



REDAKTOR DZIAŁU
dr n. med.
Edward Koźluk
I Katedra i Klinika
Kardiologii
Warszawskiego
Uniwersytetu
Medycznego

System elektroanatomiczny CARTO – podstawowe informacje i przykład pułapki

Edward Koźluk,¹ Magdalena Kowalska,¹ Piotr Łodziński,¹
Janusz Kochanowski,¹ Franciszek Majstrak,² Grzegorz Opolski¹

Adres:

¹ I Katedra i Klinika Kardiologii
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego
² Klinika Kardiologii I Katedry i Kliniki Kardiologii
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Adres do korespondencji:

I Katedra i Klinika Kardiologii,
Warszawski Uniwersytet Medyczny
ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa
e-mail: ekozluk@vp.pl

Nic nie jadłam, gospodarzu! Nic nie piłam, gospodarzu!
Jakem biegła przez sadeczek, zerwałam jeden listeczek.
Jak stąpałam przez grobelkę, chwyciłam wody kropelkę...

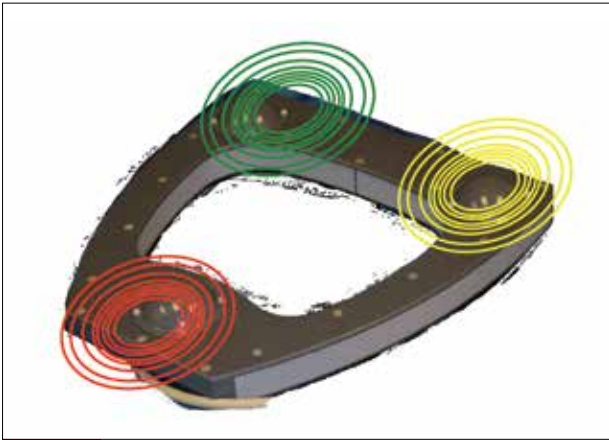
Ewa Szelburg-Zarembina

System, któremu poświęcony jest ten rozdział, w szybki, skuteczny i efektywny sposób obrazuje serce. Za pomocą kolorowych obrazów uzyskanych z połączenia pomiarów zjawisk fizycznych i grafiki komputerowej dostarcza wielu elektrofizjologicznych informacji.

System CARTO umożliwia tworzenie, analizowanie i wyświetlanie trójwymiarowych map serca z jednoczesną rejestracją potencjałów wewnątrzsercowych. W czasie rzeczywistym wyświetla dokładne informacje o położeniu cewnika w sercu. Znacznie zmniejsza konieczność stosowania fluoroskopii. W niektórych sytuacjach klinicznych pozwala na wykonanie zabiegu całkowicie bez użycia skopii RTG.

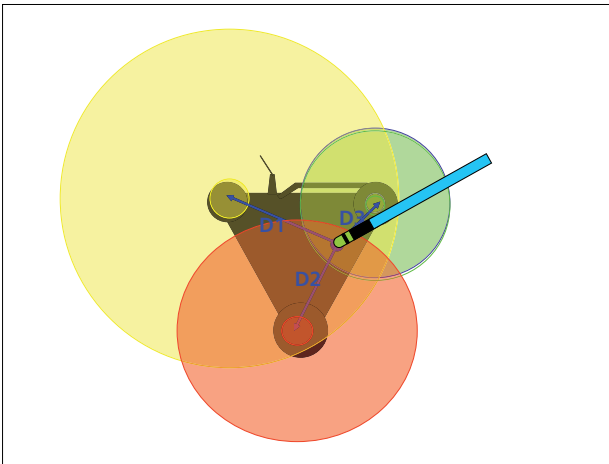
Podczas mapowania za pomocą dystalnego pierścienia elektrody zbierane są punkty, niosące elektroanatomiczne informacje o danym miejscu w endokardium. Każdemu punktowi system przypisuje współrzędne przestrzenne, informacje na temat lokalnego potencjału jedno- i dwubiegunowego, impedancji, czasu wystąpienia aktywacji w stosunku do elektrody odniesienia. Umożliwia wprowadzenie dodatkowych informacji na temat zebranego punktu (np. o rozproszonej aktywacji, potencjałach śródprzeczynowych, bliźnie). Na ich podstawie generowana jest trójwymiarowa rekonstrukcja wybranych jam serca.

Do lokalizacji przestrzennej cewnika (a za jego pośrednictwem również i zbieranych punktów) system wykorzystuje czujniki ultraniskiego pola magnetycznego generowanego przez blok lokalizacji (Location Pad) (ryc. 1-3), który przymocowany jest pod stołem zabiegowym, tak aby serce pacjenta znajdowało się dokładnie nad nim. W takim układzie istotną rolę odgrywa elektroda odniesienia (Ref Patch), stale przymocowana do pleców pacjenta i jednocześnie w polu widzenia bloku lokalizacji. Jej przemieszczenie świadczy o tym, że



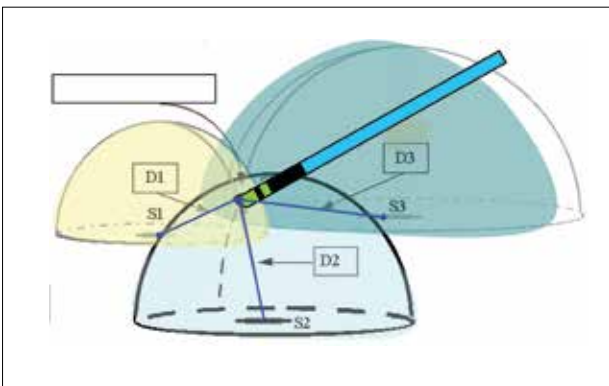
RYCINA 1

Blok lokalizacji (Location Pad). Przymocowany jest pod stołem pacjenta. Na rycinie schematycznie zilustrowano generowane zewnętrzne pole magnetyczne. Dzięki uprzejmości firmy Johnson&Johnson.



RYCINA 2

Schemat sposobu rejestracji położenia elektrody. Blok lokalizacji ma wbudowane trzy zwoje, które generują ultraniskie pola magnetyczne o częstotliwości 1, 2 i 3 kHz. Emitowane pola mają różne, znane systemowi czasowe i przestrzenne właściwości, które kodują przestrzeń w obrębie klatki piersiowej pacjenta. Czujnik umieszczony na końcu cewnika wyczuwa inne cechy każdego z pól, dzięki czemu możliwe jest określenie położenia elektrody w przestrzeni. Dzięki uprzejmości firmy Johnson&Johnson.



RYCINA 3

Widok górnych hemisfer trzech pól magnetycznych i relacji między nimi. Długości D1, D2, D3 określają odpowiednio odległości czujnika od cewek S1, S2, S3. Dzięki uprzejmości firmy Johnson&Johnson.

pacjent się poruszył i zebrane punkty zmieniły położenie w przestrzeni. Niewielkie odchylenia (1-2 mm, o kąt 2 stopni) są korygowane przez system, większe wymagają tworzenia mapy od początku. Jej stabilność ma kluczowe znaczenie dla dokładnej interpretacji anatomicznego rozmieszczenia punktów.

Współpraca systemu CARTO z elektrofizjologicznym systemem rejestrującym zapewnia skuteczną analizę i obróbkę sygnałów. Pozwala również uniknąć błędów interpretacyjnych, związanych z niedoskonałością systemu. W tym zakresie duże znaczenie ma doświadczenie elektrofizjologa wykonującego zabieg.

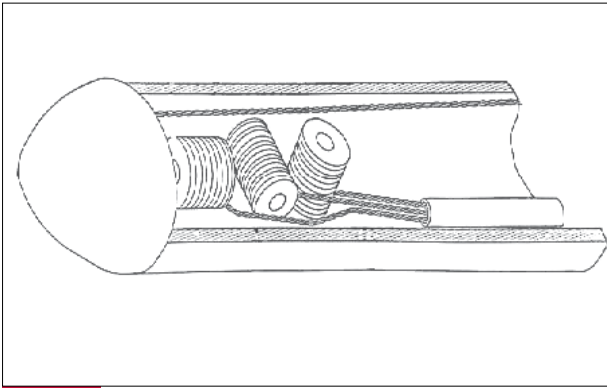
Trójwymiarowe mapy serca są rekonstrukcjami opartymi na danych z zebranych punktów. Kiedy kolejne punkty dodawane są do mapy, wyświetlany jest na niej ten właśnie obszar. Obszary, dla których nie pobrano punktów, a znajdują się pomiędzy zdefiniowanymi punktami są ekstrapolowane, co zapewnia ciągłość tworzonej bryły. Stopień wysycenia bryły można dowolnie regulować.

Podstawową z punktu widzenia systemu mapą jest mapa anatomiczna, która przyporządkowuje punkty w przestrzeni tworząc trójwymiarowy model tworzonej jamy lub jej części (np. droga odpływu prawej komory, cieśń dolna prawego przedsionka).

W bardziej złożonych mapach prezentowanym na rekonstrukcji wartościom (ms, mV, Ω), różnym w zależności od typu mapy, przyporządkowana jest skala kolorów. Kolory zmieniają się od czerwonego (minimalna wartość) do purpurowego (maksymalna wartość) i przypisywane są do wartości liniowo, poza obszarem najwcześniejszej aktywacji. Można ustawić skalę automatyczną, która rozciąga wartość wybranego parametru od wartości minimalnej do maksymalnej. Skalę można również regulować i według uznania ustalać wartości graniczne parametru. Poniżej pewnej wartości pozostaje on w jednolitej czerwieni lub fioletcie, dzięki temu jest lepiej widoczny. Za każdym razem, gdy punkt jest pobierany, edytowany bądź usuwany, kolory na mapie interpolowane są od początku.

Dla lepszego zobrazowania przestrzennej geometrii serca, rozchodzenia się fali aktywacji, czy też dokładniejszego określenia ogniska arytmii, czy też krążącej pętli reentry, system daje możliwość modyfikacji mapy anatomicznej.

Mapa aktywacyjna (local activation time, LAT) (ryc. 10, 13, 15) wyświetla czas lokalnej aktywacji danego obszaru względem dowolnie wybranej elektrody odniesienia (endokawitarnej lub z powierzchniowego EKG). Skala liczbowa przedstawiana jest zgodnie z kodem kolorów. Najwcześniejszej aktywacji odpowiada kolor czerwony, najpóźniejszej purpurowy. Skala pozwala zróżnicować arytmie ogniskowe od nawrotnych z precyzyjną lokalizacją miejsc kluczowych dla ich trwania. W przypadku częstoskurczu ogniskowego aktywacja rozchodzi się jak fala na wodzie po wrzuceniu kamienia. Epicentrum stanowi ognisko (z racji najwcześniejszej aktywacji zabarwione na kolor czerwony), które jest celem ablacji. W przypadku arytmii powstałej w mechanizmie fali nawrotnej można prześledzić kolejne sekwencje kolorystyczne w obrębie pętli, przy czym obserwuje się wzajemne przejście koloru



RYCINA 4

Schemat budowy elektrody współpracującej z systemem CARTO. Elektroda widziana jest przez ultrasonik zewnętrzne pole magnetyczne dzięki trzem cewkom położonych w trzech prostokątnych względem siebie płaszczyznach. Dzięki uprzejmości firmy Johnson&Johnson.

purpurowego w czerwony. System umożliwia zaznaczenie tego obszaru markerem określanym jako „early meets late” (spotkanie wczesnej aktywacji z późną).

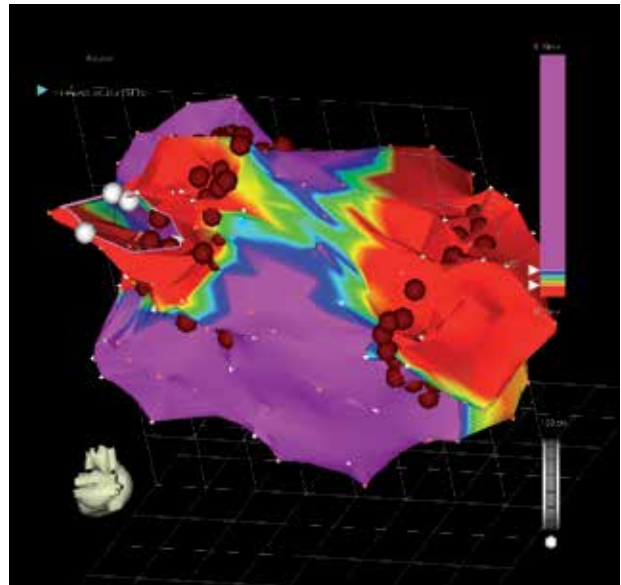
Mapa propagacyjna (ryc. 11) obrazuje rozprzestrzenianie się fali aktywacji wzdłuż miokardium w czasie. Jest pomocna przy ustalaniu linii izolacji wykonanej podczas ablacji lub jej nieszczelności. Stanowi również najlepszy sposób obrazowania podłoża arytmii dla osób mniej doświadczonych, co sprawia, że system pełni również funkcję edukacyjną.

Mapa potencjałowa (ryc. 5) przedstawia informacje o lokalnym napięciu, co w pewnym przybliżeniu można ekstrapolować na żywotność mięśnia. Mapa ta pozwala wyróżnić miejsca o większym i mniejszym potencjale. Na tej podstawie można odróżnić obszary zdrowego mięśnia, zakres strefy uszkodzenia i blizny. Blizny (np. pozawałowe) jako struktury łącznotkankowe są obszarami nieprzewodzącymi (nie generują własnego potencjału czynnościowego), dzięki czemu stanowią bariery anatomiczne umożliwiające zainicjowanie i utrzymywanie się pętli reentry.

Mapa mesh (siatka) (ryc. 6) wyświetla obraz w postaci punktów połączonych liniami, co nadaje mapie przejrzystości. Jest szczególnie przydatna, gdy punkty ablacyjne znajdują się wewnątrz rekonstrukcji.

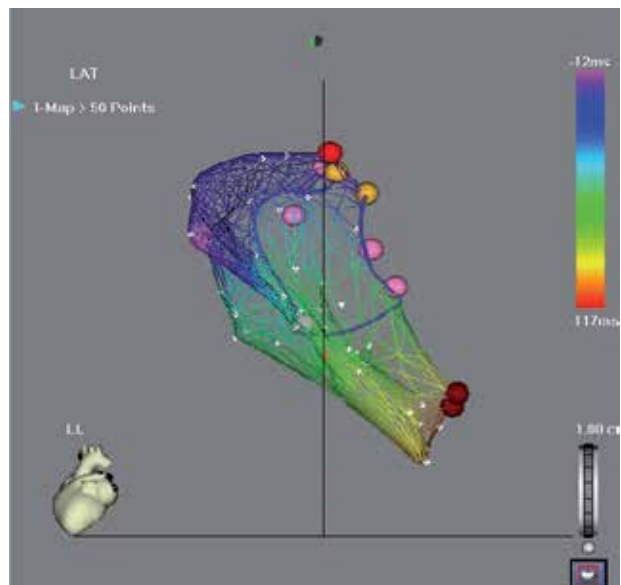
Każdą mapę można obracać w dowolny sposób oraz robić na nich przekroje w dowolnych płaszczyznach. Możliwe jest oglądanie obrazów w różnych projekcjach jednocześnie, co zapewnia weryfikację na kilka sposobów. System CARTO daje również możliwość zaznaczania charakterystycznych punktów anatomicznych, takich jak ujścia żył, zastawki czy pęczek Hisa.

System CARTO wrażliwy jest na drobne ruchy pacjenta. Każda zmiana położenia serca o kąt większy niż 3 stopnie względem elektrody odniesienia dostarcza błędnej informacji o zebranych punktach. Zmienia się relacja przestrzenna. Mapowanie wówczas należy zacząć od początku. Jest to szczególnie uciążliwe dla pacjenta, który musi zachować stałą pozycję tułowia. Innym ograniczeniem stosowania systemu CARTO jest wysoki koszt elektrod.



RYCINA 5

Przykładowa bipolarna mapa potencjałowa lewego przedsionka potwierdzająca skuteczność izolacji żył płucnych. W okolicach ujść czerwone obszary o najniższym potencjale. Brązowe kropki – punkty, w których wykonywano aplikacje prądu RF.

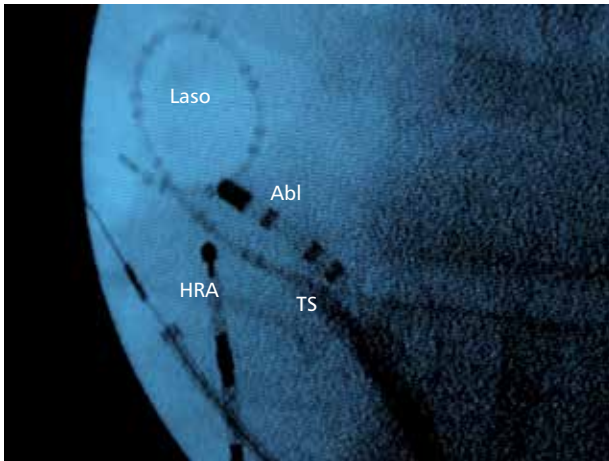


RYCINA 6

Przykładowa mapa aktywacyjna „mesh” (siatka) podczas ablacji dodatkowego szlaku przedsionkowo-komorowego w żyłę średniej serca. Różowe kropki – zastawka trójdzielna, pomarańczowe i czerwone – pęczek Hisa i jego prawa odnoga. Najwcześniejsza aktywacja (kolor czerwony) w żyłę średniej serca. Aplikacja w tym rejonie (brązowe kropki) spowodowała trwałe ustąpienie przewodzenia przez dodatkowy szlak. Zabieg bez użycia skopii RTG.

Wprawne ręce operatora i doświadczenie asystenta pozwalają uzyskać dokładną i szczegółową mapę w bardzo krótkim czasie. Przy bardziej złożonym podłożu arytmii, system pozwala znacznie skrócić czas zabiegu, dzięki czemu umożliwia wręcz wyleczenie części pacjentów (np. polimorficzny pozawałowy częstoskurcz komorowy).

Inne dodatkowe (ponadstandardowe) funkcje systemu zostaną zobrazowane w kolejnych odcinkach.

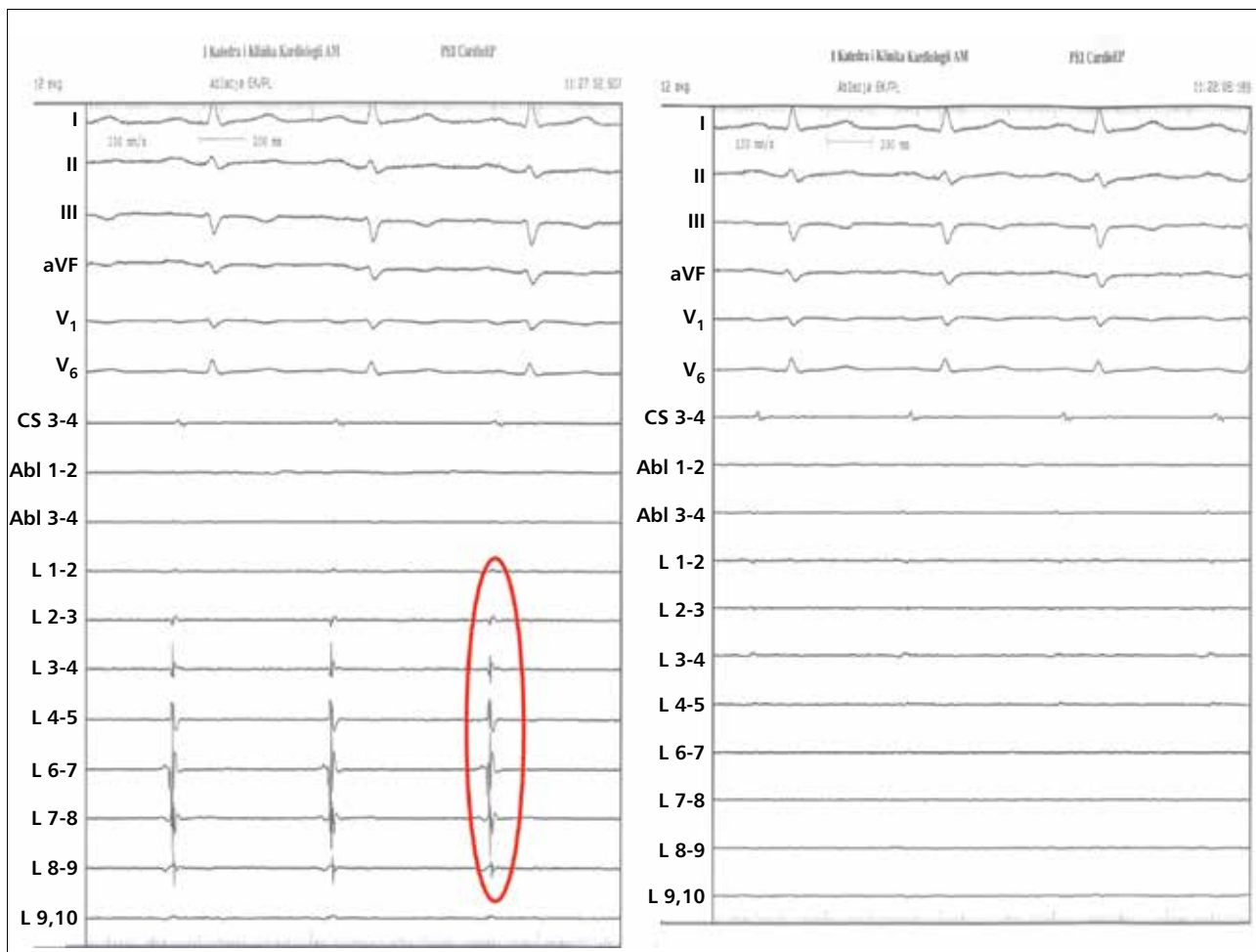


RYCINA 7

Elektroda Lasso wprowadzona przez koszulkę transeptalną (TS) do ujścia żyły płucnej górnej prawej. Elektroda ablacyjna (Abl) proksymalnie do pierścienia, gdzie rejestruje się potencjały żyłne. W tle widoczna elektroda w górnej części prawego przedsionka (HRA).

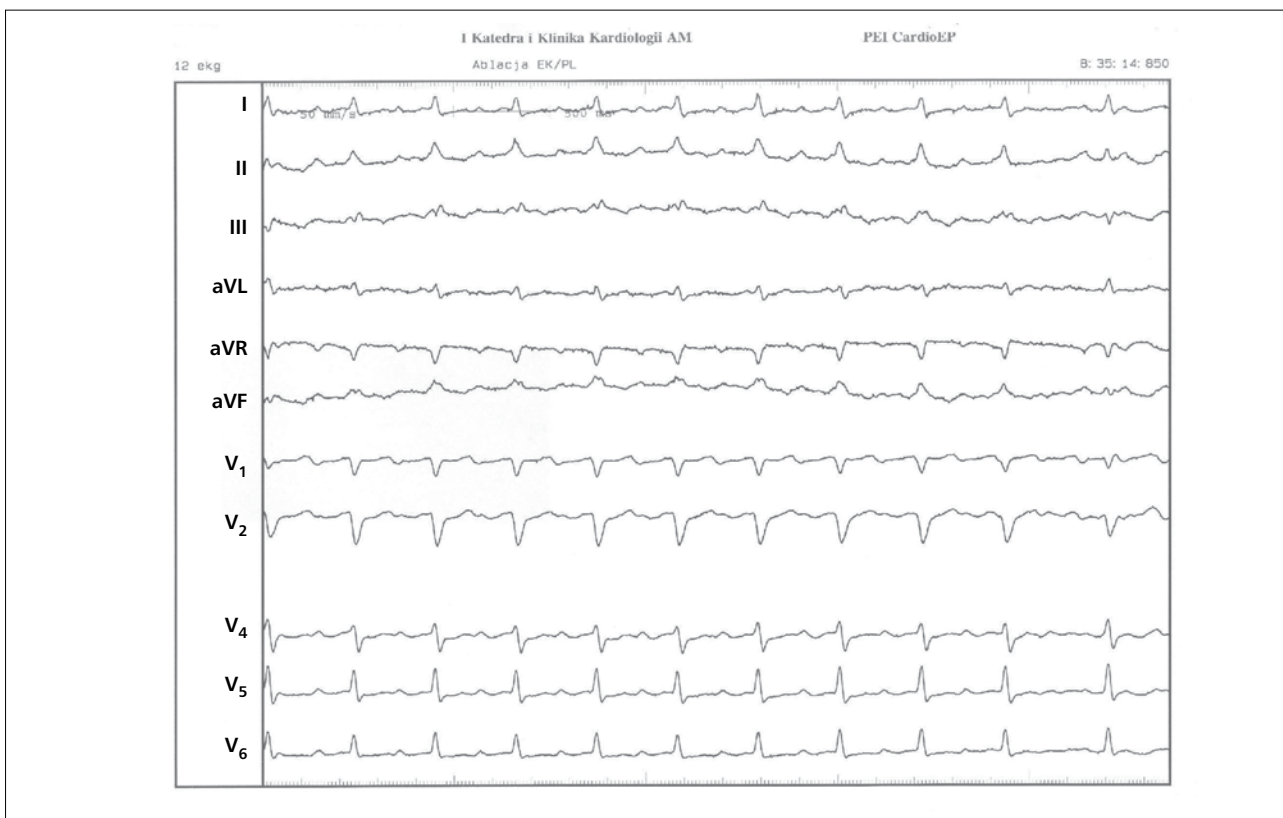
Opis przypadku

Pięćdziesięcioletni pacjent został przyjęty do kliniki z powodu nawracających epizodów idiopatycznego migotania przedsionków. Napadowe trzepotanie i migotanie przedsionków (jako 2 różne arytmie!) występowały od 1997 r. Profilaktyka lekami antyarytmicznymi była nieskuteczna. Stosowano amiodaron, metoprolol, atenolol. W czasie 6 napadów konieczne było wykonanie elektrowersji. Pacjent był przewlekle leczony przeciwkrzepliwie acenokumarolem, a wskaźnik INR utrzymywał się na poziomie 2,0-3,0. W dniu 23 listopada 2003 r. został skierowany do naszej kliniki z powodu kolejnego epizodu migotania przedsionków ze złą tolerancją hemodynamiczną. Po konsultacji wykonano stymulację przezpręłykową z użyciem elektrody 24-punktowej i systemu elektrofizjologicznego. Wykazano ogniskowy charakter AF, liczne SVEB, typowe AFL.



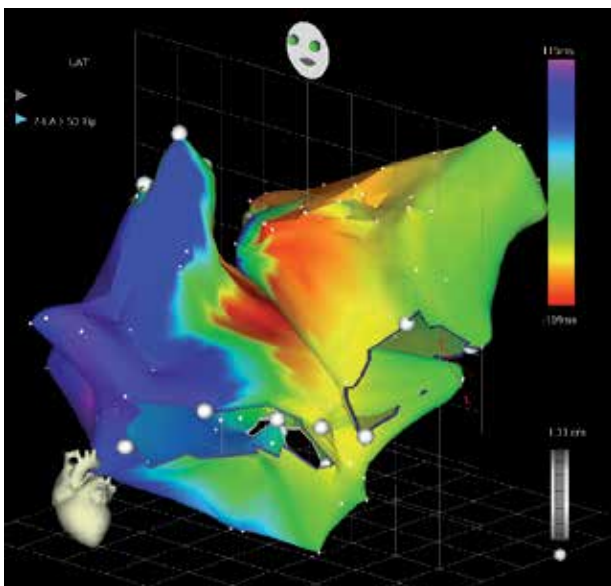
RYCINA 8

Po lewej stronie zapis z elektrody Lasso rejestrującej potencjały żyłne (czerwona obwódka). Po prawej stronie zapis z tego samego miejsca po ablacji – bez potencjałów żylnych. I, II, III, aVF – odprowadzenia klasycznego EKG, CS – elektrogramy z elektrody w zatoce wieńcowej, Abl – elektrogramy z elektrody ablacyjnej, L – elektrogramy z kolejnych par elektrody Lasso.



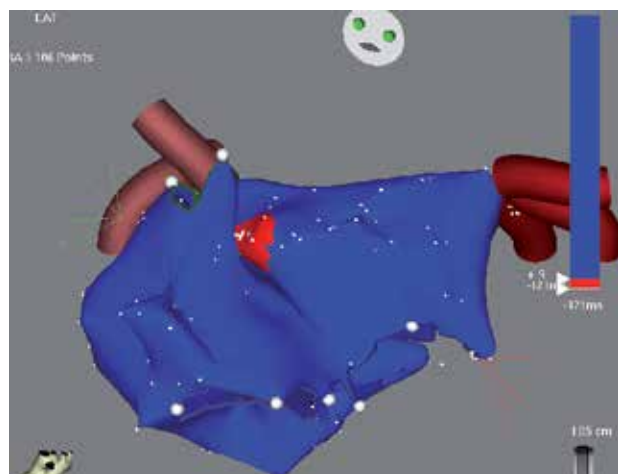
RYCINA 9

Zapis powierzchniowego EKG, z którym zgłosił się pacjent po ablacji. Na tym etapie bez komentarza, by nie popsuć dalszego opisu postępowania.



RYCINA 10

Mapa aktywacyjna CARTO podczas częstoskurczu z ryc. 9. Kolor czerwony – aktywacja najwcześniejsza (przy żyły płucnej górnej prawej), kolor fioletowy – aktywacja najpóźniejsza.



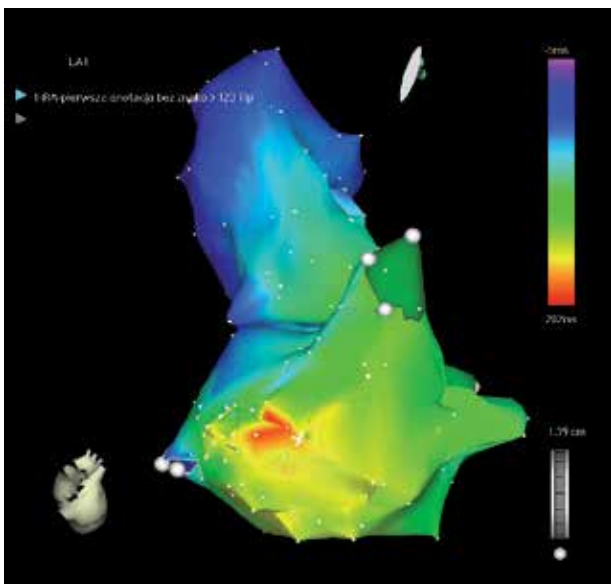
RYCINA 11

Początek mapy propagacyjnej. Czerwona fala wskazuje miejsce, z którego rozpoczyna się aktywacja.



RYCINA 12

Elektroda w miejscu rejestracji najwcześniejszej aktywacji – lokalne pobudzenie przedsionka jest bardzo późne (pod koniec załamka P). Dysproporcja pomiędzy obrazem a zapisem była przyczyną zmiany okna adnotacyjnego. I, II, III, aVF – odprowadzenia klasycznego EKG, CS – elektrogramy z elektrody w zatoce wieńcowej, Abl – elektrogramy z elektrody ablastycznej.

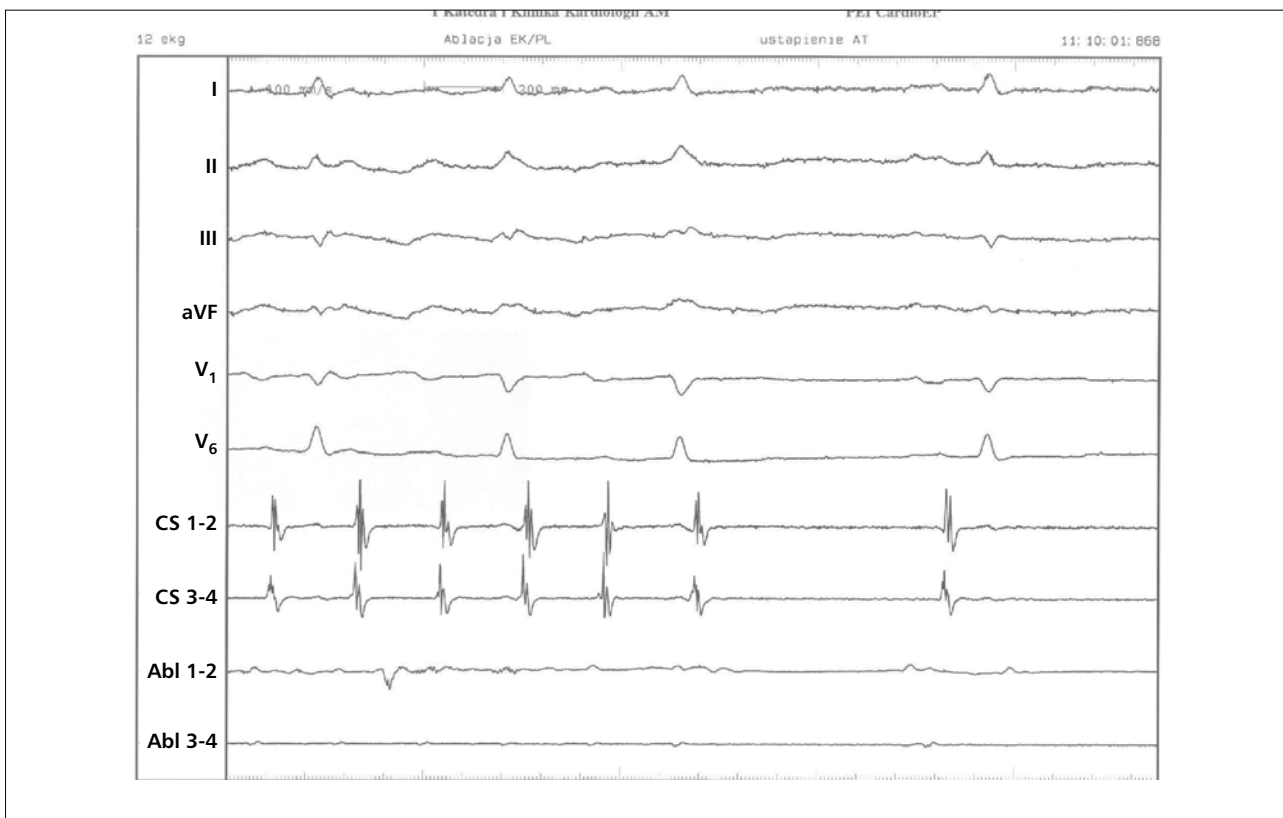


RYCINA 13

Mapa aktywacyjna CARTO podczas częstoskurczu po zmianie okna anotacji. Oznaczenia jak na rycinie 10. Najwcześniejsza aktywacja w dolnej części grzebienia granicznego.

W dniu 12 grudnia 2003 r. wykonano ablację segmentalną w rejonie ujść 4 żył płucnych (ryc. 7, 8) w połączeniu z ablacją cieśni dolnej. Był to 30 zabieg ablastacji podłoża AF wykonany w naszym ośrodku. Pełną izolację potencjałów żylnych (ryc. 8) uzyskano we wszystkich żyłach. Potwierdzono również szczelną dwukierunkowo linię w cieśni dolnej. W 12 godzin po ablastacji wystąpiła hipotonia i duszność. W przyłożkowym badaniu echokardiograficznym stwierdzono cechy tamponady serca. Podłączono płyny i wlew z katecholamin. Wykonano chirurgiczne odbarczenie tamponady serca, okres po zabiegu przebiegał bez powikłań. Pacjent w stanie ogólnym dobrym został wypisany do domu 2 tygodnie po zabiegu.

W dniu 22 stycznia 2004 r. pacjent zgłosił się ponownie z powodu nawracającego uczucia kołatania serca. Zapis EKG zarejestrowany w tym czasie przedstawia rycinę 9. Dwudziestego trzeciego stycznia 2004 r. w czasie klinicznego częstoskurczu wykonano mapę CARTO prawego i lewego przedsionka (do którego wprowadzono elektrodę poprzez FOA, który był jeszcze drożny po poprzednim zabiegu). Zabieg wykonano w osłonie heparyny. Pierwotna mapa CARTO (ryc. 10, 11) sugerowała wywodzenie się arytmii z żyły płucnej górnej prawej. Wobec niezgodności tego miejsca z zapisem EKG i lokalną aktywacją, która nie wyprzedzała powierzchniowego załamka P (a właściwie była na jego końcu) (ryc. 12), zmieniono sposób anotacji punktów (ryc. 13). W zmodyfikowanej mapie CARTO najwcześniejszej



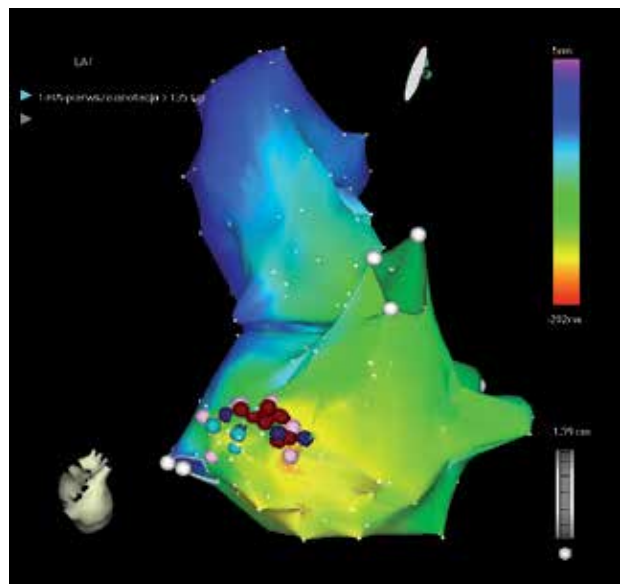
RYCINA 14

Podczas aplikacji w miejscu najwcześniejszej aktywacji wg mapy z ryciny 12 – ustąpienie częstoskurczu.

sza aktywacja rozpoczynała się w dolnym odcinku grzebienia granicznego. Ablacja ogniska arytmogennego w tym rejonie prawego przedsionka przerwała częstoskurcz (ryc. 14). Wykonano aplikacje uzupełniające w bezpośrednim sąsiedztwie krytycznego punktu. Potwierdzono dwukierunkową szczelność linii w cieśni dolnej prawego przedsionka. W kontrolnym badaniu elektrofizjologicznym nie wyzwalano zaburzeń rytmu serca.

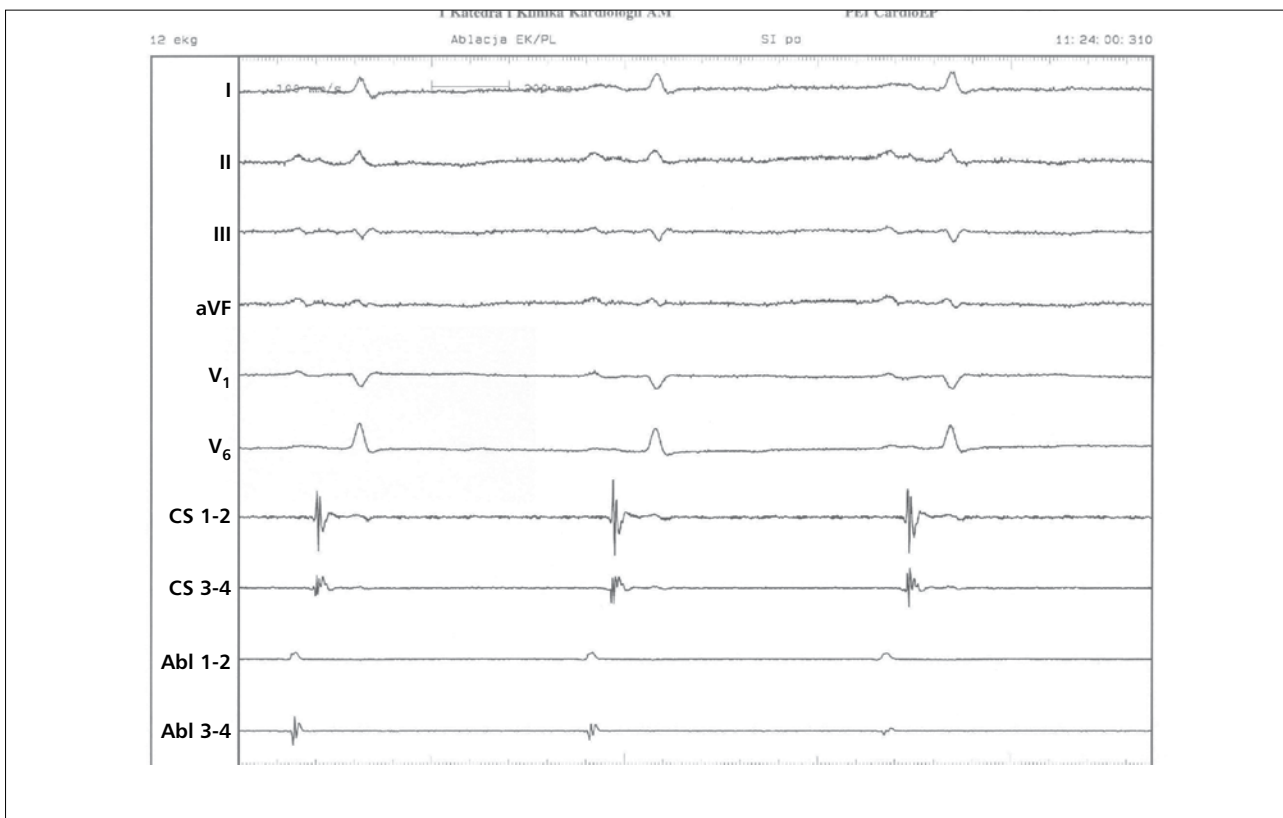
W kontrolnym badaniu echokardiograficznym wykonanym po zabiegu stwierdzono cechy tętniaka rzekomego za tylną ścianą serca. Odstawiono leki przeciwkrzepliwe. Przez dwa tygodnie monitorowano chorego za pomocą badania echokardiograficznego, w którym stwierdzano stopniowe zmniejszanie się tętniaka rzekomego, aż do całkowitego zniknięcia. Po 6 tygodniach od wycofania się tętniaka pacjenta przyjęto do szpitala w celu włączenia leczenia przeciwkrzepliwego. Leczenie rozpoczęto, podając heparynę drobnocząsteczkową. W 3 dobie leczenia przeciwkrzepliwego w kontrolnym badaniu echokardiograficznym stwierdzono cechy tętniaka rzekomego. Wstrzymano leczenie przeciwkrzepliwe. Cechy tętniaka rzekomego wycofały się w ciągu 3 dni.

W czasie 5 lat obserwacji pacjent nie miał napadów zaburzeń rytmu serca. Wyniki badania echokardiograficznego pozostają prawidłowe. Chory obecnie nie przyjmuje leków przeciwkrzepliwych. Sześć miesięcy po ablacji odstawiono leczenie antyarytmiczne.



RYCINA 15

Mapa aktywacyjna z ryciny 13 po naniesieniu punktów ablacyjnych (brązowe kropki). Niebieskie kropki – obszar rejestracji podwójnych potencjałów, różowe – obszar pofragmentowanych potencjałów.



RYCINA 16

Stabilny rytm zatokowy po zabiegu. Oznaczenia jak na rycinie 12.

Omówienie

Prezentowany przypadek pozwala ukazać możliwości systemu CARTO, zwracając jednocześnie uwagę na pułapki zastawiane przez ten system. Właściwa ocena elektrofizjologiczna pozwala ich uniknąć i wykonać w prosty sposób bardzo złożony zabieg.

Jakie są najczęstsze pułapki? Poza niewłaściwym ustawieniem anotacji i wtórnie fałszywie wskazanym miejscem arytmogennym należy przykładać dużą uwagę do fazy oddechowej, w której zbieramy punkty. Ten sam punkt zebrany na wdechu i wydechu może być przesunięty w przestrzeni o parę centymetrów, a przy rozmiarach jamy serca i precyzji ablacji to bardzo dużo. Zbieranie punktów w różnych fazach oddechowych tworzy chaotyczną, niejednoznaczną mapę lub fałszywie wskazuje miejsce najwcześniejszej aktywacji. Należy również pamiętać, że zmiana sekwencji aktywacji (np. rytm zatokowy i częstoskurcz) również w tej samej fazie EKG może wskazywać różne położenia tego samego punktu. Nie wolno przenosić punktów krytycznych pomiędzy mapami wykonanymi na różnych rytmach. Może to dawać fałszywe poczucie bezpieczeństwa, np. względem pęczka Hisa.

Przestrzeganie kilku podstawowych zaleceń zapobiega wpadaniu w pułapki systemu, a tym samym powikłaniom i zwiększa skuteczność zabiegów.

Jak pisaliśmy w części poświęconej ablacji migotania przedsionków, ryzyko powikłania w postaci tamponady serca wynosi 1%. Niespotykaną sekwencją zdarzeń jest powstawanie tętniaka rzekomego u pacjenta po chirurgicznym leczeniu tamponady. Zwykle wdrażanie leczenia przeciwkrzepliwego odbywa się bez problemów, jednak prezentowany przypadek nakazuje zachować ostrożność w początkowej fazie podawania leków przeciwkrzepliwych. Wobec pełnej skuteczności leczenia niefarmakologicznego u powyższego pacjenta nie ma potrzeby podawania leków przeciwkrzepliwych, co najlepiej rozwiązuje problem nawracającego tętniaka rzekomego.

Podsumowanie

System elektroanatomiczny CARTO pozwala skrócić czas skopii RTG (w określonych przypadkach nawet do zera), pozwala czytelnie obrazować rozprzestrzenianie się arytmii i oceniać żywotność mięśnia, a tym samym określać położenie mięśnia zdrowego, uszkodzonego i bliźny. Dzięki temu wiele zabiegów jest znacznie łatwiejszych, a część z nich staje się możliwa do wykonania.

Analiza danych elektrofizjologicznych i konsekwentne, zgodne z zaleceniami wykonywanie każdej mapy pomaga uniknąć pułapek wynikających z automatycznych algorytmów.