

# Chirurgiczna ablacja migotania przedsionków: przegląd współczesnych metod oraz źródeł energii

Mehmet K. Aktas, James P. Daubert i Burr Hall

University of Rochester, Strong Memorial Hospital, Department of Cardiovascular Diseases,  
Rochester, NY, USA

Przedrukowano za zgodą z: *Cardiology Journal* 2008; 15: 87–94

## Wstęp

Migotanie przedsionków (AF, *atrial fibrillation*) jest jedną z najczęstszych arytmii serca, dotykającą około 2,2 mln dorosłych pacjentów w samych tylko Stanach Zjednoczonych. Ocenia się, że w 2050 roku liczba ta wzrośnie do 5,6 mln osób [1, 2]. Do czynników ryzyka rozwoju AF należy zaliczyć: zaawansowany wiek chorego, cukrzycę, nadciśnienie tętnicze, niewydolność serca, choroby zastawkowe serca, chorobę wieńcową, dysfunkcję lewej komory, duże wartości ciśnienia tętna, nadmierne spożywanie alkoholu, obturacyjny bezdech senny oraz pewne cechy osobowości, takie jak: łatwość wpadania w gniew i wrogość [2–8]. U pacjentów z niekontrolowanym i nieleczonym AF ryzyko rozwinięcia udaru oraz zgonu, a także wielu innych niekorzystnych zdarzeń jest większe [3, 9]. W celu minimalizacji niepożądanych efektów AF podejmuje się znaczne wysiłki oraz poświęca się dużo czasu i środków finansowych, aby podtrzymać rytm zatokowy. Jednak wyniki badania AFFIRM (*The Atrial Fibrillation Follow-up Investigation of Rhythm Management*) wskazują jednoznacznie, że u pacjentów z AF zastosowanie strategii podtrzymania rytmu w porównaniu z metodą kontroli częstości rytmu nie przynosi żadnych efektów w odniesieniu do wskaźników śmiertelności [10, 11]. Wyniki badania AFFIRM uwypukliły wyraźnie nieadekwatność działań mających na celu uzyskiwanie i podtrzymywanie za wszelką cenę rytmu zatokowego za pomocą

obecnie dostępnych środków farmakologicznych. Z powodu ograniczeń farmakoterapii popularność zyskały ostatnio alternatywne formy leczenia AF za pomocą przeskórnej lub chirurgicznej ablacji.

Znajomość patofizjologii oraz mechanizmów zarówno inicjujących, jak i podtrzymujących AF znacznie się zmieniła w ciągu ostatnich 30 lat. W 1998 roku Haissaguerre i wsp. [12] opublikowali przełomową pracę opisującą ogniska ektopowej tkanki przedsionka w obrębie żył płucnych będącej źródłem dodatkowych pobudzeń ektopowych, które mogą zapoczątkowywać i prowadzić do napadów migotania przedsionków. Wykonanie w tym miejscu zabiegu ablacji prądem o wysokiej częstotliwości (RF, *radiofrequency*) tłumilo dodatkowe pobudzenia ektopowe, prowadząc u niektórych pacjentów do przywrócenia rytmu zatokowego. W badaniach eksperymentalnych udowodniono również powstawanie małych fal nawrotnych (*reentry*) krążących dookoła przedsionka po tak zwanych pętłach, tworząc jednocześnie hierarchiczny rozkład częstotliwości [13, 14]. Przeskórna ablacja prądem RF w anatomicznym miejscu przebiegu fal nawrotnych o dominującej częstotliwości, zwanych również pętlą matką (*mother rotor*), wykazała stosunkowo dobrą skuteczność w zakresie przerywania przypadków napadowego migotania przedsionków (FAP, *paroxysmal atrial fibrillation*), a także przewlekłego (utrwalonego) migotania przedsionków [13, 14]. Bazując na powyższych pionierskich badaniach, podjęto próby zarówno przeskórnej

**Adres do korespondencji:** Burr Hall, MD, University of Rochester, Strong Memorial Hospital, Department of Cardiovascular Diseases, 601 Elmwood Avenue, Box 679-C, Rochester, New York 14642, USA, tel. (585) 275 1667, faks (585) 242 9549, e-mail: Burr\_Hall@urmc.rochester.edu

Tłumaczenie: lek. Łukasz Gawiński

(prądem RF), jak i chirurgicznej ablacji AF poprzez izolację żył płucnych od reszty mięśniówki przedsionka, jak również docelowych obszarów cechujących się elektrokardiograficznym zapisem typowym dla pobudzenia przedsionka oraz dominujących częstotliwości krążących w obrębie przedsionka fal w celu przywrócenia oraz utrzymania prawidłowego rytmu zatokowego.

Zastosowanie metod chirurgicznej ablacji pozwala na jednoczesne osiągnięcie wielu celów oraz potencjalnych korzyści. Głównym założeniem ablacji AF jest przywrócenie synchronii przedsionkowo-komorowej (AV, *atrio-ventricular*), co często przekłada się na poprawę warunków hemodynamicznych, szczególnie u osób z dysfunkcją lewej komory. Typowo podczas rytmu zatokowego pacjenci są mniej pobudzeni i mają lepsze samopoczucie, co prowadzi do poprawy jakości życia oraz zwiększonej tolerancji wysiłku fizycznego. Ponowne przywrócenie prawidłowego mechanizmu skurczu obu przedsionków redukuje czas trwania zastoju krwi w obrębie lewego przedsionka oraz uszka przedsionka, zmniejszając tym samym ryzyko wystąpienia incydentu zatorowego, oraz pozwala w niektórych przypadkach uniknąć przewlekłego leczenia przeciwkrzepliwego. Byłoby idealnie, gdyby udało się uzyskać wymienione powyżej korzyści przy jak najmniejszym ryzyku. Do standardowego ryzyka związanego z zabiegami inwazyjnymi w przypadku chirurgicznej i przezskórnej ablacji AF należy także dołączyć takie potencjalnie śmiertelne powikłania, jak: powstanie przetoki przedsionkowo-przelykowej oraz niedokrwienie mięśnia sercowego lub też zawał serca jako wynik uszkodzenia gałęzi okalającej lewej tętnicy wieńcowej, która przebiega w bruździe przedsionkowo-komorowej, przykryta zazwyczaj warstwą nasierdziejowej tkanki tłuszczowej [15–17].

W niniejszej pracy opisano historię rozwoju metod ablacji chirurgicznej, dokonano przeglądu współczesnych metod oraz źródeł energii używanych w chirurgicznym leczeniu AF, a także określono zarówno wady, jak i zalety poszczególnych metod oraz źródeł energii.

### Izolacja lewego przedsionka

W 1980 roku Williams i wsp. [18] opisali procedurę nazwaną „izolacją lewego przedsionka”, którą początkowo wykonywano w celu leczenia trudnych do zmapowania częstoskurczów przedsionkowych, lecz z czasem zaadaptowano do terapii migotania przedsionków. Procedura ta ograniczała AF do wyizolowanej części lewego przedsionka,

podczas gdy pozostała część mięśniówki serca była pobudzona na drodze prawidłowej aktywności węzła zatokowego. Pomimo przywrócenia rytmu zatokowego w dalszym ciągu po zabiegu zachodziła konieczność stosowania terapii przeciwkrzepliwej ze względu na wyizolowaną część mięśniówki lewego przedsionka, gdzie utrzymywało się migotanie przedsionków. Przed wprowadzeniem metody izolacji lewego przedsionka do praktyki klinicznej u chorych, u których napotymano duże trudności w odpowiedniej kontroli częstości rytmu, konieczna była ablacja pęczka Hisa i stała implantacja stimulatora serca.

W 1982 roku Scheinman i wsp. [19] opisali opartą na metodach przezskórnej ablacji przy użyciu cewnika elektrotomię pęczka Hisa, która po poddaniu w kolejnych latach wielu modyfikacjom i ulepszeniom stała się podstawową metodą ablacji pęczka Hisa, wypierając tym samym i czyniąc zbędnymi metody chirurgiczne.

### Procedura „korytarzowania” (*corridor procedure*)

W 1985 roku Guiraudon i wsp. [20] w krótkim streszczeniu opisali wykonany u 5 psów zabieg przeprowadzony na otwartym sercu zwany procedurą „korytarzowania”. Zaproponowano go jako rozwiązanie alternatywne dla ablacji pęczka Hisa. Zakładał on izolację wolnej ściany lewego przedsionka z następczą izolacją węzła zatokowego od pozostałej części prawego przedsionka. Powstały obszar tkanki przedsionka tworzył niejako korytarz prowadzący do przegrody międzyprzedsionkowej zawierającej węzeł przedsionkowo-komorowy. Przydatność opisanego powyżej zabiegu była znacznie ograniczona ze względu na dalszą konieczność stosowania leczenia przeciwkrzepliwego oraz brak synchronii przedsionkowo-komorowej.

### Procedury Maze I, II, III

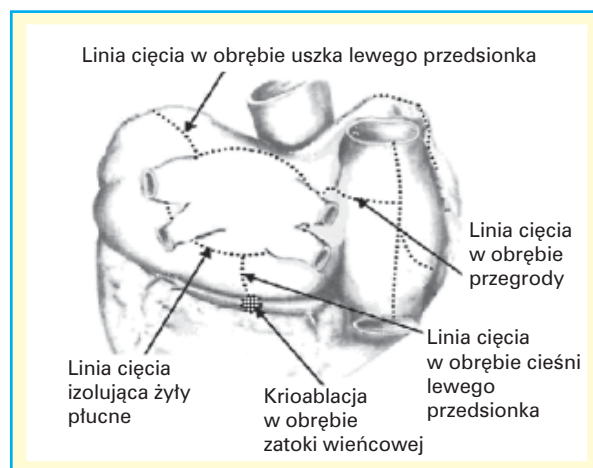
Wyjaśnienie elektrofizjologicznych mechanizmów migotania przedsionków oraz trzepotania przedsionków (AFL, *atrial flutter*), a także odkrycie faktu, że u pacjentów z AF może istnieć wiele zmiennych wzorców obwodów reentry zaowocowało ostatecznie stworzeniem procedury chirurgicznej, mającej za zadanie przerwać wszelkie potencjalne pętle krążących fal, które mogą zostać zidentyfikowane podczas śródoperacyjnego mapowania. Cox i wsp. [21] w 1991 roku opisali procedurę chirurgiczną, znaną obecnie jako zabieg Maze I, która zakładała linie cięcia w dwóch przedsionkach,

cięcia okrężne wokół każdej z żył płucnych, rozległą linię cięcia rozpoczynającą się w obrębie prawego przedsionka i rozciągającą się przez dół owalny, cięcie od dolnej strony żył płucnych prowadzone do poziomu pierścienia zastawki mitralnej oraz ostatecznie krioablację w temperaturze  $-60^{\circ}\text{C}$  w obrębie zatoki wieńcowej.

Obserwacja pacjentów, którzy zostali poddani zabiegowi Maze I, wykazała istotną niewydolność chronotropową, a także, w niektórych przypadkach, dysfunkcję lewego przedsionka, co uznawano za wynik cięć prowadzonych w pobliżu węzła zatokowego [22]. Procedura została zmodyfikowana i nazwana mianem zabiegu Maze II, w przypadku którego nie przeprowadzano nacięć wokół węzła zatokowego, a także wprowadzono kilka zmian, dotyczących linii cięć przeprowadzanych w obrębie lewego przedsionka. Powyższe modyfikacje spowodowały zmniejszenie ryzyka rozwoju niewydolności chronotropowej, jednak zarazem stały się znacznym wyzwaniem technicznym dla operujących i sprawiły, że procedura ta znacznie się wydłużyła i skomplikowała.

Pęczek Bachmanna w sposób szybki przewodzi impulsy powstające w węźle zatokowym z górnej części przegrody i sklepienia prawego przedsionka do lewego przedsionka, pozwalając w ten sposób na prawie jednoczesną aktywację obu przedsionków i odpowiednie wypełnienie krwią obu komór. Podczas zabiegów Maze I i Maze II pęczek Bachmanna ulega albo podzieleniu, albo jest włączony w linię cięcia przebiegającą w stropie lewego przedsionka, co skutkuje wydłużonym czasem przewodzenia międzyprzedsionkowego oraz dyssynchronią przewodzenia przedsionkowo-komorowego, szczególnie między lewym przedsionkiem i lewą komorą [22]. Z tych powodów procedura została ponownie zmodyfikowana na drodze przesunięcia linii cięcia biegnącej w stropie lewego przedsionka ku tyłowi (ryc. 1). Tę pozornie małą modyfikację nazwano zabiegiem Maze III. W istotny sposób poprawiła ona aspekty techniczne oraz czynnościowe zabiegu [22].

W lipcu 2000 roku Cox opublikował swoją pracę [23] opisującą grupę 308 chorych po zabiegu Maze III. Śmiertelność okołooperacyjna w tej grupie wyniosła 2,9%, zaś w 37% przypadków zaobserwowano wystąpienie po zabiegu arytmii (głównie AF i AFL). W trwającej 8,5 roku obserwacji, w której uczestniczyło 178 pacjentów poddanych wcześniej zabiegowi Maze III, u 93% chorych arytmia nie nawróciła (pacjenci nie przyjmowali żadnych leków antyarytmicznych), a odsetek okołooperacyjnych incydentów neurologicznych wyno-



**Rycina 1.** Zabieg Maze III jako standardowa metoda chirurgicznej ablacji migotania przedsionków. Przedruk za zgodą doktora Jamesa L. Coxa

sił tylko 0,7%, co wiązano z obcięciem uszka lewego przedsionka [24].

Pomimo wysokiego odsetka skuteczności w przywracaniu rytmu zatokowego zabiegi typu Maze to procedury o długim czasie realizacji i ciągle stanowią złożone, techniczne wyzwanie dla operującego. Trwające obecnie badania naukowe mają na celu modyfikacje dotyczące między innymi minimalizacji inwazyjności dojścia operacyjnego oraz alternatywnych źródeł energii, co ma służyć skróceniu czasu trwania zabiegu przy utrzymaniu tej samej skuteczności w przywracaniu prawidłowego rytmu zatokowego (tab. 1).

### Prąd o wysokiej częstotliwości

Prąd o wysokiej częstotliwości stanowi alternatywne źródło energii, które generuje ciepło na drodze zjonizowania tkanki z następczym wytworzeniem ukierunkowanego przepływu odpowiedniego prądu. W opisany powyżej sposób energia elektromagnetyczna może zostać przekształcona w energię mechaniczną (np. w energię cieplną). W przypadku jednopólnych (unipolarnych) cewników stosowanych do ablacji prądem RF wytworzony prąd przepływa od końcówki cewnika (elektrody) do powierzchni elektrody powierzchniowej, powodując tym samym proporcjonalny spadek wartości energii (ciepła) dostarczanej do głębiej położonych tkanek dystalnych. W przypadku bipolarnych cewników służących do ablacji prądem RF przepływ prądu odbywa się między dwoma położonymi naprzeciw siebie w bliskiej odległości elektrodami (pierścieniami zamontowanymi na cewniku), co powoduje ograniczenie energii (ciepła)

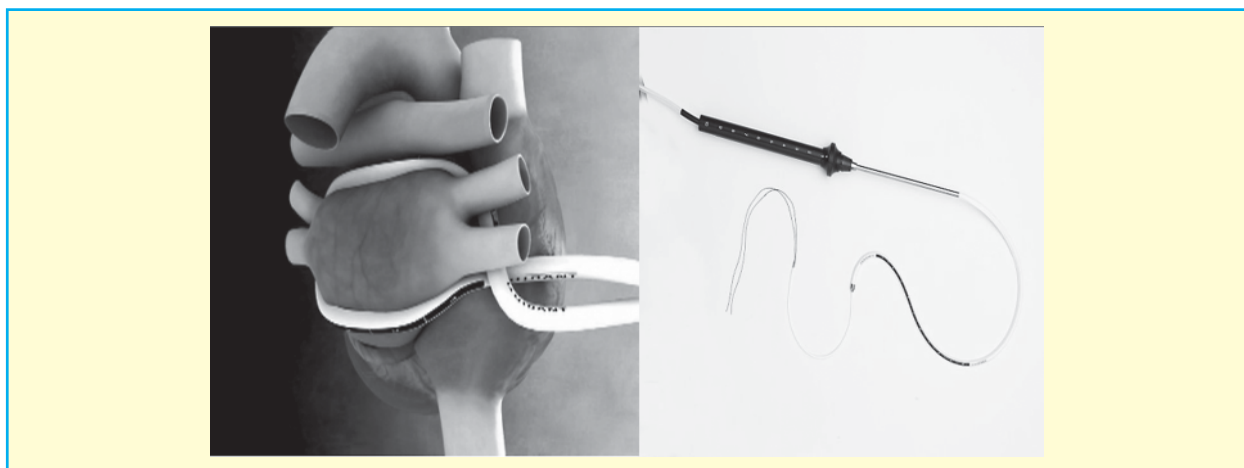
**Tabela 1.** Dane uzyskane z piśmiennictwa [35, 42]. Zaadaptowane przez Bakir i wsp. [43]

Źródło energii	Mechanizm działania oraz niszczenia tkanek	Zastosowanie kliniczne	Zastosowanie wsierdziowe/nasierdziowe
Prąd o wysokiej częstotliwości	Przeptywający prąd o wysokiej częstotliwości powoduje termiczne uszkodzenie	Powszechnie stosowany	Oba
Mikrofale	Fale elektromagnetyczne generują uszkodzenie termiczne	Coraz szerzej stosowane	Oba
Kriotermia	Azotan argonu powoduje tworzenie się kryształków lodu	Powszechnie stosowany	Osierdziowe
Ultradźwięki	Naprzemienne naprężenia i relaksacje generują uszkodzenie termiczne	Powszechnie stosowany	Nasierdziowe
Laser	Fotony o określonej długości fali generują uszkodzenie termiczne	Ograniczone	Nasierdziowe

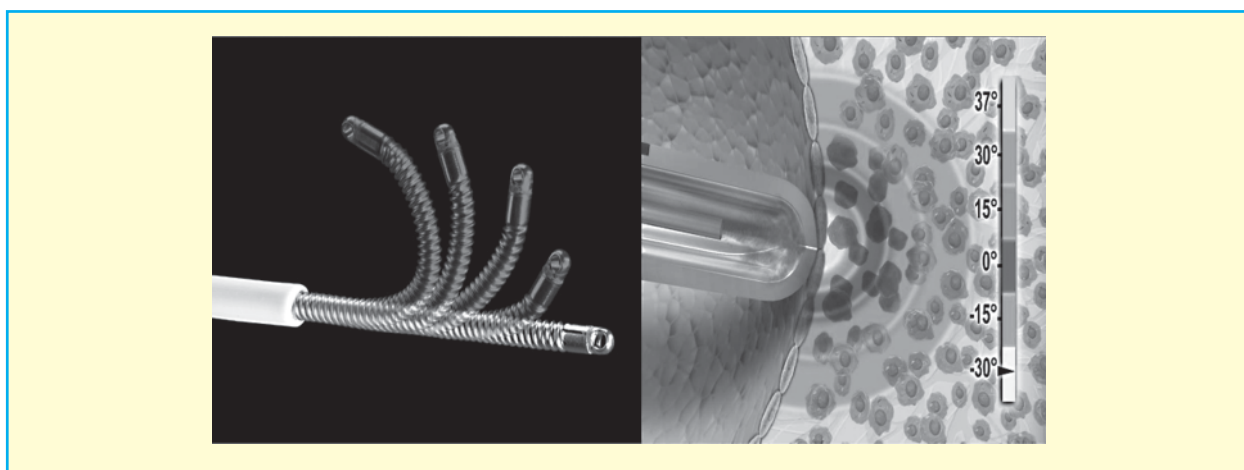
przeptywającego do jedynie małej objętości mięśniówki serca. Ponadto irygacja (przemywanie) końcówki cewnika służącego do ablacji prądem RF za pomocą roztworu soli fizjologicznej pozwala na skuteczne chłodzenie końcówki cewnika (elektrody), umożliwiając obniżenie strat i zjawiska rozpraszania się ciepła i energii poza obszar przyległy do końcówki cewnika ablacyjnego, tworząc w ten sposób głębszą i bardziej jednorodną zmianę poablacyjną. Ablację prądem RF można zastosować zarówno na powierzchni wsierdza, jak i nasierdza. Chiappini i wsp. [25] opisali grupę 30 pacjentów poddanych chirurgicznemu zabiegowi Maze III oraz 30 osób poddanych ablacji prądem RF z powodu przetrwałego migotania przedsionków. Wszystkie wspomniane powyżej procedury wykonywał jeden operator. Obydwie grupy chorych miały zbliżoną charakterystykę wyjściową i były poddane podobnej farmakoterapii antyarytmicznej (głównie amiodaron) w okresie po zabiegu (do 6 miesięcy). Pacjentów obserwowano przez średnio około 15,5 miesiąca, a pierwszym punktem końcowym było zaś przywrócenie rytmu zatokowego [25]. Skumulowany wskaźnik śmiertelności szpitalnej nie różnił się w sposób istotny statystycznie w odniesieniu do obydwu grup, z kolei skumulowany wskaźnik przywrócenia rytmu zatokowego wynosił 68,9% w grupie leczonej za pomocą tradycyjnego zabiegu Maze III i 88,5% w grupie chorych poddanych ablacji prądem RF [25]. Także w przypadku kilku innych grup pacjentów potwierdzono wysoką skuteczność ablacji prądem RF w leczeniu przetrwałego i utrwalonego migotania przedsionków, wykonywanej jednocześnie z innymi zabiegami kardiochirurgicznymi, takimi jak zabieg przeszłowania naczyń wieńcowych lub wymiany zastawki [26–28].

### Energia mikrofalowa

W ostatnim okresie udowodniono, że energia mikrofalowa może być również skutecznym źródłem energii dla chirurgicznych ablacji migotania przedsionków wykonywanych za pomocą cewnika. Energia mikrofalowa zawiera spektrum fal elektromagnetycznych w zakresie częstotliwości 0,3–300 GHz. Promieniowanie elektromagnetyczne wywoływane przez tego typu energię powoduje ruch drgający molekuł, przemieniając tym samym energię elektromagnetyczną w energię kinetyczną i ostatecznie wywołując termiczną martwicę mięśniówki serca. Końcówka cewnika ablacyjnego może przybierać jeden z kilku różnych typów kształtu anteny mikrofalowej, co zarazem determinuje typ generowanego pola magnetycznego (ryc. 2). Energia mikrofalowa może wywołać, w porównaniu z prądem RF, większe i głębsze zmiany. Charakter powstających poablacyjnych uszkodzeń tkanki jest zbliżony zarówno podczas ablacji cewnikowej opartej na energii mikrofalowej, jak i podczas ablacji RF. Minimalnie inwazyjne dawki energii mikrofalowej aplikowane przez cewnik na bijącym sercu są obecnie przedmiotem badań naukowych nad narzędziami wykorzystywanymi do ablacji nasierdziejowej [29, 30]. Pomimo istnienia teoretycznych przesłanek mówiących o transmuralnym charakterze zmian wywołanych przez zastosowanie energii mikrofalowej późniejsze badania autopsyjne wykonane przez Accorda i wsp. [30] sugerują jednak, że w naturze zmiany powstające po zastosowaniu energii mikrofalowej są zmienne i bardzo często nie przejawiają cech zmian pełnościennych. Gillinov i wsp. [31] opisali zastosowanie energii mikrofalowej w leczeniu ablacyjnym AF wykonanym podczas kardiochirurgicznego zabiegu dotyczącego zastawki



**Rycina 2.** Ablacja cewnikowa z zastosowaniem energii mikrofalowej. Opublikowano za zgodą Boston Scientific



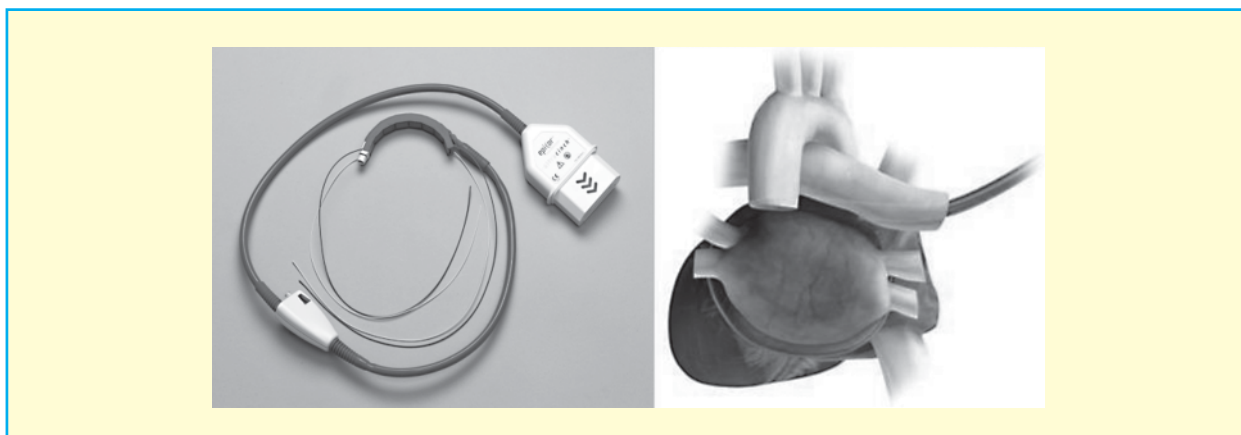
**Rycina 3.** Giętki cewnik krioablacyjny oparty na argonie firmy SurgiFrost Cryocath oraz przykład kriomapy. Urządzenie krioablacyjne, Irvine (Kalifornia). Przedrukowano za zgodą CryoCath Technologies

mitralnej. Z kolei Knaut i wsp. [32] udowodnili bezpieczeństwo i skuteczność zabiegu ablacji napadowego AF z zastosowaniem energii mikrofalowej podczas trwania różnego typu zabiegów kardiologicznych.

### Kriotermia

Cewnik służący do krioablacji wyposażony jest w końcówkę, która może zostać oziębiona do temperatury  $-70^{\circ}\text{C}$  lub mniejszej, co osiąga się za pomocą infuzji azotanu argonu w poprzek obszaru przyległego do cewnika ablacyjnego. W przypadku zabiegu typu Maze III kriotermia stanowi integralny aspekt zabiegu i stosuje się ją w krioablacji w obszarze zatoki wieńcowej. Podczas krioablacji temperatura mięśniówki serca zostaje obniżona do określonego poziomu z następczym zewnątrz- i wewnątrzkomórkowym tworzeniem kryształków

lodu, co powoduje nieodwracalne uszkodzenie komórek i ostatecznie ich martwicę (ryc. 3). Do korzyści wynikających z zastosowania metod krioablacji należy zachowanie znajdującej się w tle cytoarchitektury, a także małe ryzyko powstania blizny lub zakrzepu. Zjawisko zwane krioadhezją, które odnosi się do powstawania połączenia między końcówką elektrody krioablacyjnej a mięśniówką serca podczas procesu oziębiania, pozwala na stabilny przebieg techniczny zabiegu krioablacji. W celu uzyskania trwałego uszkodzenia komórek można zastosować wielokrotne zabiegi krioablacji. Mack i wsp. [33] opisali i udowodnili bezpieczeństwo i skuteczność używania giętkiego cewnika krioablacyjnego opartego na przepływie argonu podczas zabiegów kardiologicznych wykonywanych z innych przyczyn. Gaita i wsp. [34] porównali 3 różne zestawy lokalizacji w lewym przedsionku, w których zaaplikowano kriotermię. W pierwszym przypadku



**Rycina 4.** System ablacji sercowej Epicor(tm) oparty na technice skupionej wiązki fal ultradźwięków o dużym natężeniu. Zdjęcia chronione prawem autorskim St. Jude Medical, Inc. 2007 Przedrukowano za zgodą

zastosowano jedynie izolowaną krioizolację żył płucnych, w pozostałych oprócz krioizolacji żył płucnych wykonano jedną lub więcej aplikacji krioterмии w linii łączącej dolne żyły płucne z pierścieniem zastawki mitralnej. Wykonanie dodatkowych liniowych aplikacji krioterмии, w porównaniu z samą tylko krioizolacją żył płucnych, cechowało się większą efektywnością w zakresie przywracania rytmu zatokowego ze współczynnikiem powodzenia równym 85% wartości współczynnika skuteczności uzyskiwanej przy zastosowaniu leków antyarytmicznych, przy założeniu możliwości wystąpienia całkowitego bloku serca. Powyższe badanie wskazało również na ograniczenia metody krioablacji, ponieważ nawet pomimo bardzo ścisłego nadzoru całkowity blok serca wytworzył się u 65% pacjentów, u których wykonano dodatkowe liniowe aplikacje krioterмии, oraz u 71% chorych, u których zastosowano jedynie izolację żył płucnych [34].

### **Energia ultradźwiękowa o wysokiej częstotliwości**

Fale dźwiękowe rozchodzą się w danym ośrodku w sposób mechaniczny na drodze szybkich, naprzemiennych naprężeń i relaksacji materiału. Fale dźwiękowe o częstotliwości powyżej 20 kHz nie mogą być usłyszane przez ludzkie ucho i generalnie zaliczane są do kategorii ultradźwięków. Skupiona wiązka fal ultradźwięków o dużym natężeniu (HIFU, *high intensity focused ultrasound*) typowo cechuje się znacznie większą częstotliwością, lokującą się w zakresie 2–20 MHz. Przy zastosowaniu aż tak wysokich częstotliwości oraz dużych wartości mocy te krótkie fale dźwiękowe mogą efektywnie nagrzewać tkanki, przy czym można wstępnie

określić głębokość skupiania fal dźwiękowych w tkance. Uogólniając, im większa częstotliwość fal, tym mięśniówka serca lepiej absorbuje energię ultradźwiękową i można uzyskać lepsze skupienie akustyczne fal (ryc. 4).

Skupiona wiązka fal ultradźwięków o dużym natężeniu powstaje poprzez zamianę energii elektrycznej na energię mechaniczną lub drgania pizoelektryczne w wyniku procesu zwanego transdukcją przy wykorzystaniu urządzenia konwertującego — przetwornika pizoelektrycznego. Fale ultradźwięków o dużym natężeniu można skupić, skutecznie propagować oraz skierować w kierunku głębiej położonych tkanek. Skupiona wiązka fal ultradźwięków o dużym natężeniu nagrzewa tkanki, produkując ciepło na skutek tarcia, i w ten sposób wywołuje określony zakres uszkodzenia cieplnego na danym obszarze.

Do zalet zastosowania techniki skupionej wiązki fal ultradźwiękowych o dużym natężeniu jako źródła energii ablacyjnej należy zaliczyć zdolność powyższej techniki do uniknięcia tak zwanego efektu chłodzenia poprzez krew przepływającą w lewym przedsionku, co pozwala na tworzenie pełnościennej zmiany poablacyjnej przy zastosowaniu na powierzchni nasierdza. Zdolność do skupiania zmian destrukcyjnych tkanki na określonej głębokości pozwala na bezpieczne przeprowadzenie zabiegu ablacji cieśni lewego przedsionka poprzez powierzchnię nasierdza, który jest zlokalizowany w okolicy proksymalnego fragmentu tętnicy okalającej. Za pomocą techniki skupionej wiązki fal HIFU można dokonywać skutecznych zabiegów ablacji mięśniówki serca bez potrzeby odpreparowywania tłuszczu nasierdziowego oraz, przynajmniej w teorii, bez obaw o uszkodzenie naczyń wieńcowych.

Z powodu mechanizmu ogniskowania energii wiązki fal HIFU, w przeciwieństwie do innych metod, takich jak: gradient termiczny wytwarzany przez prąd RF, energia mikrofalowa, laserowa lub kriotermia, ilość tkanki poddanej ablacji jest ograniczona do tkanki zlokalizowanej na określonej głębokości — w zależności od ustawień parametrów przetworznika (urządzenia ablacyjnego).

W prospektywnym, wieloośrodkowym badaniu, w którym uczestniczyło 5 centrów europejskich, zabieg nasierdziejowej ablacji (*off-pump*) za pomocą techniki skupionej wiązki fal HIFU wykorzystywano w celu wykonania jednoczesnej izolacji okrężnej żył płucnych na bijącym sercu. W badaniu wzięło udział 103 pacjentów poddawanych zabiegom kardiochirurgicznym z innych przyczyn, 76 (74%) z nich miało utrwalone migotanie przedsionków, 22 (21%) — napadowe migotanie przedsionków, a 5 (5%) — przetrwałe migotanie przedsionków [35]. Przy użyciu urządzenia do ablacji z zastosowaniem techniki skupionej wiązki fal HIFU izolację żył płucnych wykonywano średnio przez około 10 minut. Przy wykorzystaniu drugiego urządzenia do ablacji za pomocą techniki skupionej wiązki fal ultradźwiękowych o dużym natężeniu wykonano dodatkowe aplikacje na linii łączącej lewe żyły płucne z pierścieniem zastawki mitralnej u 34 (35%) pacjentów. Podczas badania nie zaobserwowano komplikacji związanych z zastosowaniem urządzenia do ablacji przy użyciu techniki skupionej wiązki fal HIFU czy też związanych z samym zabiegiem ablacji. Nie zanotowano również zgonów pacjentów. W 6-miesięcznej obserwacji po zabiegu odsetek osób bez napadu AF, analizowanych zarówno za pomocą wykonywanych powierzchniowych zapisów elektrokardiograficznych, jak i za pomocą badania holterowskiego EKG, wynosił 85% w odniesieniu do całej grupy badawczej, 88% w przypadku pacjentów, u których wykonano dodatkowe liniowe aplikacje w okolicy zastawki mitralnej, oraz 100% u osób z napadowym migotaniem przedsionków [35].

### Lasery

Wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania (LASER, *light amplification by stimulated emission of radiation*) jest w istocie wiązką światła o określonej długości fali, która może być precyzyjnie skupiona, wytwarzać ciepło i następczo powodować destrukcję tkanek. Chirurgiczną ablację przy użyciu energii laserowej dotychczas przeprowadzono jedynie na modelu serca psa. Całkowitą izolację żył płucnych wykonano u 16 psów ze średnią liczbą około  $5,6 \pm 0,82$  aplikacji w celu uzyskania kompletnej izolacji; każda z aplikacji trwała

45 s [36]. Histochemiczna analiza zmian poablacyjnych udowodniła ich pełnościenny charakter [36]. Obecnie nie istnieją dane oparte na badaniach przeprowadzonych na gatunku ludzkim, które mogłyby uzasadniać zastosowanie energii laserowej podczas chirurgicznych zabiegów ablacyjnych migotania przedsionków.

### Alternatywne źródła energii a zabieg typu Maze III

Khargi i wsp. [37] dokonali przeglądu skuteczności zabiegów ablacyjnych z zastosowaniem alternatywnych źródeł energii (prąd RF, energia mikrofalowa, kriotermia) w porównaniu z klasycznym zabiegiem chirurgicznego leczenia migotania przedsionków Maze III. Współczynnik uzyskania rytmu zatokowego w okresie pooperacyjnym w przypadku zabiegów z zastosowaniem alternatywnych źródeł energii wynosił 78,3% w porównaniu z 84,9% ( $p = 0,03$ ) w przypadku zabiegu Maze III [37]. Jednak po przeanalizowaniu danych ze względu na typ i czas trwania AF, a także obecność i typ jednocześnie wykonywanych zabiegów kardiochirurgicznych z innych przyczyn, różnica nie wykazała już istotności statystycznej ( $p = 0,260$ ) [37].

Uwzględniając bardziej aktualne badania, Stulak i wsp. [38] porównali grupę 56 pacjentów poddanych chirurgicznemu zabiegowi Cox Maze ablacji migotania przedsionków przy użyciu bipolarnego cewnika z zastosowaniem prądu RF z grupą 56 osób poddanych klasycznemu zabiegowi Cox Maze typu „przetnij i zszyj”. U pacjentów poddanych ablacji z zastosowaniem prądu RF istniało mniejsze prawdopodobieństwo niewystępowania migotania przedsionków podczas wypisu ze szpitala (64% vs. 88%,  $p = 0,0039$ ) oraz podczas okresu obserwacji (62% vs. 92%,  $p = 0,016$ ) niż w grupie osób po klasycznym zabiegu chirurgicznym. Zgodnie z wynikami wielozmiennej analizy pacjenci poddani ablacji z zastosowaniem prądu RF, u których prawdopodobieństwo było 4,5-krotnie większe, podczas wypisu ze szpitala będą mieli migotanie przedsionków.

### Chirurgiczna ablacja obu przedsionków w porównaniu z ablacją jedynie lewego przedsionka

Począwszy od pierwotnej koncepcji powstałej w 1987 roku, zabieg Cox Maze uległ licznym modyfikacjom, a obecnie prowadzone badania skupiają się na określeniu najbezpieczniejszych oraz najbardziej skutecznych lokalizacji nacięć. Barnett i Ad [39] przeprowadzili metaanalizę porównującą bezpieczeństwo

i skuteczność chirurgicznych procedur eliminujących migotanie przedsionków: zabiegów ablacyjnych wykonywanych w obu przedsionkach w porównaniu z zabiegami przeprowadzanymi tylko w lewym przedsionku. Do analizy włączono 69 badań z łączną liczbą 5885 pacjentów i 3-letnim czasem obserwacji. U osób, które zostały poddane jakiegokolwiek chirurgicznemu zabiegowi ablacji AF, wykazano większe prawdopodobieństwo uzyskania rytmu zatokowego (90,4–85,4%) niż w grupie kontrolnej (47,2–60,9%). W każdym z analizowanych okresów czasowych pacjenci, którzy przeszli zabieg ablacji dotyczący obydwu przedsionków, cechowali się większym wskaźnikiem skuteczności (rozumianej jako utrzymanie rytmu zatokowego) (92,0–87,1%) w porównaniu z osobami, u których dokonano ablacji jedynie w lewym przedsionku (86,1–73,4%), chociaż współczynnik przeżycia pacjentów był zbliżony w obu grupach [39].

### **Częstość występowania udarów mózgu oraz długookresowa terapia przeciwkrzepliwa u osób poddanych chirurgicznemu zabiegowi typu Maze**

Częstość występowania udaru mózgu po przeprowadzonym zabiegu typu Maze jest bardzo niska — około 0,1% rocznie. Wynika to częściowo z powrotu funkcji transportowych przedsionka oraz uzyskania synchronii przedsionkowo-komorowej, co minimalizuje wewnątrzsercowy zastój krwi i proces formowania się wewnątrzsercowych zakrzepów [40, 41]. Innym czynnikiem, który przyczynia się do obniżenia wskaźnika częstotliwości incydentów udarowych, jest wykonywanie procedury wycięcia lub podwiązania uszka lewego przedsionka podczas zabiegu Cox Maze [41].

Stosowanie terapii przeciwkrzepliwej po zabiegu Cox Maze jest częściowo determinowane rodzajem wykonywanej jednocześnie procedury kardiochirurgicznej. Wśród 306 chorych 45 wymagało trwałego leczenia przeciwkrzepliwego polegającego na zastosowaniu warfaryny, do tej grupy należy zaliczyć pacjentów po implantacji jakiegokolwiek sztucznej protezy zastawki mitralnej, osoby po implantacji mechanicznej zastawki aorty oraz chorych poddanych zabiegowi Bentalla. W tej samej grupie 78 pacjentów poddano czasowo terapii przeciwkrzepliwej polegającej na podawaniu warfaryny przez 3 miesiące tylko z powodu przedoperacyjnych incydentów zakrzepowo-zatorowych, a u 142 chorych w ogóle nie stosowano leczenia przeciwkrzepliwego [41]. Po 11,5 roku obserwacji całkowity wskaźnik częstości występowania udaru mózgu w tej grupie wyniósł 0,4% [41].

## **Wnioski**

Celem chirurgicznej ablacji migotania przedsionków jest osiągnięcie w bezpieczny i skuteczny sposób kontroli nad arytmia, potencjalnie niweluje konieczność stosowania leków antyarytmicznych oraz przeciwkrzepliwych. Znajomość mechanizmów patoelektrofizjologicznych w migotaniu przedsionków znacznie się rozszerzyła w ciągu ostatnich 40 lat. Wraz z rozwojem podstaw teoretycznych można było również zaobserwować rozwój oraz ewolucję nowych metod chirurgicznych oraz alternatywnych źródeł energii służącej do przeprowadzania zabiegów ablacji migotania przedsionków. Istnieje nadzieja, że trwające właśnie badania i rejestry chorych wyjaśnią, u których pacjentów należy rozważyć chirurgiczną ablację migotania przedsionków oraz w jakim czasie trzeba pomyśleć o omówionych powyżej metodach.

## **Oświadczenie**

Autorzy artykułu oświadczają, że nie istnieje żaden konflikt interesów dotyczący niniejszej pracy.

## **Piśmiennictwo**

1. Go A.S., Hylek E.M., Phillips K.A. i wsp. Prevalence of diagnosed atrial fibrillation in adults: National implications for rhythm management and stroke prevention: The AnTicoagulation and Risk Factors in Atrial Fibrillation (ATRIA) Study. *JAMA* 2001; 285: 2370–2375.
2. Rosamond W., Flegal K., Friday G. i wsp. Heart disease and stroke statistics — 2007 update: A report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. *Circulation* 2007; 115: e69–e171.
3. Benjamin E.J., Levy D., Vaziri S.M., D'Agostino R.B., Belanger A.J., Wolf P.A. Independent risk factors for atrial fibrillation in a population-based cohort. The Framingham Heart Study. *JAMA* 1994; 271: 840–844.
4. Eaker E.D., Sullivan L.M., Kelly-Hayes M., D'Agostino R.B. Sr, Benjamin E.J. Anger and hostility predict the development of atrial fibrillation in men in the Framingham Offspring Study. *Circulation* 2004; 109: 1267–1271.
5. Mitchell G.F., Vasan R.S., Keyes M.J. i wsp. Pulse pressure and risk of new-onset atrial fibrillation. *JAMA* 2007; 297: 709–715.
6. Psaty B.M., Manolio T.A., Kuller L.H. i wsp. Incidence of and risk factors for atrial fibrillation in older adults. *Circulation* 1997; 96: 2455–2461.
7. Wang T.J., Parise H., Levy D. i wsp. Obesity and the risk of new-onset atrial fibrillation. *JAMA* 2004; 292: 2471–2477.
8. Kanagala R., Murali N.S., Friedman P.A. i wsp. Obstructive sleep apnea and the recurrence of atrial fibrillation. *Circulation* 2003; 107: 2589–2594.
9. Risk factors for stroke and efficacy of antithrombotic therapy in atrial fibrillation. Analysis of pooled data from five randomized controlled trials. *Arch. Intern. Med.* 1994; 154: 1449–1457.
10. Van Gelder I.C., Hagens V.E., Bosker H.A. i wsp. A comparison of rate control and rhythm control in patients with recurrent persistent atrial fibrillation. *N. Engl. J. Med.* 2002; 347: 1834–1840.



11. Wyse D.G., Waldo A.L., DiMarco J.P. i wsp. A comparison of rate control and rhythm control in patients with atrial fibrillation. *N. Engl. J. Med.* 2002; 347: 1825–1833.
12. Haissaguerre M., Jais P., Shah D.C. i wsp. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N. Engl. J. Med.* 1998; 339: 659–666.
13. Jalife J. Rotors and spiral waves in atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2003; 14: 776–780.
14. Jalife J., Berenfeld O., Mansour M. Mother rotors and fibrillatory conduction: A mechanism of atrial fibrillation. *Cardiovasc. Res.* 2002; 54: 204–216.
15. Pappone C., Oral H., Santinelli V. i wsp. Atrio-esophageal fistula as a complication of percutaneous transcatheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation* 2004; 109: 2724–2726.
16. Sanchez-Quintana D., Cabrera J.A., Climent V., Farre J., Mendonca M.C., Ho S.Y. Anatomic relations between the esophagus and left atrium and relevance for ablation of atrial fibrillation. *Circulation* 2005; 112: 1400–1405.
17. Takahashi Y., Jais P., Hocini M. i wsp. Acute occlusion of the left circumflex coronary artery during mitral isthmus linear ablation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2005; 16: 1104–1107.
18. Williams J.M., Ungerleider R.M., Lofland G.K., Cox J.L. Left atrial isolation: New technique for the treatment of supraventricular arrhythmias. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1980; 80: 373–380.
19. Scheinman M.M., Morady F., Hess D.S., Gonzalez R. Catheter-induced ablation of the atrioventricular junction to control refractory supraventricular arrhythmias. *JAMA* 1982; 248: 851–855.
20. Guiraudon G.M., Cambel C.S., Jones D.L. i wsp. Combined sinoatrial node atrioventricular node isolation: A surgical alternative to his bundle ablation in patients with atrial fibrillation. *Circulation* 1985; 72: III-220.
21. Cox J.L., Schuessler R.B., D'Agostino H.J. Jr i wsp. The surgical treatment of atrial fibrillation. III. Development of a definitive surgical procedure. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1991; 101: 569–583.
22. Cox J.L., Jaquiss R.D., Schuessler R.B., Boineau J.P. Modification of the maze procedure for atrial flutter and atrial fibrillation. II. Surgical technique of the Maze III procedure. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1995; 110: 485–495.
23. Cox J.L. Surgical treatment of atrial fibrillation: A review. *Europace* 2004; 5 (supl. 1): S20–S29.
24. Cox J.L., Schuessler R.B., Lappas D.G., Boineau J.P. An 8 1/2-year clinical experience with surgery for atrial fibrillation. *Ann. Surg.* 1996; 224: 267–273 (dyskusja: 273–265).
25. Chiappini B., Martin-Suarez S., LoForte A., Arpesella G., Di Bartolomeo R., Marinelli G. Cox/Maze III operation versus radiofrequency ablation for the surgical treatment of atrial fibrillation: A comparative study. *Ann. Thorac. Surg.* 2004; 77: 87–92.
26. Guden M., Akpınar B., Sanisoglu I., Sagbas E., Bayindir O. Intra-operative saline-irrigated radiofrequency modified Maze procedure for atrial fibrillation. *Ann. Thorac. Surg.* 2002; 74: S1301–S1306.
27. Raman J.S., Ishikawa S., Power J.M. Epicardial radiofrequency ablation of both atria in the treatment of atrial fibrillation: Experience in patients. *Ann. Thorac. Surg.* 2002; 74: 1506–1509.
28. Mohr F.W., Fabricius A.M., Falk V. i wsp. Curative treatment of atrial fibrillation with intraoperative radiofrequency ablation: Short-term and midterm results. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2002; 123: 919–927.
29. Maessen J.G., Nijs J.F., Smeets J.L., Vainer J., Mochtar B. Beating-heart surgical treatment of atrial fibrillation with microwave ablation. *Ann. Thorac. Surg.* 2002; 74: S1307–S1311.
30. Accord R.E., van Suylen R.J., van Brakel T.J., Maessen J.G. Post-mortem histologic evaluation of microwave lesions after epicardial pulmonary vein isolation for atrial fibrillation. *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 80: 881–887.
31. Gillinov A.M., Smedira N.G., Cosgrove 3rd D.M. Microwave ablation of atrial fibrillation during mitral valve operations. *Ann. Thorac. Surg.* 2002; 74: 1259–1261.
32. Knaut M., Tugtekin S.M., Spitzer S.G., Jung F., Matschke K. Intraoperative endocardial microwave ablation for treatment of permanent atrial fibrillation during coronary artery bypass surgery: 1-year follow-up. *Europace* 2006; 8: 16–20.
33. Mack C.A., Milla F., Ko W. i wsp. Surgical treatment of atrial fibrillation using argon-based cryoablation during concomitant cardiac procedures. *Circulation* 2005; 112 (supl. 9): II-16.
34. Gaita F., Riccardi R., Caponi D. i wsp. Linear cryoablation of the left atrium versus pulmonary vein cryoisolation in patients with permanent atrial fibrillation and valvular heart disease: Correlation of electroanatomic mapping and long-term clinical results. *Circulation* 2005; 111: 136–142.
35. Ninet J., Roques X., Seitelberger R. i wsp. Surgical ablation of atrial fibrillation with off-pump, epicardial, high-intensity focused ultrasound: Results of a multicenter trial. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2005; 130: 803–809.
36. Williams M.R., Casher J.M., Russo M.J., Hong K.N., Argenziano M., Oz M.C. Laser energy source in surgical atrial fibrillation ablation: Preclinical experience. *Ann. Thorac. Surg.* 2006; 82: 2260–2264.
37. Khargi K., Hutten B.A., Lemke B., Deneke T. Surgical treatment of atrial fibrillation: A systematic review. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2005; 27: 258–265.
38. Stulak J.M., Dearani J.A., Sundt 3rd T.M. i wsp. Superiority of cut-and-sew technique for the Cox Maze procedure: Comparison with radiofrequency ablation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2007; 133: 1022–1027.
39. Barnett S.D., Ad N. Surgical ablation as treatment for the elimination of atrial fibrillation: A meta-analysis. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006; 131: 1029–1035.
40. Cox J.L. Cardiac surgery for arrhythmias. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 250–262.
41. Cox J.L., Ad N., Palazzo T. Impact of the maze procedure on the stroke rate in patients with atrial fibrillation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1999; 118: 833–840.
42. Williams M.R., Garrido M., Oz M.C., Argenziano M. Alternative energy sources for surgical atrial ablation. *J. Card. Surg.* 2004; 19: 201–206.
43. Bakir I., Casselman F.P., Brugada P. i wsp. Current strategies in the surgical treatment of atrial fibrillation: Review of the literature and Onze Lieve Vrouw Clinic's strategy. *Ann. Thorac. Surg.* 2007; 83: 331–340.