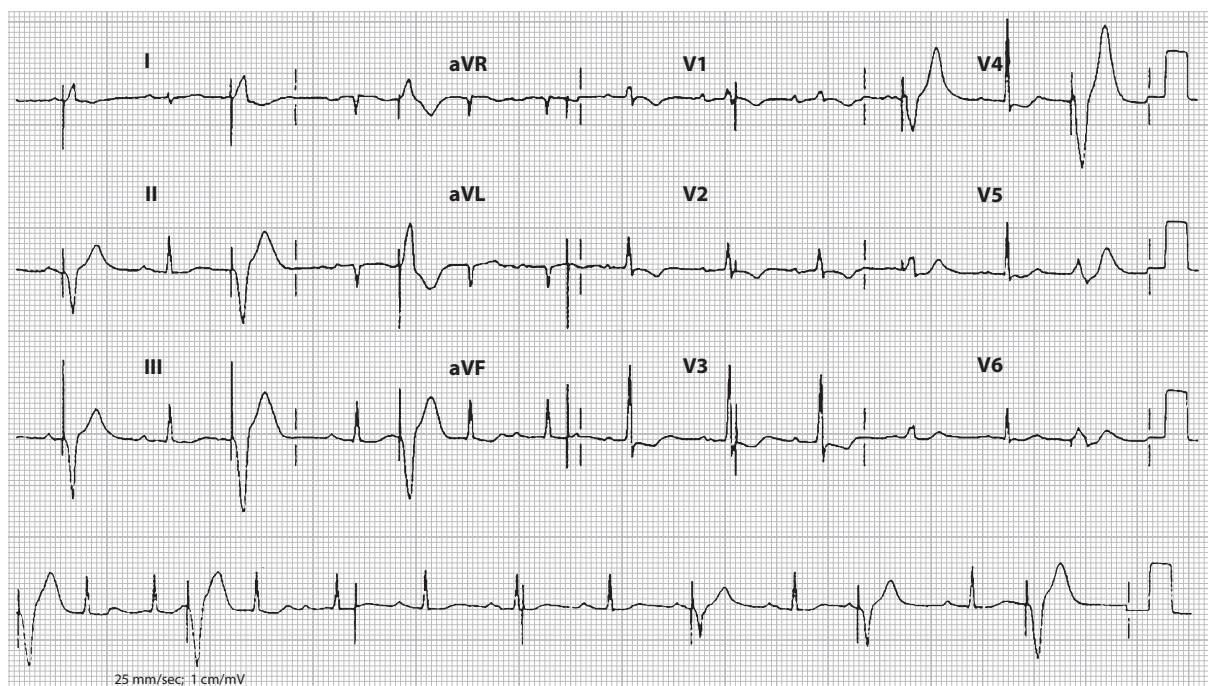
Stymulacja nieskuteczna

Skuteczną stymulację można rozpoznać po tym, że występuje praktycznie bezpośrednio po „piku” stymulatora (w praktyce opóźnienie kilku lub kilkunastu milisekund jest niemożliwe do zaobserwowania w standardowym EKG). Wyjątek stanowią chorzy ze znacznym uszkodzeniem serca, z przerostem i towarzyszącym zwłóknieniem, u których odstęp ten może ulec wydłużeniu do kilkudziesięciu milisekund, jednak pozostaje on stały dla danego pacjenta. Zmiana odstępu pomiędzy pikiem stymulatora, a odpowiedzią stymulowanej jamy „uderzenia na uderzenie” z wysokim prawdopodobieństwem wskazuje na nieskuteczną stymulację, przypadkowo tylko o podobnej częstotliwości do rytmu kardiopowego.

Jako nieskuteczną stymulację komorową określa się brak widocznego zespołu QRS w czasie krótszym niż 40 ms od impulsu stymulacji komory. W przypadku jednak stymulacji w układzie bipolarnym mogą być problemy z identyfikacją impulsów stymulacji (podobnie jak w stymulacji przedsionkowej). Ponadto właściwa ocena skuteczności stymulacji może być utrudniona, gdy morfologia wystymulowanych i własnych zespołów QRS jest bardzo podobna. W ocenie skuteczności stymulacji komory może być również pomocna analiza morfologii zespołów QRS – porównanie z własnymi QRS. Powyższa analiza powinna uwzględniać wszystkie dostępne odprowadzenia. Podobnie jak w przypadku stymulacji przedsionko-



Rycina 15. Stymulacja dwukomorowa w układzie BiV 70/min (źródło własne)



Rycina 16. Elektrokardiogram z cechami okresowo nieskutecznej stymulacji komorowej
(źródło: Zimmerman F.H.: *Clinical electrocardiography. Review& study guide*. McGraw-Hill, 2004)

wej, brak odpowiedzi na impuls stymulacji komory może być wynikiem występowania impulsu w okresie refrakcji komory, w większości przypadków nie może być opisywane jako nieskuteczna stymulacja komory. Przykładowy zapis nieskutecznej stymulacji przedsionkowej przedstawiam na rycinie 16.

Konflikt interesów/Conflict of interest

Brak/None

Adres do korespondencji:

✉ Dariusz Kozłowski
Klinika Kardiologii i Elektroterapii Serca
II Katedra Kardiologii
Gdański Uniwersytet Medyczny
ul. Dębinki 7; 80-211 Gdańsk
☎ (+48 58) 349 39 10
✉ dkozl@gumed.edu.pl