

# Jak wykonać krioablację w przypadku przedsionkowo-komorowego nawrotnego częstoskurczu węzłowego?

Adam S. Budzikowski, Svjetlana Tisma-Dupanovic, Daniel Kroening i James P. Daubert

University of Rochester Medical Center, Cardiology Division, Rochester, NY, USA

Przedrukowano za zgodą z: *Cardiology Journal* 2007; 14: 597–604

## Wstęp

Przedsionkowo-komorowy nawrotny częstoskurcz węzłowy (AVNRT, *atrioventricular nodal reentrant tachycardia*) jest najczęściej obserwowanym w praktyce klinicznej częstoskurczem z wąskimi zespołami QRS [1]. Nawrotny częstoskurcz węzłowy występuje częściej u kobiet (70–78%) niż u mężczyzn, a nierzadko również wśród populacji pediatrycznej [2–4]. Mechanizmy powstania tego rodzaju częstoskurczu zostały już dobrze poznane. Powstały również efektywne metody ablacji tego zaburzenia. Selektywna eliminacja jednej z podwójnych dróg przewodzenia w obrębie węzła przedsionkowo-komorowego z zachowaniem przewodzenia przez ten węzeł została opisana po raz pierwszy przez Pritchetta i wsp. [5] jeszcze w erze chirurgicznego leczenia nawrotnego częstoskurczu węzłowego. Zapoczątkowane we wczesnych latach 90. przez Jackmana i wsp. [5] metody ablacyjnego leczenia nawrotnego częstoskurczu węzłowego przy zastosowaniu prądu o wysokiej częstotliwości (RF, *radiofrequency*) charakteryzują się wysokim odsetkiem skuteczności, jednak nie są pozbawione powikłań. W wielośrodkowych badaniach klinicznych udowodniono, że skuteczność ablacji prądem RF z zastosowaniem odpowiednich cewników ablacyjnych (RFCA, *radiofrequency catheter ablation*) w odniesieniu do leczenia nawrotnego częstoskurczu węzłowego wynosiła 97% z 5-procentowym

ryzykiem nawrotów arytmii [2]. W powyższych badaniach zabieg ablacji wiązał się z 1-procentowym ryzykiem wystąpienia całkowitego bloku serca oraz z 2-procentowym ryzykiem zaburzeń przewodzenia, które jednak nie wymagały implantacji stymulatora serca [2]. Starszy wiek pacjentów oraz strukturalna choroba mięśnia sercowego zwiększały ryzyko powstania całkowitego bloku serca [2]. Dodatkowe ograniczenia, nieodłączne dla RFCA, to nagłe i nadmierne zwiększenie temperatury otoczenia związane ze wzrostem wartości impedancji oraz następcze zwiększenie ciśnienia pary wodnej, co może skutkować ciśnieniowym urazem tkanek. Ponadto, ablacja z zastosowaniem prądu RF powoduje destrukcję śródbłonna, co może zwiększać ryzyko powstania skrzepu na powierzchni wsierdzia poddanej ablacji [6].

Metoda krioablacji przy zastosowaniu odpowiedniego cewnika (CCA, *catheter cryoablation*), w przeciwieństwie do RFCA, ma kilka unikatowych zalet (przewyższając pod tym względem metody RFCA), do których należy zdolność mapowania bez powodowania trwałych uszkodzeń (lub przynajmniej dużych, trwałych uszkodzeń) oraz stabilność cewnika podczas ablacji. Podczas krioablacji powstaje rodzaj kuli lodowej, która powoduje, że cewnik ablacyjny jest niejako przymarznięty do tkanki (a co się z tym wiąże na stałe ufiksowany), co przeciwdziała ruchom lub przesunięciom cewnika. Następstwem tego jest fakt, że wszelkie manipulacje cewnikiem są

**Adres do korespondencji:** James P. Daubert, MD, Assoc. Prof. of Medicine, University of Rochester Medical Center, Box 679-Cardiology Division, 601 Elmwood Ave, Rochester, NY 14642–8679, USA, e-mail: James\_Daubert@umrc.rochester.edu

Tłumaczenie: lek. Łukasz Gawiński

możliwe dopiero w momencie, gdy temperatura powróci do wartości fizjologicznych, w przeciwnym razie manipulacje te mogą teoretycznie skutkować perforacją lub innym rodzajem uszkodzenia tkanek mięśnia sercowego. Zmiany powstałe po zastosowaniu metody krioablacji są dobrze ograniczone, a uszkodzenie śródbłonna jest minimalne, co powoduje zmniejszenie ryzyka prozakrzepowego [6–8]. Metodę krioablacji początkowo stosowano w ramach chirurgicznego leczenia nawrotnego częstoskurczu węzłowego (krioablację węzła wykonywano po otwarciu klatki piersiowej). Już wtedy cechowała się ona wysokim odsetkiem udanych zabiegów [9–13]. Z czasem rozwinęła się technika wykonywania krioablacji metodą przezskórną. Było to możliwe dzięki stworzeniu cewników wykorzystujących tak zwane zjawisko Joule-Thompsona, które polega na znacznym oziębieniu (zmrożeniu) końcówki elektrody ablacyjnej [14]. Cewnik służący do wykonywania zabiegów krioablacji ma dwa wewnętrzne kanały. Pierwszy kanał wykorzystuje się do podawania sprężonego tlenu azotu (*nitrogen oxide*), który służy jako środek chłodniczy i rozprzestrzenia się w okolicy końcówki elektrody ablacyjnej. Drugi kanał służy usuwaniu rozprężonego już środka chłodniczego. Ilość dostarczonego tlenu azotu i zarazem temperaturę końcówki elektrody ablacyjnej kontroluje się podczas zabiegu ablacji za pomocą konsoli sterującej. Podczas procesu mapowania temperaturę elektrody ablacyjnej utrzymuje się na poziomie nie mniejszym niż  $-30^{\circ}\text{C}$ . Podczas samej ablacji temperaturę obniża się do wartości od  $-70^{\circ}\text{C}$  do  $-80^{\circ}\text{C}$  przez 2–4 min. Efektywność leczenia za pomocą metod przezskórnej krioablacji została udowodniona między innymi w przebiegu trzepotania i migotania przedsionków, nawrotnego częstoskurczu węzłowego oraz częstoskurczu przedsionkowo-komorowego z drogą dodatkową zlokalizowaną w okolicy pęczka Hisa [6, 15–19]. Technika przezskórnej krioablacji może być również zastosowana w przypadkach, w których aplikacja prądu RF (w ramach RFCA) może być niemożliwa do wykonania lub niebezpieczna (np. w okolicy zatoki wieńcowej lub środkowej żyły płucnej) [20, 21].

W ośrodku, w którym pracują autorzy niniejszej pracy, metod przezskórnej krioablacji używa się najczęściej w przypadku ablacji nawrotnych częstoskurczów węzłowych (szczególnie u dzieci) oraz w przypadku ablacji dróg dodatkowych zasadniczo wyłącznie o lokalizacji przednio- lub środkowoprzegrodowej. Niewątpliwą przewagą metody CCA nad RFCA w przebiegu leczenia nawrotnego częstoskurczu węzłowego jest możliwość kontynuowania

infuzji izoproterenolu podczas samej procedury ablacji. W niniejszej pracy przedstawiono dokładny opis zastosowania metody przezskórnej krioablacji w leczeniu nawrotnego częstoskurczu węzłowego.

### **Mechanizmy tworzenia się zmiany po zastosowaniu metody krioablacji**

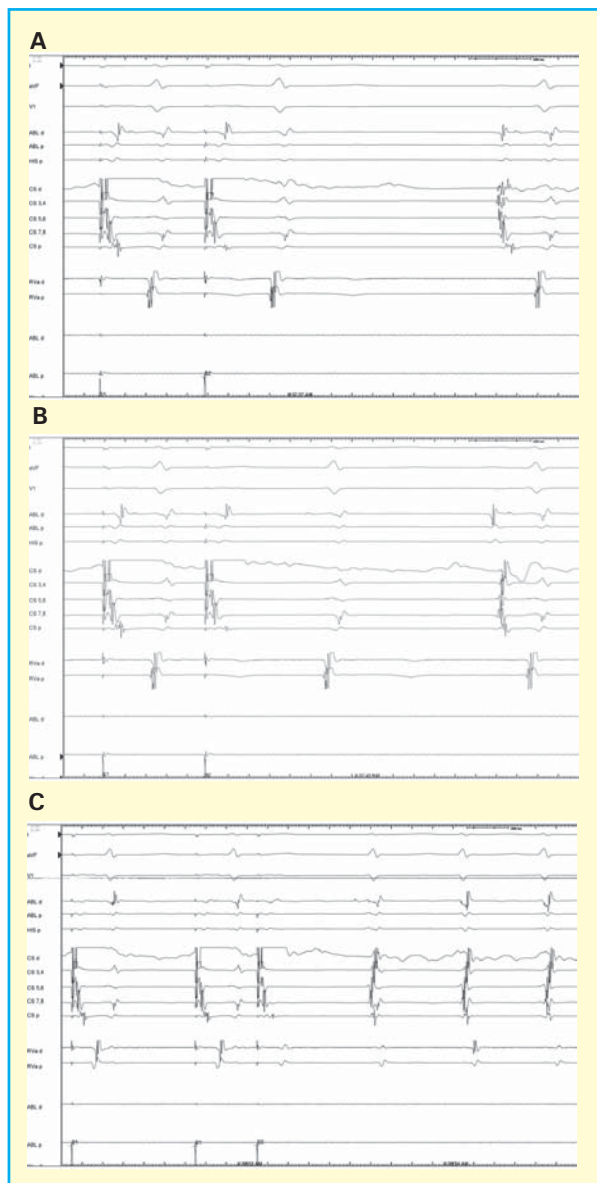
Techniki krioablacji używa się w medycynie z powodu wywoływanych w wyniku jej zastosowania kilku specyficznych efektów. Pierwszy z nich dotyczy przestrzeni pozakomórkowej i wiąże się z aplikacją niskich temperatur powodujących zamrażanie. Dochodzi wtedy do powstania zlokalizowanego pozakomórkowo lodu, co zwane jest także zjawiskiem uszkodzenia zależnego od rozpuszczalnika (*solute effect injury*), do którego dochodzi już przy temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$ . Zjawisko to powoduje przenikanie wody z przestrzeni wewnątrzkomórkowej do zewnątrzkomórkowej, ponieważ znajdująca się wcześniej w przestrzeni zewnątrzkomórkowej woda została związana w lód. Drugi efekt krioablacji obserwuje się przy temperaturze około  $-40^{\circ}\text{C}$ , kiedy to rozpoczyna się formowanie lodu w obrębie przestrzeni wewnątrzkomórkowej, co prowadzi do uszkodzenia organelli wewnątrzkomórkowych. Kolejny, trzeci efekt krioablacji to uszkodzenie naczyń krwionośnych z następczym zatrzymaniem w nich przepływu krwi, spowodowane zamrożeniem oraz następczym rozmarznięciem i częściowym powrotem przepływu krwi [14]. Podobnie jak w przypadku ablacji z wykorzystaniem innych źródeł energii, takich jak prąd RF, gradient uszkodzenia tkanek odpowiada gradientowi wartości temperatury zastosowanej podczas zabiegu. Efekt krioablacji może przybierać formę od odwracalnej (szczególnie w przypadku zastosowania łagodnych, krótkich okresów mrożenia), aż po trwałą (przy dłuższej trwającej aplikacji i/lub zastosowaniu niższych temperatur). W niektórych przypadkach uszkodzenie to może mieć charakter progresywny, w odpowiedzi na uszkodzenie naczyń oraz inne uszkodzenia tkankowe, które nastąpiły po zakończeniu aplikacji niskiej temperatury.

### **Przygotowanie pacjenta oraz opis procedury**

Autorzy niniejszej pracy podczas zabiegów krioablacyjnych odbywających się w pracowni elektrofizjologicznej używają rutynowo, w przypadku leczenia arytmii nadkomorowych, 3–4 zestawy cewników. W zatoce wieńcowej (CS, *coronary sinus*) umieszcza się nieruchomy cewnik ośmiopolarny

o rozmiarze 5 F z dojścia przez prawą żyłę szyjną wewnętrzną lub ruchomy, ośmio- lub dziesięciopolarny cewnik o wielkości 6–7 F poprzez dojście od prawej żyły udowej (w zależności od preferencji operatora). Dodatkowo cewniki są umieszczane w okolicy pęczka Hisa oraz w prawej komorze, a czasami dodatkowy cewnik w prawym przedsionku. Cewnik z prawej komory przemieszcza się do prawego przedsionka w celu uzyskania stymulacji tej jamy serca w przypadkach, kiedy nie założono dodatkowego cewnika do prawego przedsionka (patrz wyżej). Po wywołaniu arytmii oraz po przeprowadzeniu mapowania cewnik z prawej komory (lub z prawego przedsionka) jest zamieniany na cewnik ablacynny. W celu poprawy stabilności oraz właściwości manewrowych cewnika rutynowo używa się długiej koszulki cewnika (np. SR-0, St. Jude Medical, Kalifornia). Autorzy niniejszej pracy preferują, w przypadku pacjentów dorosłych, użycie 6-milimetrowego cewnika krioablacyjnego o krzywiznie średniego stopnia (CryoCath, Kirkland, QE). Mimo że zdolność kriomapowania maleje wraz z użyciem cewników o większych rozmiarach elektrody (końcówki), w przeciwieństwie do cewnika o rozmiarze 4 mm, cewnik 6-milimetrowy powoduje powstanie większej zmiany, co pozwala na wykonanie mniejszej liczby aplikacji i potencjalnie skraca czas zabiegu. Poza Stanami Zjednoczonymi kriomapowanie przy użyciu cewnika o wymiarze 6 mm wykonuje się zależnie od miejscowych regulacji prawnych. Jeżeli u pacjenta arytmie można wywołać jedynie poprzez infuzję izoproterenolu, to wlew ten może być kontynuowany podczas zabiegu krioablacji, ponieważ istnieje możliwość uzyskania doskonałej stabilności cewnika podczas zamrażania. Podtrzymywanie infuzji izoproterenolu podczas procedury krioablacji pozwala także na szybki test skuteczności ablacji bez potrzeby wypłukania izoproterenolu, co jest konieczne w przypadku kolejnej zmiany miejsca aplikacji. Stosując ablację prądem RF, typowo należy zatrzymać infuzję izoproterenolu przed właściwą aplikacją prądu RF w celu maksymalnej stabilizacji cewnika oraz zminimalizowania jego ruchów. Takie postępowanie może wywołać powstanie trwałego bloku przedsionkowo-komorowego. W przypadku ablacji prądem RF, po potencjalnie skutecznej procedurze (dla której charakterystyczne jest pojawienie się przyspieszonego rytmu węzłowego), należy po ponownym rozpoczęciu infuzji izoproterenolu jeszcze raz ocenić skłonność do ponownego wzbudzenia się arytmii; czasami procedurę składającą się z płukania i kolejnego rozpoczęcia infuzji izoproterenolu trzeba powtarzać dwa lub więcej razy.

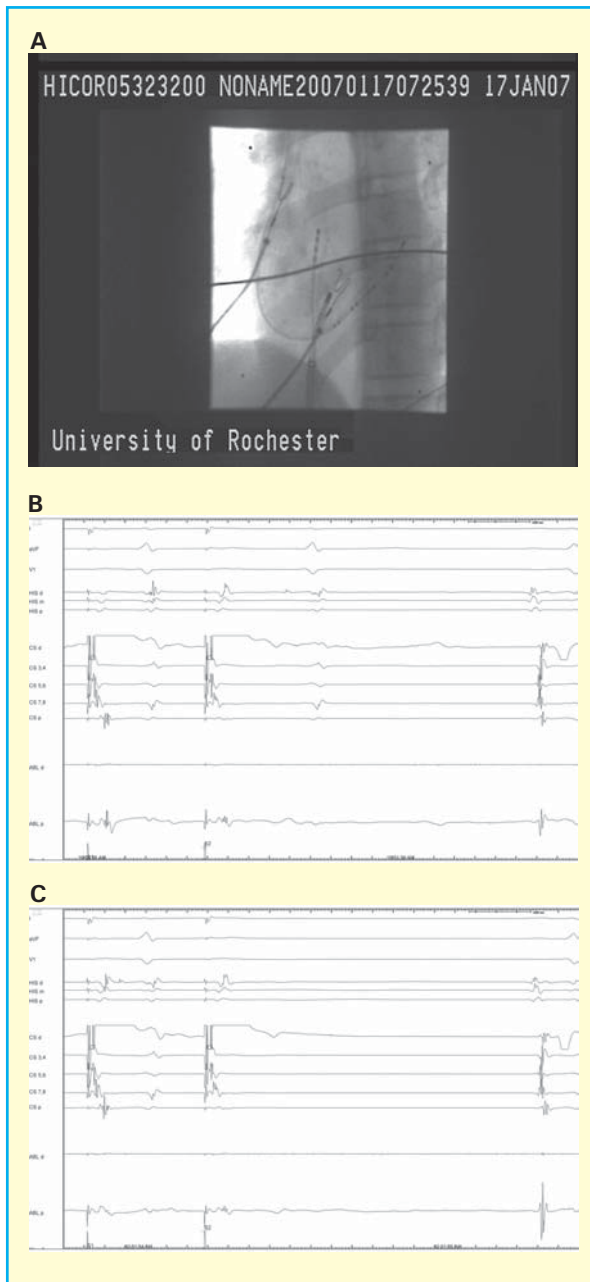
Poniższy przypadek kliniczny ilustruje typowe podejście do zabiegów krioablacji wykonywanych w macierzystym ośrodku autorów. Pacjent jest 74-letnim mężczyzną z wywiadem polimorficznych częstoskurczów komorowych zależnych od pauz, leczonym dotychczas za pomocą implantowanego kardiowertera-defibrylatora. U chorego zaobserwowano także występowanie częstoskurczów o wąskich zespołach QRS, które wiązały się z hipotensją oraz stanem przedomdleniowym. Kontrola urządzenia nie przyniosła dodatkowych informacji, ponieważ częstotliwość częstoskurczów obserwowanych u chorego znajdowała się poniżej zaprogramowanego okna detekcji. Mężczyznę przeniesiono na salę elektrofizjologiczną w celu wykonania badania elektrofizjologicznego oraz ewentualnej ablacji. Wyjściowo zaobserwowano podwójną fizjologię przewodzenia przez węzeł przedsionkowo-komorowy. Po rozpoczęciu infuzji izoproterenolu w dawce 0,5 µg/kg/min stwierdzono pojedyncze pobudzenia nawrotne w węzle przedsionkowo-komorowym, aż ostatecznie wywołano częstoskurcz, stosując dodatkowe pobudzenia wystymulowane przez cewnik umieszczony w zatoce wieńcowej (ryc. 1A, B). Wsteczne, koncentryczne pobudzenie zostało zarejestrowane przez cewnik umieszczony w zatoce wieńcowej, a najkrótszy zarejestrowany czas trwania odstępu VA (komora–przedsionek) wynosił 33 ms, co potwierdzało rozpoznanie nawrotnego częstoskurczu węzłowego (ryc. 1C). Częstoskurcz został podtrzymany dzięki stymulacji prawej komory, w przebiegu której zaobserwowano pobudzenia typu VAV (komora–przedsionek–komora), co ponownie potwierdziło i było zgodne z rozpoznaniem nawrotnego częstoskurczu węzłowego (niepokazane) [22, 23]. Następnie cewnik z prawej komory został zamieniony na 6-milimetrowy cewnik krioablacyjny Frezor (CryoCor, Kirkland, Quebec, Kanada). Za pomocą fluoroskopii cewnik ablacynny umieszczono na pierścieniu zastawki trójdzielnej na godzinie 4.30 tak, aby utrzymać stosunek sygnału komorowego do przedsionkowego na poziomie około 2:1. Rozpoczęto stymulację programowaną (długość cyklu 550 ms) poprzez proksymalny biegun elektrody umieszczonej w zatoce wieńcowej ze sprzężeniem 270 ms, co spowodowało blok szybkiej drogi z następczym przewodzeniem wyłącznie przez drogę wolną węzła przedsionkowo-komorowego. Aplikacje krioterapii rozpoczęto pod kontrolą fluoroskopii. W momencie, kiedy temperatura spadła poniżej –70°C, przestało być konieczne dalsze monitorowanie położenia cewnika, ponieważ ufixował się on w tkance. Okazało się, że wytworzona podczas krioablacji zmiana nieskutecznie blokowała



**Rycina 1. A.** Programowana stymulacja przedsionka ze sprzężeniem, które przewodzi się w dół drogą szybką; **B.** Programowana stymulacja przedsionka ze sprzężeniem o 10 ms krótszym, które ulega zablokowaniu w drodze szybkiej i następnie przewodzi się w dół drogą wolną (bez pojawiania się nawrotnych pobudeń węzłowych w przedsionku); **C.** Inicjacja nawrotnego częstoskurczu węzłowego; czas trwania odstępu QRS-A wynosi 33 ms

przewodzenie w wolnej drodze, ponieważ pomimo aplikacji krioterapii skurcze przedwczesne wciąż ulegały przewodzeniu. Zakończono aplikację, a cewnik przesunięto w obrębie pierścienia zastawki trójdzielnej delikatnie w górę, na godzinę 4.00. Typowo czas aplikacji krioterapii w przypadku dobrego efektu (brak skoku przewodzenia, pobudeń

nawrotnych oraz możliwości wzbudzenia częstoskurczu) trwa 4 min. Jeżeli nie obserwowano pożądanego efektu, aplikację przedwcześnie przerywano po około 60 s. Stymulację kontynuowano i wykonano kolejną aplikację krioterapii. Ponownie nie zaobserwowano bloku wolnej drogi węzła przedsionkowo-komorowego. Aplikację zakończono, a cewnik przesunięto na godzinę 3.30. Ponownie nie stwierdzono wystąpienia bloku w obrębie wolnej drogi i w związku z tym zakończono aplikację. W przypadku braku efektu w macierzystym ośrodku autorów niniejszej pracy zwyczajową strategią postępowania jest wykonywanie kolejnych aplikacji progresywnie coraz wyżej w obrębie pierścienia zastawki trójdzielnej. Przy zastosowaniu metody ablacji prądem RF bardzo rzadko dokonuje się aplikacji powyżej godziny 3.00, podobnie jeżeli chodzi o metody krioablacji. W tym przypadku można użyć drugiej, opisaną wcześniej techniki, jednakże jej zastosowanie w tego typu zmianach, a nawet umieszczonych jeszcze wyżej w obrębie pierścienia zastawki trójdzielnej, jest możliwe tylko dopóki nie zaobserwuje się podczas aplikacji wydłużenia czasu trwania odcinka PR lub bloku o periodyce Wenckebacha. W tym przypadku podjęto jednak decyzję o repozycji cewnika na godzinę 3.30, jednak tym razem z zastosowaniem większej rotacji cewnika w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara w celu ułatwienia lepszego kontaktu i przylegania elektrody z tkankami (ryc. 2A). Kontynuowano stymulację z ewidentnym przewodzeniem drogą wolną (ryc. 2B) i tym razem 20–30 s po aplikacji krioterapii wystąpił blok w obrębie przewodzenia wolną drogą, co wskazywało na efektywność wykonanej aplikacji (ryc. 2C). Należy jednak być dość sceptycznym, jeżeli chodzi o efekt wykonanej aplikacji w późniejszym okresie (powyżej 30–60 s), ponieważ nawrót przewodzenia jest bardzo prawdopodobny wraz z następczym ogrzaniem zmiany. Wykonano kolejne 4 aplikacje (proces konsolidacji) wokół pierwszej skutecznej zmiany poablacyjnej, każda trwająca 4 min. Należy zauważyć, że procedura programowanej stymulacji ze sprzężeniem, która testuje niejako funkcję przewodzenia wolnej oraz szybkiej drogi w obrębie węzła przedsionkowo-komorowego, trwała przez cały okres krioterapii, podobnie jak infuzja izoproterenolu. Po dokonaniu wszystkich aplikacji wielokrotne próby wywołania nawrotnego częstoskurczu węzłowego były nieskuteczne. Zaobserwowano jedynie pojedyncze pobudzenia nawrotne (*echo beats*). Po 30 min oczekiwania zakończono procedurę. Powyższy przypadek doskonale ilustruje fakt, iż przy zastosowaniu metod krioablacji podczas samego zabiegu nie



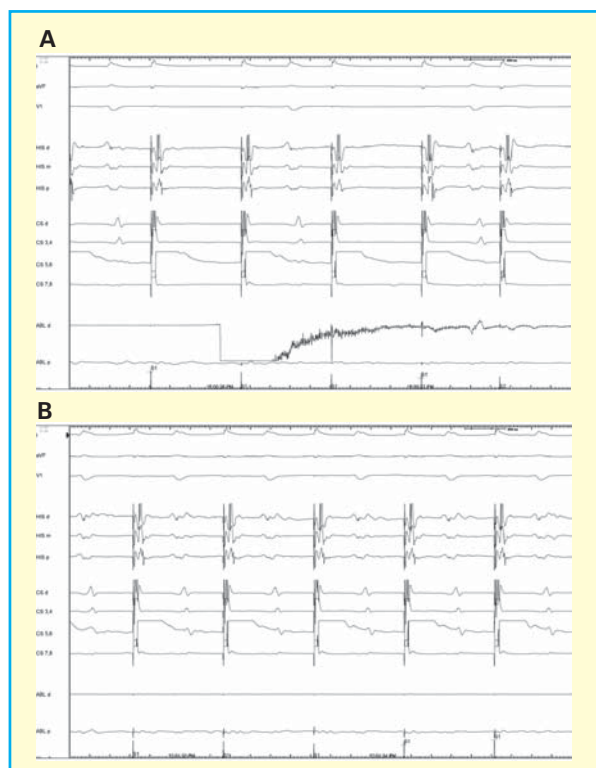
**Rycina 2. A.** Fluoroskopowa lokalizacja cewnika ablacyjnego podczas skutecznej ablacji, cewnika w zatoce wieńcowej oraz cewnika rejestrującego potencjały pęczka Hisa (projekcja lewa przednia skośna); **B.** Przewodzenie zstępujące drogą wolną podczas rozpoczynania aplikacji krioterмии; **C.** Blok w drodze wolnej podczas aplikacji krioterмии

obserwuje się pobudzeń węzłowych. Operator wykonujący zabieg musi szczególnie uważać na ewentualne wystąpienie bloku przedsionkowo-komorowego lub нефизjologicznego wydłużenia czasu trwania odstępu PR podczas rytmu zatokowego lub

stymulacji (w okresie ablacji) i w tych przypadkach natychmiast zakończyć aplikację. Blok może wystąpić podczas zabiegu krioablacji nawet, jeżeli nie obserwowano go wcześniej podczas procedury krio-mapowania, ponieważ gradient temperatury zamrażania może się dalej zwiększać (wraz z nasileniem się zjawiska formowania się kuli lodowej) z następczym obniżeniem temperatury cewnika. Zabieg krioablacji powinno się natychmiast zakończyć, jeżeli podczas przerywania nawrotnego częstoskurczu węzłowego zostanie zaobserwowany wsteczny blok przewodzenia (w przeciwieństwie do bloku przewodzenia w kierunku zstępującym podczas przerywania przewodzenia w drodze wolnej), w przypadku wystąpienia bloku przewodzenia w kierunku zstępującym lub zwiększenia czasu trwania odstępu PR podczas rytmu zatokowego czy stymulacji. Autorzy pracy zastosowali stymulację przedsionkową o zwiększonej częstotliwości, chociaż umożliwiała ona ujawnienie się stabilnego przewodzenia drogą szybką (np. 100–130 uderzeń/min) podczas zabiegu krioablacji pozwalającego na wczesne wykrycie niepożądanego efektu złożoności węzła lub przewodzenia drogą szybką (ryc. 3).

### Specjalne uwarunkowania krioablacji nawrotnego częstoskurczu węzłowego, wykonywanej w populacji pediatrycznej

Wydaje się, że mechanizmy powstawania u dzieci częstoskurczów nadkomorowych (SVT, *supraventricular tachycardia*) mają rozkład zależny od wieku. Nawrotny częstoskurcz węzłowy stanowi około 5% częstoskurczów nadkomorowych u dzieci w wieku poniżej 1. roku życia, 25% ogółu częstoskurczów nadkomorowych u dzieci w wieku 1–5 lat i 31% SVT u dzieci powyżej 10 lat [24]. Ablacja z zastosowaniem prądu RF stanowi dobrze ugruntowaną metodę leczenia częstoskurczów nadkomorowych u dzieci [25, 26]. Z powodu relatywnie małych rozmiarów serca w porównaniu z wielkością blizny ablacyjnej teoretyczne ryzyko uszkodzenia struktur serca jest większe u mniejszych dzieci [27]. Zastosowanie w przebiegu leczenia AVNRT metod ablacji prądem RF wiąże się z ryzykiem powstania wywołanego ablacją bloku przedsionkowo-komorowego [28]. Udowodniono, że masa ciała poniżej 15 kg stanowi niezależny czynnik ryzyka rozwoju bloku przedsionkowo-komorowego podczas RFCA [29]. Przeżylna krioablacja z wykorzystaniem odpowiednich cewników stała się ostatnio alternatywną metodą dostępną w praktyce klinicznej, pozwalającą na uzyskiwanie mniejszych, lepiej ograniczonych zmian ablacyjnych [30], wykonanie



**Rycina 3. A.** Blok przedsionkowo-komorowy dużego stopnia podczas krioablacji; aplikację zatrzymano; **B.** Normalne przewodzenie (które zostało samoistnie przywrócone po 15–30 s). W dalszej obserwacji klinicznej u tego chorego nie stwierdzono bloku przewodzenia. Należy zauważyć, że jeżeli aplikacja krioterapii nie zostanie szybko zatrzymana, wystąpienie stałego bloku przewodzenia przedsionkowo-komorowego jest bardzo możliwe

procedury kriomapowania, a także wywoływanie potencjalnie odwracalnego bloku przewodzenia w obrębie węzła przedsionkowo-komorowego [16]. Cechą charakterystyczną metody krioablacji jest ściśle przyleganie (przymarznącie — krioaderencja) cewnika do ablowanej tkanki, co umożliwia ponowną ocenę wzbudzalności częstoskurczu bez potrzeby przerywania infuzji izoproterenolu, która u dzieci jest bardzo często niezbędna do wywołania nawrotnego częstoskurczu węzłowego.

Wstępne doświadczenia z zastosowaniem metod krioablacji w populacji pediatrycznej [31] wskazują na równoważne bezpieczeństwo oraz mniejszy współczynnik skuteczności (83% dla AVNRT) i większy wskaźnik nawrotowości arytmii (9–14% podczas 3-miesięcznej obserwacji) w porównaniu z metodami ablacji z zastosowaniem prądu RF obserwowanymi w ramach dużych, wieloośrodkowych prób klinicznych. Do sugerowanych wyjaśnień

mniejszego współczynnika zabiegów zakończonych sukcesem oraz większego wskaźnika nawrotowości arytmii należy zaliczyć wykorzystywanie podczas zabiegów u dzieci sztywniejszych cewników ablacyjnych, małe doświadczenie osób wykonujących zabiegi oraz mniejsze rozmiary zmian wywoływanych przez krioablację przy zastosowaniu 4-milimetrowej końcówki ablacyjnej. Collins i wsp. [32] retrospektywnie porównali odsetek zabiegów zakończonych powodzeniem zarówno w obserwacji krótko-, jak i długoterminowej u 117 pacjentów leczonych w jednym ośrodku za pomocą RFCA krioablacji. W przypadku obserwacji krótkoterminowej odsetek zabiegów zakończonych sukcesem wyniósł 95% dla krioablacji oraz 100% dla RFCA. Częstość nawrotów arytmii w okresie 1 roku po wstępnie skutecznie przeprowadzonej procedurze wynosiła 8% dla CCA i 2% RFCA. Prawdopodobnie w związku z niską mocą statystyczną badania (np. możliwy błąd typu II) nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic. Nie zaobserwowano natomiast trwałego bloku przedsionkowo-komorowo ani w przypadku zabiegów z użyciem metod krioablacji, ani RFCA. Przemijający blok przedsionkowo-komorowo obserwowano w porównywalnych proporcjach w obu badanych grupach (10% w przypadku RFCA oraz 11% w przypadku CCA). Jednak, aby dokonać optymalnego porównania obu metod (CCA *vs.* RFCA), konieczne jest przeprowadzenie badania obejmującego odpowiednio dużą grupę pacjentów [33].

Techniki krioablacji nawrotnego częstoskurczu węzłowego u dzieci ulegają ciągłej ewolucji. W ośrodku autorów niniejszej pracy w przypadku zabiegów u dzieci najpierw zawsze wykonuje się diagnostyczne badanie elektrofizjologiczne przy użyciu programowanej stymulacji z dekrementem oraz impulsów sprzężonych przewodzonych w kierunku wstępującym i zstępującym. Początkowo cewnik umieszcza się w obrębie CS, prawej komory, w okolicy pęczka Hisa oraz w prawym przedsionku. Czasami cewnik w prawym przedsionku jest używany tylko przez krótki czas w celu wykluczenia zlokalizowanej prawostronnie dodatkowej drogi przewodzenia za pomocą zróżnicowanego protokołu stymulacji, następnie przesuwa się go do prawej komory, a za stymulację prawego przedsionka w dalszej części badania odpowiada cewnik umieszczony w zatoce wieńcowej. Po wystymulowaniu AVNRT cewnik z prawej komory jest usuwany (pozostają cewniki w CS oraz w okolicy pęczka Hisa), a na jego miejsce do prawego przedsionka poprzez wkłucie i koszulkę 8 F SRO (St. Jude Medical, Kalifornia) wprowadza się czteropolarny, ruchomy cewnik

krioablacyjny (o rozmiarze 7 F) z 4- lub 6-milimetrową elektrodą krioablacyjną (CryoCath Technologies Inc., Montreal, Kanada). Autorzy uważają, że ograniczenie liczby cewników podczas ablacji lub w sytuacji, kiedy nie ma potrzeby ich wprowadzania, zmniejsza w jeszcze większym stopniu ryzyko perforacji. Sześć- lub 4-milimetrowa końcówka ablacyjna jest stosowana zależnie od rozmiarów pacjenta. Sześciomilimetrowej końcówki ablacyjnej używa się coraz częściej wraz z rosnącym doświadczeniem w stosowaniu tego rozmiaru elektrody, zarówno wśród dorosłych, jak i dzieci. Obecnie uważa się, że 6-milimetrową elektrodę w wygodny sposób można stosować u pacjentów o masie ciała większej niż 35 kg. Cewnik ablacyjny umieszcza się w okolicy wolnej drogi przewodzenia węzła przedsionkowo-komorowego po przeprowadzeniu anatomicznych i elektrofizjologicznych procedur lokalizacji. Cewnik należy pozycjonować względem ujścia zatoki wieńcowej lub ustawić go na godzinie 4.00 w ramach projekcji skośnej lewej przedniej (LAO, *left anterior oblique*) (w dogłowej lub górnym fragmencie tylnej części przegrody). Cewnik należy ustawić tak, aby otrzymać zapis z relatywnie małymi potencjałami przedsionkowymi i dużymi komorowymi [34]. W macierzystym ośrodku autorów większość przezskórnych ablacji u dzieci, szczególnie poniżej 16. roku życia, wykonuje się w znieczuleniu ogólnym. Kontrolowana wentylacja jest najczęściej używana podczas rozpoczynania zabiegu aplikacji krioterapii w celu maksymalizacji stabilności cewnika poprzez minimalizację ruchów oddechowych do czasu, aż cewnik będzie ściśle przylegał do miokardium. Czasami ze względu na ruchy związane z cyklem pracy mięśnia sercowego (lub ruchy oddechowe, jeżeli nie stosuje się bezdechu) cewnik może przesuwać się bardziej w górę lub bardziej w dół w stosunku do zaplanowanego miejsca ablacji. W tym przypadku należy zakończyć bieżącą aplikację. Krioterapię stosuje się wyjściowo podczas trwania rytmu zatokowego (bez użycia infuzji izoproterenolu), jeżeli tylko możliwe jest wzbudzenie nawrotnego częstoskurczu węzłowego w tym stanie. Jeżeli infuzja izoproterenolu jest konieczna do wywołania częstoskurczu, to podczas trwania zabiegu ablacji kontynuuje się ją. Zastosowanie fluoroskopii nie jest konieczne po uzyskaniu przylegania cewnika ablacyjnego do tkanki, co znacznie ogranicza czas ekspozycji, a jest to szczególnie ważne u najmłodszych chorych. Podczas zabiegu samej krioterapii, który rozpoczyna się uzyskaniem temperatury od  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $-70^{\circ}\text{C}$  oraz stałej fiksacji cewnika do ablowanej tkanki, kontynuuje się procedurę stymulowania dodatkowych (sprzężonych) impulsów przedsionkowych

testujących niejako funkcję i zmiany w zakresie przewodzenia drogą wolną oraz możliwość wywołania nawrotnego częstoskurczu węzłowego. Jeżeli podczas zabiegu stosuje się 4-milimetrową elektrodę ablacyjną, wcześniej należy użyć trybu kriomapaowania w celu sprawdzenia występowania bloku przedsionkowo-komorowego (podczas rytmu zatokowego lub stymulacji) oraz oceny ewentualnego braku przewodzenia drogą wolną (przed rozpoczęciem aplikacji krioterapii). Czas aplikacji krioterapii w przypadku zaobserwowania dobrego efektu (brak skoku przewodzenia, pobudzeń nawrotnych lub możliwości ponownego wzbudzenia częstoskurczu), trwa 4 min. Jeżeli nie uzyskano pożądanego efektu, aplikację przedwcześnie przerywano po około 30–60 s. Najniższa temperatura, którą można uzyskać podczas krioablacji, wynosi od  $-70^{\circ}\text{C}$  do  $-75^{\circ}\text{C}$  i zależy od stopnia przylegania cewnika do tkanki oraz od innych czynników. Kolejne (1–3) aplikacje krioterapii wykonuje się poprzez repozycję cewnika delikatnie do góry w stosunku do pierwszej aplikacji.

Jeżeli ablację wykonywano bez zastosowania izoproterenolu i po zabiegu nie udaje się wywołać częstoskurczu, to należy rozpocząć infuzję izoproterenolu, aby fakt ten jeszcze raz potwierdzić. Jeżeli wstępnie wykonana aplikacja lub aplikacje krioterapii są nieskuteczne, cewnik należy bez znacznego odchylenia przesunąć bardziej w górę (do przodu w porównaniu z poprzednim położeniem) [35], na około godzinę 3.30 (w ramach projekcji LAO). Następnie ablację kontynuuje się po przesunięciu cewnika delikatnie w górę na około godzinę 3.00. Jeżeli aplikacje w tym regionie nie zapobiegają wzbudzeniu częstoskurczu, to następną należy wykonać ponownie na godzinie 3.30 (tym razem przy większym potencjale przedsionkowym niż przy pierwszej krioterapii) oraz, jeżeli to konieczne, następcze aplikacje w obrębie ujścia, a także wewnątrz oraz poniżej zatoki wieńcowej na godzinie 4.30–5.00 (z większym potencjałem komorowym niż przedsionkowym). Jeżeli po jednym lub kilku następczych aplikacjach wciąż udaje się wywołać częstoskurcz, należy skontrolować przyleganie cewnika, użyć innej koszulki naczyniowej oraz rozważyć zabieg ablacji jeszcze wyżej (na godzinie ok. 2.45) w ramach pierścienia zastawki trójdzielnej lub nawet w obrębie lewej części przegrody (od okolicy środkowej do tylnej), jednakże rzadko jest to konieczne.

Do komplikacji zabiegu krioablacji można zaliczyć wszystkie te powikłania, które obserwuje się podczas RFCA z wyjątkiem nagłego zwiększenia ciśnienia (którego przy zastosowaniu 4-milimetrowej elektrody ablacyjnej zwyczajowo używanej przy

modyfikacji drogi wolnej najczęściej się nie obserwuje). Najczęstsze powikłania to: krwaki, zatorowość płucna, tamponada serca, blok przedsionkowo-komorowy oraz bardzo rzadko: uszkodzenie zastawek, udar mózgu, zawał serca lub nagła śmierć. Uszkodzenie naczyń wieńcowych może stanowić bardzo poważne powikłanie, szczególnie w przypadku aplikacji w obrębie zatoki wieńcowej i żył wieńcowych, jednak prawdopodobnie przy zastosowaniu metod krioabłacji prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest jeszcze mniejsze.

Metodą referencyjną przy ocenie skuteczności abłacji jest następczy brak możliwości wzbudzenia częstoskurczu. W przeciwieństwie do abłacji prądem RF wystąpienia przyspieszonego rytmu węzłowego nie można traktować jako markera skuteczności abłacji [16, 33, 36]. Dążenie do kompletnej eliminacji wolnej drogi przewodzenia w porównaniu ze strategią wyłącznej modyfikacji przewodzenia tą drogą, w przypadku pojawiania się wyłącznie pojedynczych impulsów nawrotnych w przedsionku bez następczego przewodzenia drogą wolną w dół, pozostaje wciąż kontrowersyjne. Praktycznie autorzy niniejszej pracy dążą do eliminacji przewodzenia drogą wolną, jednak nie wykonują, zarówno u dzieci, jak i u dorosłych, bardziej ryzykownych abłacji w górnej części środkowego segmentu przegrody (powyżej godziny 3.00), jeżeli wcześniej stwierdzono brak możliwości wzbudzenia częstoskurczu przy wyłącznie rezidualnych, pojedynczych impulsach nawrotnych rejestrowanych w przedsionku.

Jednak należy pamiętać, że w populacji pacjentów pediatrycznych, zresztą podobnie jak wśród dorosłych, AVNRT jest czasami niemożliwy do wywołania, szczególnie jeżeli procedura jest wykonywana w znieczuleniu ogólnym lub podczas głębokiej sedacji. Jeżeli w tym przypadku istnieją dowody klinicznie udokumentowanego nawrotnego częstoskurczu węzłowego (wzbudzany przed poprzednią procedurą nawrotny częstoskurcz węzłowy lub 12-odprowadzeniowy zapis elektrokardiograficzny z pseudozałamkami r'), niektórzy badacze, jak również autorzy niniejszej pracy, ograniczają swoje postępowanie jedynie do modyfikacji węzła przedsionkowo-komorowego [37]. Zakres tej modyfikacji przy użyciu metod krioabłacji w sytuacji braku możliwości wywołania częstoskurczu pozostaje wciąż sprawą otwartą. Zabieg abłacji w przypadku braku możliwości wywoływania AVNRT jest łatwiejszy w przypadku obecności powtarzalnych skoków przewodzenia, pobudzeń nawrotnych lub wydłużenia czasu trwania odstępu PR większego niż czas trwania odstępu pomiędzy dwoma kolejnymi pobudzeniami. Jednakże w przypadku braku

występowania powyższych zjawisk procedurę abłacji przeprowadza się w sposób empiryczny bez określenia zakresu modyfikacji węzła przedsionkowo-komorowego. Collins i wsp. [32] wykazali, że wyeliminowanie w wyniku abłacji odstępu PR dłuższych od odstępu RR (marker przewodzenia drogą wolną) było przydatnym wykładnikiem skuteczności zabiegów krioabłacji. Dotyczy to także RFCA [38]. Collins i wsp. udowodnili także istotne skrócenie maksymalnego czasu trwania odstępu AH mierzonego podczas zarówno programowej stymulacji przedsionkowej z dekrementem, jak i podczas wywołania dodatkowych impulsów sprzężonych (badania przeprowadzone u 35 dzieci, które przeszły zabieg krioabłacji z powodu AVNRT). Powyższe dane są zgodne z obserwacjami poczynionymi u pacjentów z klasycznie podwójną fizjologią przewodzenia węzła przedsionkowo-komorowego oraz u tych, u których przewodzenie przedsionkowo-komorowe ma charakter krzywoliniowy.

W niektórych ośrodkach wykonuje się zabieg abłacji podczas trwającego AVNRT, monitorując i przyjmując zakończenie częstoskurczu jako objaw potencjalnie skutecznej abłacji. Co ważne, przerwanie arytmii wskazuje na dobry efekt oraz prawidłową lokalizację wykonywanej aplikacji, jednak najczęściej nie jest równoważne z ostatecznym sukcesem i nie pozwala na zakończenie zabiegu. Co prawda, podejście takie wiąże się z potencjalnym ryzykiem uszkodzenia węzła przedsionkowo-komorowego wtórne do braku możliwości ciągłej oceny zstępującego przewodzenia przez węzeł przedsionkowo-komorowy, jednak w rzeczywistości natychmiast po przerwaniu nawrotnego częstoskurczu węzłowego można upewnić się, czy wystąpił blok w obrębie wolnego lub szybkiego ramienia pętli, jak również monitorować funkcję przewodzenia w kierunku zstępującym wzdłuż drogi szybkiej. Zabieg krioabłacji AVNRT należy natychmiast zakończyć w przypadku zaobserwowania bloku wstecznego przewodzenia (lub nawet tylko wydłużenia czasu trwania odstępu PR), bloku przewodzenia w kierunku zstępującym lub нефизjologicznego wydłużenia odstępu PR.

Podczas skutecznego zabiegu krioabłacji udowodniono także wydłużenie efektywnego okresu refrakcji (ERP, *effective refractory period*) szybkiej drogi przewodzenia [39]. Konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań w celu znalezienia odpowiedzi na wiele pytań, na przykład jak dużego stopnia wydłużenie odstępu AH można tolerować podczas trwania krioabłacji oraz jak określić skuteczność zabiegu u chorych z przewodzeniem AH o charakterze krzywoliniowym (np. w przypadku braku



nagłego skoku przewodzenia). Szczególnie przydatne mogą być dodatkowe dane dotyczące skuteczności procedury krioablacji oraz czasu trwania okresu bez nawrotów, zwłaszcza po ablacjach z zastosowaniem 6-milimetrowej elektrody ablacyjnej, w porównaniu z analogicznymi wskaźnikami po użyciu ablacji prądem RF. Bardzo ważne jest też wzrastające doświadczenie operatorów. Wiadomo, że blok węzła przedsionkowo-komorowego może pojawić się podczas zabiegu krioablacji wolnej drogi przewodzenia, jednak szczególnie korzystne byłoby potwierdzenie, że wskaźnik tego powikłania jest niższy niż w przypadku RFCA, szczególnie przy zastosowaniu elektrody 6-milimetrowej.

## Wnioski

Metoda krioablacji stanowi atrakcyjną alternatywę leczenia nawrotnego częstoskurczu węzłowego w porównaniu z ablacją prądem RF, ze stosunkowo wyraźnie określonymi zaletami w konkretnych grupach pacjentów. Technika zabiegu jest podobna do stosowanej podczas zabiegów RFCA, jednakże w niektórych aspektach różni się od niej. Należy do nich zaliczyć brak możliwości ruchu cewnika podczas aplikacji (z powodu występowania zjawiska krioaderencji), brak pobudzeń węzłowych podczas ablacji oraz (w większości przypadków) odwracalność niezamierzonego uszkodzenia i następczego bloku przedsionkowo-komorowego, co omówiono powyżej.

## Piśmiennictwo

1. Wu A.M., Wu J.C., Herp A. Polypeptide linkages and resulting structural features as powerful chromogenic factors in the Lowry phenol reaction. Studies on a glycoprotein containing no Lowry phenol-reactive amino acids and on its desialylated and deglycosylated products. *Biochem. J.* 1978; 175: 47–51.
2. Calkins H., Yong P., Miller J.M. i wsp. Catheter ablation of accessory pathways, atrioventricular nodal reentrant tachycardia, and the atrioventricular junction: final results of a prospective, multicenter clinical trial. The Atrial Multicenter Investigators Group. *Circulation* 1999; 99: 262–270.
3. Jackman W.M., Beckman K.J., McClelland J.H. i wsp. Treatment of supraventricular tachycardia due to atrioventricular nodal reentry, by radiofrequency catheter ablation of slow-pathway conduction. *N. Engl. J. Med.* 1992; 327: 313–318.
4. Kottkamp H., Hindricks G., Willems S. i wsp. An anatomically and electrogram-guided stepwise approach for effective and safe catheter ablation of the fast pathway for elimination of atrioventricular node reentrant tachycardia. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1995; 25: 974–981.
5. Pritchett E.L., Anderson R.W., Benditt D.G. i wsp. Reentry within the atrioventricular node: surgical cure with preservation of atrioventricular conduction. *Circulation* 1979; 60: 440–446.
6. Khairy P., Chauvet P., Lehmann J. i wsp. Lower incidence of thrombus formation with cryoenergy versus radiofrequency catheter ablation. *Circulation* 2003; 107: 2045–2050.
7. Friedman R.A., Will J.C., Fenrich A.L., Kertesz N.J. Atrioventricular junction ablation and pacemaker therapy in patients with drug-resistant atrial tachyarrhythmias after the Fontan operation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2005; 16: 24–29.
8. Tse H-F., Kwong Y-L., Lau C-P. Transvenous cryoablation reduces platelet activation during pulmonary vein ablation compared with radiofrequency energy in patients with atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2005; 16: 1064–1070.
9. Cox J.L., Ferguson T.B. Jr. Title surgery for atrioventricular node reentry tachycardia: The discrete cryosurgical technique. *Seminars Thoracic Cardiovasc. Surg.* 1989; 1: 47–52.
10. Cox J.L., Ferguson T.B. Jr, Lindsay B.D., Cain M.E. Perinodal cryosurgery for atrioventricular node reentry tachycardia in 23 patients. *J. Thoracic Cardiovasc. Surg.* 1990; 99: 440–449 (dyskusja 449–450).
11. Cox J.L., Holman W.L., Cain M.E. Cryosurgical treatment of atrioventricular node reentrant tachycardia. *Circulation* 1987; 76: 1329–1336.
12. Keim S., Werner P., Jazayeri M., Akhtar M., Tchou P. Localization of the fast and slow pathways in atrioventricular nodal reentrant tachycardia by intraoperative ice mapping. *Circulation* 1992; 86: 919–925.
13. Wood D.L., Hammill S.C., Porter C.B. i wsp. Cryosurgical modification of atrioventricular conduction for treatment of atrioventricular node reentrant tachycardia. *Mayo Clinic Proceedings* 1988; 63: 988–992.
14. Lustgarten D.L., Keane D., Ruskin J. Cryothermal ablation: mechanism of tissue injury and current experience in the treatment of tachyarrhythmias. *Progress Cardiovasc. Diseases* 1999; 41: 481–498.
15. Daubert J.P., Hoyt R.H., Roy J. i wsp. Performance of a new cardiac cryoablation system in the treatment of cavotricuspid valve isthmus-dependent atrial flutter. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2005; 28: S142–S145.
16. Friedman P.L., Dubuc M., Green M.S. i wsp. Catheter cryoablation of supraventricular tachycardia: results of the multicenter prospective “frosty” trial. *Heart Rhythm* 2004; 1: 129–138.
17. Wong T., Markides V., Peters N.S., Wright A.R., Davies D.W. Percutaneous isolation of multiple pulmonary veins using an expandable circular cryoablation catheter. *Pacing Clinical Electrophysiol.* 2004; 27: 551–554.
18. Wong T., Segal O.R., Markides V., Davies D.W., Peters N.S. Cryoablation of focal atrial tachycardia originating close to the atrioventricular node. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 838.
19. Skanes A.C., Jensen S.M., Papp R. i wsp. Isolation of pulmonary veins using a transvenous curvilinear cryoablation catheter: Feasibility, initial experience, and analysis of recurrences. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2005; 16: 1304–1308.
20. Gaita F., Montefusco A., Riccardi R. i wsp. Cryoenergy catheter ablation: a new technique for treatment of permanent junctional reciprocating tachycardia in children. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 263–268.
21. Skanes A.C., Jones D.L., Teef Y.P. i wsp. Safety and feasibility of cryothermal ablation within the mid- and distal coronary sinus. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 1319–1323.

22. Michaud G.F., Pelosi F. Jr. Supraventricular tachycardia with 2:1 atrioventricular block: what is the mechanism? *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2001; 12: 386–387.
23. Knight B.P., Ebinger M., Oral H. i wsp. Diagnostic value of tachycardia features and pacing maneuvers during paroxysmal supraventricular tachycardia. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000; 36: 574–582.
24. Ko J.K., Deal B.J., Strasburger J.F., Benson D.W. Jr. Supraventricular tachycardia mechanisms and their age distribution in pediatric patients. *Am. J. Cardiol.* 1992; 69: 1028–1032.
25. Kugler J.D., Danford D.A., Deal B.J. i wsp. The Pediatric Electrophysiology Society. Radiofrequency catheter ablation for tachyarrhythmias in children and adolescents. *N. Engl. J. Med.* 1994; 330: 1481–1487.
26. Van Hare G.F., Javitz H., Carmelli D. i wsp. Prospective assessment after pediatric cardiac ablation: Demographics, medical profiles, and initial outcomes. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15: 759–770.
27. Kearney D.L., Titus J.L., Garson A.J., Bricker J.T., Fisher D.J., Neish S. red. The science and practice of pediatric cardiology. *Cardiovascular Anatomy, Williams & Wilkins* 1998; 4: 127–154.
28. Schaffer M.S., Silka M.J., Ross B.A., Kugler J.D. Inadvertent atrioventricular block during radiofrequency catheter ablation. Results of the pediatric radiofrequency ablation registry. *Pediatric Electrophysiology Society. Circulation* 1996; 94: 3214–3220.
29. Kugler J.D., Danford D.A., Houston K., Felix G. Radiofrequency catheter ablation for paroxysmal supraventricular tachycardia in children and adolescents without structural heart disease. *Pediatric EP Society. Radiofrequency Catheter Ablation Registry. Am. J. Cardiol.* 1997; 80: 1438–1443.
30. Khairy P., Chauvet P., Lehmann J. i wsp. Lower incidence of thrombus formation with cryoenergy versus radiofrequency catheter ablation. *Circulation* 2003; 107: 2045–2050.
31. Kirsh J.A., Gross G.J., O'Connor S., Hamilton R.M. Cryocath international patient R. transcatheter cryoablation of tachyarrhythmias in children: Initial experience from an international registry. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 45: 133–136.
32. Collins N., Barlow M., Varghese P., Leitch J. Cryoablation versus Radiofrequency Ablation in the treatment of atrial flutter trial (CRAAFT). *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2006; 16: 1–5.
33. Kimman G.P., Theuns D.A.M.J., Szili-Torok T., Scholten M.F., Res J.C., Jordaens L.J. CRAVT: A prospective, randomized study comparing transvenous cryothermal and radiofrequency ablation in atrioventricular nodal re-entrant tachycardia. *Eur. Heart J.* 2004; 25: 2232–2237.
34. Wathen M., Natale A., Wolfe K., Yee R., Newman D., Klein G. An anatomically guided approach to atrioventricular node slow pathway ablation. *Am. J. Cardiol.* 1992; 70: 886–889.
35. Cosio F.G., Anderson R.H., Kuck K.H. i wsp. Living anatomy of the atrioventricular junctions. A guide to electrophysiologic mapping. A Consensus Statement from the Cardiac Nomenclature Study Group, Working Group of Arrhythmias, European Society of Cardiology, and the Task Force on Cardiac Nomenclature from NASPE. *Circulation* 1999; 100: e31–e37.
36. McGavigan A.D., Rae A.P., Cobbe S.M., Rankin A.C. Junctional rhythm: a suitable surrogate endpoint in catheter ablation of atrioventricular nodal reentry tachycardia? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2005; 28: 1052–1054.
37. Fishberger S.B. Radiofrequency ablation of probable atrioventricular nodal reentrant tachycardia in children with documented supraventricular tachycardia without inducible tachycardia. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2003; 26: 1679–1683.
38. Kannankeril P.J., Fish F.A. Sustained slow pathway conduction: Superior to dual atrioventricular node physiology in young patients with atrioventricular nodal reentry tachycardia? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2006; 29: 159–163.
39. Miyazaki A., Blaufox A.D., Fairbrother D.L., Saul J.P. Prolongation of the fast pathway effective refractory period during cryoablation in children: a marker of slow pathway modification. *Heart Rhythm* 2005; 2: 1179–1185.