

ARTUR BASZKO

**Znaczenie nowych, trójwymiarowych technik
elektroanatomicznych
w zabiegach ablacji zaburzeń rytmu serca
u dzieci i młodzieży**

**Ośrodek Wydawnictw Naukowych • IChB PAN
Poznań 2016**

**Znaczenie nowych, trójwymiarowych technik elektroanatomicznych
w zabiegach ablacji zaburzeń rytmu serca u dzieci i młodzieży**

Artur Baszko

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu
II Klinika Kardiologii

Copyright © Artur Baszko, Poznań 2016
All rights reserved

ISBN 978-83-7712-140-5

Redakcja techniczna
Andrzej Wójtowicz

Ośrodek Wydawnictw Naukowych IChB PAN
61-713 Poznań, Wieniawskiego 17/19
e-mail: wojtow@man.poznan.pl

Printed in Poland (Moś i Łuczak, Poznań)

*Ta praca nie powstałaby
bez bezwarunkowego wsparcia ze strony mojej żony Aliny,
bez cierpliwości, odwagi i profesjonalizmu zespołu Kardiologii Dziecięcej
oraz bez możliwości, które stworzył i bez zaufania, którym obdarzył,
Profesor Waldemar Bobkowski.
Niniejszym składam im wszystkim podziękowania*

Wykaz skrótów

Ao	– aorta
AP	– droga dodatkowa
AT	– częstoskurcz przedsionkowy
AVNRT	– częstoskurcz węzłowy
AVRT	– częstoskurcz przedsionkowo-komorowy
CS	– zatoka wieńcowa
EPS	– badanie elektrofizjologiczne
IART	– nawrotny częstoskurcz zależny od blizny
ICE	– echokardiografia wewnątrzsercowa
JET	– ektopowy częstoskurcz węzłowy
LA	– lewy przedsionek
LAA	– uszko lewego przedsionka
LAO	– projekcja lewy skos
LIPV	– lewa dolna żyła płucna
LSPV	– lewa górna żyła płucna
LV	– lewa komora
PAF	– napadowe migotanie przedsionków
RA	– prawy przedsionek
RAO	– projekcja prawy skos
RF	– częstotliwość radiowa
RIPV	– prawa dolna żyła płucna
RSPV	– prawa górna żyła płucna
RV	– prawa komora
SVC	– żyła główna górna
SVT	– częstoskurcz nadkomorowy
TV	– zastawka trójdzielna
VES	– przedwczesne pobudzenia komorowe
VT	– częstoskurcz komorowy

Spis treści

1. WSTĘP	7
1.1. Zaburzenia rytmu u dzieci	7
1.1.1. Zaburzenia rytmu serca u dzieci bez wrodzonej wady serca	7
1.1.2. Zaburzenia rytmu serca u pacjentów z wrodzoną wadą serca, bez i po kardiochirurgicznej korekcji	7
1.2. Systemy elektroanatomiczne w zabiegach ablacji	9
1.2.1. System CARTO	10
1.2.2. System EnSite™	10
1.2.3. Wpływ zastosowania systemów elektroanatomicznych na skuteczność i bezpieczeństwo zabiegów ablacji	13
1.3. Dlaczego ograniczenie narażenia na promieniowanie rentgenowskie ma znaczenie u dzieci?	15
1.3.1. Wpływ zastosowania systemów elektroanatomicznych na zmniejszenie narażenia pacjenta na promieniowanie	16
1.4. Odmienności zabiegów ablacji u dzieci	17
2. CEL PRACY	18
3. METODYKA	19
3.1. Badanie elektrofizjologiczne	20
3.1.1. Powody, dla których zastosowano system EnSite™ NAVX/Velocity do zabiegów ablacji u dzieci	20
3.1.2. Protokół badania elektrofizjologicznego	21
3.1.3. Technika nakłucia transseptalnego	22
3.1.4. Szczególne sytuacje wymagające rozszerzonej diagnostyki radiologicznej w czasie zabiegu	23
3.1.5. Protokół zabiegu ablacji prądem częstotliwości radiowej	23
3.1.6. Protokół zabiegu krioablacji	24
3.1.7. Protokół wykonywania zabiegu z zastosowaniem systemu EnSite™	24
3.1.8. Zabieg ablacji z wykorzystaniem EnSite™	24
3.1.9. Postępowanie po zabiegu ablacji	25
3.2. Analiza statystyczna	25
3.2.1. Porównania danych	25
3.2.2. Analiza związków	26
3.3. Grupy badanych	26

4. WYNIKI	28
4.1. Wpływ zastosowania EnSite™ w zabiegach ablacji zaburzeń rytmu u dzieci	30
4.2. Wpływ zastosowania systemu EnSite™ na parametry ablacyjne	33
4.3. Przyczyny stosowania fluoroskopii w czasie zabiegów z zastosowaniem EnSite™	37
4.4. Wpływ krzywej uczenia na wyniki zabiegów ablacji techniką fluoroskopową i EnSite™	37
4.5. Zabiegi ablacji częstoskurczów węzłowych	41
4.5.1. Wpływ rodzaju techniki zabiegu na odstęp PQ	41
4.5.2. Porównanie zabiegów ablacji AVNRT z innymi zaburzeniami rytmu	44
4.6. Zaburzenia rytmu zależne od drogi dodatkowej	45
4.6.1. Porównanie zabiegu ablacji dróg dodatkowych techniką fluoroskopową i z zastosowaniem EnSite™	46
4.6.2. Zabieg ablacji dróg dodatkowych o prawostronnej lokalizacji	47
4.6.3. Zabieg ablacji dróg dodatkowych o lewostronnej lokalizacji	47
4.6.4. Różnice pomiędzy zabiegami ablacji dróg dodatkowych o prawostronnej i lewostronnej lokalizacji	48
4.6.5. Skuteczność zabiegu ablacji dróg dodatkowych z zastosowaniem fluoroskopii i systemu elektroanatomicznego (EnSite™)	50
4.6.6. Zabiegi ablacji dróg lewostronnych z dostępu transaortalnego i transeptalnego przy zastosowaniu techniki fluoroskopowej i systemu elektroanatomicznego EnSite™	50
4.7. Zabiegi krioablacji arytmii w pobliżu układu bódźoprzewodzącego	55
5. DYSKUSJA	60
5.1. Zastosowanie systemu EnSite™ do zabiegów ablacji u dzieci	62
5.2. Wybór systemu elektroanatomicznego do zabiegów ablacji u dzieci	64
5.3. Wpływ zastosowania systemu EnSite™ na czas fluoroskopii i dawkę promieniowania	66
5.4. Wpływ stosowania systemu EnSite™ na czas zabiegu	69
5.5. Wpływ stosowania systemu EnSite™ na czas fluoroskopii i parametry radiologiczne	71
5.6. Zabiegi ablacji zaburzeń rytmu wywodzących się z prawej strony serca	71
5.7. Zabiegi ablacji arytmii lewostronnych	74
5.8. Wpływ stosowania systemu elektroanatomicznego na skuteczność ablacji	77
5.9. Zabiegi krioablacji zaburzeń rytmu zlokalizowanych w pobliżu układu bódźoprzewodzącego	78
6. WNIOSKI	82
Streszczenie	83
Summary	86
Bibliografia	89

1. WSTĘP

W ostatnich latach dokonał się ogromny postęp w technikach zabiegowego leczenia zaburzeń rytmu serca. Do klasycznej elektrofizjologii opartej na analizie sygnałów wewnątrzsercowych pod kontrolą fluoroskopii zostały wprowadzone i udoskonalone metody umożliwiające precyzyjne wykonanie map elektroanatomicznych poszczególnych struktur serca. Stopniowe zmniejszanie konieczności zastosowania promieniowania rentgenowskiego do badań elektrofizjologicznych i zabiegów ablacji stworzyło pokusę wykorzystania tych metod jako podstawowych do wizualizacji serca i elektrod. Wraz z rosnącym doświadczeniem techniki elektroanatomiczne ewoluują od roli wspomagającej diagnostykę opartą na promieniach rentgenowskich (RTG) do metody, dla której fluoroskopia stanowi uzupełnienie. Zmiana podejścia do zabiegów ablacji z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego ma szczególne znaczenie przy zabiegach wykonywanych u dzieci i młodzieży, ze względu na potencjalnie niekorzystne działanie promieniowania na młody i rozwijający się organizm.

1.1. Zaburzenia rytmu u dzieci

1.1.1. Zaburzenia rytmu serca u dzieci bez wrodzonej wady serca

Do najczęstszych zaburzeń rytmu serca u dzieci wymagających leczenia zabiegowego należą częstoskurcze przedsionkowo-komorowe zależne od drogi dodatkowej (jawny i utajony zespół WPW), napadowe częstoskurcze węzłowe (typowe i atypowe), ektopowy częstoskurcz przedsionkowy, komorowe zaburzenia rytmu serca wywodzące się z drogi odpływu prawej i lewej komory, komorowe zaburzenia rytmu z układu włókien Purkiniego (częstoskurcz pęczkowy), PJRT (ustawiczny częstoskurcz nawrotny z łącza przedsionkowo-komorowy zależny od wolnoprzewodzącej drogi wstecznej). Biorąc pod uwagę spontaniczne ustępowanie części zaburzeń rytmu serca u dzieci, z drugiej strony ryzyko poważnych komplikacji wynikających z leczenia zabiegowego arytmii, konieczne jest indywidualne podejście do kwalifikacji do zabiegu ablacji, również obejmujące doświadczenie ośrodka [1].

1.1.2. Zaburzenia rytmu serca u pacjentów z wrodzoną wadą serca, bez i po kardiochirurgicznej korekcji

U pacjentów z wrodzoną wadą serca występują zarówno typowe zaburzenia rytmu (obecność drogi dodatkowej lub częstoskurcz węzłowy), jak i wynikające ze specyfiki wady lub jej korekcji. Trudności wykonania zabiegu ablacji mogą wynikać z nieprawidłowej anatomii serca (np. zespół Ebsteina) lub z ograniczenia dostępu do jam serca (np. po ope-

Tabela 1. Wskazania do zabiegu ablacji u dzieci [1]

Zespół WPW po nagłym zatrzymaniu krążenia	
Klasa I	Zespół WPW z omdleniami, z krótkim czasem refrakcji drogi dodatkowej (krótki czas RR z preekscytacją w czasie migotania przedsionków, czas refrakcji w czasie badania elektrofizjologicznego < 250 ms)
	Ustawiczne bądź częste napady częstoskurczu nadkomorowego z zaburzeniami hemodynamicznymi
	Nawracające częstoskurcze komorowe z zaburzeniami hemodynamicznymi o podłożu potencjalnie usuwalnym metodą ablacji
Klasa II A	Nawracający lub/i objawowy częstoskurcz nadkomorowy oporny na stosowaną powszechnie farmakoterapię w wieku > 4 lat
	Planowana korekcja wady serca, w wyniku której ograniczony będzie dostęp do naczynia czy jamy serca
	Utrwalony lub ustawiczny częstoskurcz nadkomorowy (pojawiający się po 6-12 miesiącach od chwili pierwszego epizodu) z prawidłową funkcją komór
	Utrwalony lub często nawracający pooperacyjny częstoskurcz przedsionkowy wokół blizny, łąty, konduitu
	Powtarzające się kołatania serca z wywołanym w czasie badania elektrofizjologicznego utrwalonym częstoskurczem nadkomorowym
Klasa II B	Bezobjawowe cechy preekscytacji w zapisie EKG w wieku > 5 lat, bez udokumentowanych napadów częstoskurczu, u których jasno określono ryzyko i korzyść z zabiegu
	Napadowe częstoskurcze nadkomorowe w wieku > 5 lat skutecznie leczone antyarytmicznie, jako alternatywa do leczenia farmakologicznego
	Napadowe częstoskurcze nadkomorowe w wieku < 5 lat (włączając niemowlęta), nieskutecznie leczone farmakologicznie (wliczając amiodaron i sotalol) lub gdy występują niepożądane objawy działania leków
	Pooperacyjny częstoskurcz przedsionkowy, który powtarza się 1-3 razy w roku i wymaga interwencji medycznej
	Ablacja łącza przedsionkowo-komorowego ze wszczepieniem stymulatora serca jako leczenie alternatywne dla pacjentów z nawracającym lub opornym na leczenie pooperacyjnym nawrotnym częstoskurczem przedsionkowym
	Epizod częstoskurczu komorowego z objawami hemodynamicznymi, o podłożu potencjalnie usuwalnym metodą ablacji
Klasa III	Bezobjawowe cechy preekscytacji w zapisie EKG w wieku < 5 lat
	Napadowe częstoskurcze nadkomorowe w wieku < 5 lat skutecznie leczone lekami antyarytmicznymi
	Napadowe częstoskurcze nadkomorowe bez objawów hemodynamicznych
	Epizody nieutralonego napadowego częstoskurczu nadkomorowego, niewymagające innej terapii i/lub z minimalnymi objawami

racji Fontana). Częstoskurcze napadowe w przypadku wrodzonej wady serca mogą mieć bardziej dramatyczny przebieg zależny od szybciej pojawiających się cech hipoperfuzji i ostrej niewydolności serca. Częstoskurcze o typie makroreentry zależne od blizny pooperacyjnej (IART) pojawiają się dość często po operacjach kardiochirurgicznych i mają związek z techniką operacji. U pacjentów po korekcji Mustarda/Senniga występują u około 40%, po operacji Fontana do 50%, natomiast po operacji ASD 2 lub tetralogii Fallota u 20% [2-4]. U pacjentów po korekcjach kardiochirurgicznych częstoskurcze nadkomorowe są obciążone dość wysokim ryzykiem niewydolności serca, powikłań zakrzepowo-zatorowych (w tym udaru mózgu) oraz nagłego zgonu [5, 6]. Kolejną grupą arytmii we wrodzonych wadach serca obciążoną niekorzystnym rokowaniem są częstoskurcze komorowe [7].

Jedynym dokumentem regulującym wskazania do zabiegu ablacji u dzieci jest NASPE Expert Consensus z 2002 roku [1]. Zalecenia te przedstawiono w tabeli 1. W kolejnych rekomendacjach ACC i ESC problem ablacji u dzieci i młodzieży nie doczekał się uzupełnienia, mimo że od tego czasu do powszechnego użytku weszły techniki elektroanatomiczne oraz zabiegi krioablacji, zmniejszając potencjalne ryzyko powikłań [8]. Pierwsze zabiegi ablacji RF u dzieci wykonywano od początku lat 90. XX wieku [9]. Wieloośrodkowe badania obejmujące 725 zabiegów ablacji u 652 pacjentów wskazywały na wysoką ich skuteczność (83%) i stosunkowo niski odsetek istotnych komplikacji (4,8%). Jedynymi czynnikami niezależnie korelującymi z powikłaniami były niska waga dziecka oraz małe doświadczenie ośrodka.

1.2. Systemy elektroanatomiczne w zabiegach ablacji

Początki mapowania serca datują się od 1915 roku, kiedy to wykonano pierwsze zapisy zewnątrzkomórkowej aktywności elektrycznej serca [10]. Ideą mapowania elektroanatomicznego jest ocena propagacji aktywacji w strukturze serca. Ocena szerzenia się pobudzenia elektrycznego, szczególnie odpowiedzialnego za tworzenie się arytmii, ma fundamentalne znaczenie dla zrozumienia podstaw elektrofizjologii arytmii, co przekłada się na lepsze leczenie farmakologiczne i zabiegowe [11]. Mapowanie serca jest szerokim pojęciem obejmującym ocenę potencjałów z powierzchni serca, analizę pobudzeń od strony endokardialnej i epikardialnej, początkowo chirurgicznej [12], obecnie również przezskórnej [13, 14]. Standardowe mapowanie obejmuje analizę potencjałów elektrycznych w stosunku do sygnału referencyjnego, którym może być wybrany załamek w zapisie EKG (najczęściej stosowane w mapowaniu komorowych zaburzeń rytmu), lub sygnał z wybranej elektrody wewnątrzsercowej, która charakteryzuje się najmniejszą zmiennością położenia (najczęściej wykorzystywana jest elektroda położona w zatoce wieńcowej). Tworzenie sekwencji aktywacji odbywa się niejako w głowie operatora, który tworzy trójwymiarową rekonstrukcję serca w oparciu o ocenę położenia elektrod, wykorzystując różne projekcje rentgenowskie [15, 16]. Od kilkunastu lat funkcję tworzenia trójwymiarowych rekon-

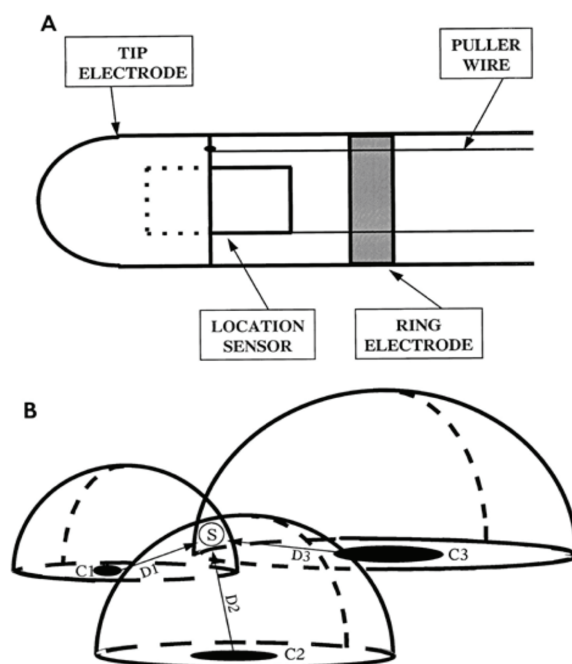
strukcji w czasie rzeczywistym umożliwiają dedykowane systemy elektroanatomiczne takie jak LocaLisa, CARTO czy EnSite™. Równolegle, choć z mniejszym powodzeniem, starano się połączyć trójwymiarową wizualizację uzyskaną za pomocą echokardiografii wewnątrzsercowej z wielopolarnym zapisem elektrokardiograficznym z cewników w kształcie balona [17]. W tym przypadku prawdopodobnie niedoskonałości systemów informatycznych w tamtym okresie były odpowiedzialne za brak perspektyw wdrożenia techniki do codziennej praktyki klinicznej.

1.2.1. System CARTO

System elektroanatomiczny CARTO (Biosense Webster CA, USA) działa w oparciu o ultraniskie pole magnetyczne emitowane przez *location pad*. *Location pad* z trzema cewkami jest umieszczony pod stołem rentgenowskim i generuje pole magnetyczne (od 5×10^{-6} do 5×10^{-5} T), które tworzy przestrzeń wokół klatki piersiowej pacjenta, umożliwiając kodowanie położenia elektrody w układzie czasowym i przestrzennym (ryc. 1). Pole magnetyczne tworzone przez 3 cewki zmniejsza swoją wartość w zależności od odległości od źródła pola w 6 poziomach swobody (x, y, z, roll, pitch and yaw). Pasywny sensor jest zlokalizowany w elektrodzie ablacyjnej (NAVI-STAR™ Biosense Webster) i mierzy siłę pola magnetycznego w danym punkcie [18]. Elektroda ablacyjna jest połączona z systemem elektrofizjologicznym i nawigacyjnym. Poruszanie elektrodą w polu elektromagnetycznym umożliwia dokładne pozycjonowanie elektrody w ciele pacjenta i daje możliwość przyporządkowania wartości potencjału lokalnego danemu punktowi przestrzeni. System trójwymiarowej rekonstrukcji jam serca (punkt po punkcie lub FAM – *fast anatomical mapping*) wykonywanej w czasie rzeczywistym tworzy geometrię jamy serca. System elektrofizjologiczny przypisuje bryle anatomicznej potencjały elektryczne w stosunku do elektrody referencyjnej, umożliwiając w ten sposób wykonanie mapy elektroanatomicznej odwzorowującej propagację (mapa propagacyjna) pobudzenia w oparciu o LAT (*local activation time*) lub amplitudę potencjałów (mapa bipolarna lub unipolarna). Ocena czasu aktywacji czy wartości potencjałów jest odwzorowana odpowiednią skalą kolorystyczną. Dokładność tego systemu była wielokrotnie potwierdzona w warunkach *in vitro* i *in vivo* [18, 19]. Dokładność lokalizowania elektrody w warunkach *in vitro* wynosiła $0,55 \pm 0,07$ mm, natomiast w warunkach *in vivo* (na bijącym sercu) $0,54 \pm 0,05$ mm [18].

1.2.2. System EnSite™

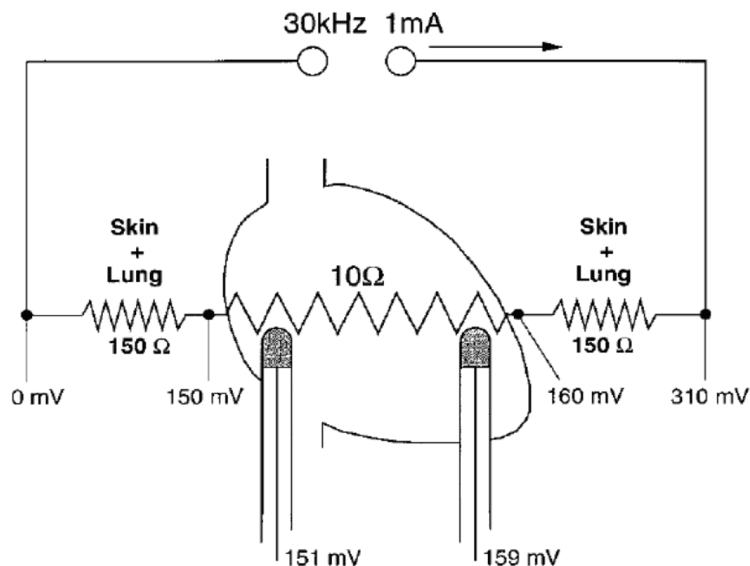
Koncepcja zastosowania niskonapięciowego pola elektrycznego przyłożonego do klatki piersiowej do oceny położenia elektrod wewnątrzsercowych została po raz pierwszy przedstawiona w 1999 roku [20]. Był to pierwszy system (LocaLisa Intracardiac System, Medtronic Inc, MN, USA) umożliwiający pokazanie położenia elektrod w układzie trójwymiarowym.



Ryc. 1. Cewnik (A) z sensorem w części dalszej elektrody umożliwiającym jego lokalizację oraz zasada działania systemu CARTO (B). A. Cewnik zakończony jest pierścieniowymi elektrodami (*ring electrode*) oraz elektrodą dystalną (*tip electrode*). Sensor (*location sensor*) jest zintegrowany z cewnikiem. B. Zasada lokalizowania położenia elektrody. *Location pad* składa się z 3 cewek (C1, C2, C3) generujących pole magnetyczne, którego siła spada wraz z odległością od jego źródła. Sensor (S) mierzy siłę pola magnetycznego i na tej podstawie można określić odległość od poszczególnych cewek (D1, D2, D3). Położenie elektrody jest wyznaczane jako miejsce przecięcia się teoretycznych sfer, których promień stanowi odległość do sensora (Gepstein L. et al. Circulation. 1997; 95: 1611-1622, przedrukowano za zgodą Wolters Kluwer Health [18])

W sytuacji gdy zewnętrzne pole elektryczne jest przyłożone do klatki piersiowej, obserwowany jest spadek napięcia spowodowany rezystancją, jaką stawiają wewnętrzne organy, takie jak np. serce i duże naczynia. Napięcie pola elektrycznego (V) może być określone dla każdej elektrody znajdującej się w polu (ryc. 2). Aby system działał poprawnie muszą zostać spełnione podstawowe zasady: pole elektryczne musi być przyłożone w trzech prostopadłych kierunkach (x, y, z), musi być bezpieczne dla pacjenta i nie wpływać na potencjały elektryczne serca rejestrowane wewnątrz i zewnątrzsercowo. Pole elektryczne musi być na tyle stałe, aby położenie elektrod w czasie badania nie ulegało zmianie. Dodatkowe utrudnienie stanowią ruchy serca oraz ruchy oddechowe. System oceniający położenie elektrody musi być tak skalibrowany, aby zmianie położenia elektrody odpowiadała zmiana pola elektrycznego (oporności). Pole elektryczne jest tworzone przez ortogonalny układ elektrod emitujący prąd o natężeniu 1 mA o nieznacznie odmien-

nych częstotliwościach dla poszczególnych par elektrod (30,27 kHz, 30,60 kHz i 31,15 kHz). Oprogramowanie umożliwia dokładną ocenę położenia elektrody na podstawie oceny napięcia prądu dla każdej z trzech częstotliwości.



Ryc. 2. Zasada działania LocaLisy (Wittkamp FHM i wsp. Circulation 1999; 10: 1312-1317, przedrukowano za zgodą Wolters Kluwer Health [20])

Rozwój LocaLisy doprowadził w końcu do stworzenia systemu elektroanatomicznego EnSite™ opracowanego przez Endocardial Solutions Inc., MN, USA, następnie rozwijanego przez St. Jude Medical, St. Paul, MN, USA. EnSite™ składa się z dwóch systemów: systemu mapowania bezkontaktowego (EnSite™ Array) oraz nawigacyjnego (EnSite™ Navigation System, EnSite™ NavX). Pierwszy system składa się z cewnika balonowego z 64 unipolarnymi elektrodami umieszczonymi na jego powierzchni. Sterowalny cewnik balonowy można umieścić w poszczególnych jamach serca i po jego inflacji uzyskujemy sieć elektrod oddalonych od siebie o 4-7 mm. System nie wymaga kontaktu z powierzchnią serca. Jednocześnie zbierane potencjały z 64 elektrod są konwertowane poprzez oprogramowanie na ponad 3000 wirtualnych elektrokardiogramów. Elektrogramy oraz mapa izopotencjałowa są przedstawiane w trójwymiarowym modelu kodowanym odpowiednimi kolorami. Do stworzenia trójwymiarowej geometrii jamy serca wykorzystywana jest zwykła elektroda sterowalna. Przez elektrodę przepływa prąd o bardzo niskiej amplitudzie (5,68 kHz) umożliwiając jej identyfikację w układzie przestrzennym względem cewnika balonowego. Na wykonanej mapie anatomicznej zaznaczane są poszczególne struktury, takie jak pierścień zastawki, ujście zatoki wieńcowej czy pęczek Hisa. System ten umożliwia przedstawienie aktywacji serca z jednego pobudzenia [21].

Drugi system, EnSite™ NavX, wykorzystuje 3 pary ortogonalnych elektrod naklejanych na skórę pacjenta. Tworzą one pole elektryczne podobnie jak to ma miejsce w systemie Localisa i na podstawie różnicy napięcia rejestrowanego przez poszczególne elektrody możliwa jest ich identyfikacja w przestrzeni. System jest otwarty, umożliwiając wizualizację do 128 pierścieni z elektrod diagnostycznych i ablacyjnych, włączając w to elektrodę do krioabblacji. Dalszy rozwój oprogramowania poprawił mankamenty wynikające z niehomogenności pola elektrycznego w ciele człowieka (*Field Scaling*). System jako jedyny już w pierwszych wersjach miał wbudowany algorytm kompensacji oddychania, a także jako jedyny umożliwia wykonywanie jednocześnie stymulacji i aplikacji RF z elektrody ablacyjnej, co może być wykorzystywane do oceny skuteczności aplikacji RF [22]. Częstość próbkowania wykorzystywana do tworzenia geometrii została zwiększona z 5,68 kHz do 8,138 kHz, a częstotliwości wykrywania położenia elektrod do 200 Hz. Enhanced System Reference wykorzystuje standardowy układ ortogonalnych elektrod celem wyznaczenia środka elektrycznego i umożliwia jego wykorzystanie jako punktu referencyjnego (*system reference*). Ocena stabilności systemu została dobrze udokumentowana. W czasie badania trwającego średnio 128 ± 82 minuty położenie elektrod było stałe (różnica położenia od 0,1 do 0,2 mm w trzech osiach) [23]. Podobnie generowane pole elektryczne nie zakłóca wewnątrzsercowych potencjałów, a zarazem umożliwia precyzyjne śledzenie położenia elektrod [24].

Oba systemy, CARTO i EnSite™ były przedmiotem porównania pod względem dokładności odwzorowania przestrzeni. Badanie porównujące rozdzielczość CARTO 3 (Biosense Webster, Diamond Bar, CA, USA), EnSite™ Velocity (St Jude Medical Inc., St. Paul, Mn, USA) oraz systemu fluoroskopowego (OG, Overlay Guidance, Siemens AG, Forchheim, Germany) z wykorzystaniem akrylowego fantomu z markerami pokazało dużą ich zgodność ($1,62 \pm 0,77$ mm dla CARTO-3, $2,02 \pm 1,21$ mm dla EnSite™ oraz $1,10 \pm 0,52$ mm dla OG) [19]. Nieznaczna różnica na korzyść CARTO 3 w precyzji lokalizacji punktów wynika z braku dystorsji, wynikającej z mniej homogenności pola elektrycznego niż magnetycznego.

1.2.3. Wpływ zastosowania systemów elektroanatomicznych na skuteczność i bezpieczeństwo zabiegów abblacji

Fluoroscopia w czasie zabiegów interwencyjnych w kardiologii umożliwia kontrolę nawigacji elektrodami oraz identyfikację struktur w sercu. Rosnąca liczba interwencji z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego zwiększa obawy zarówno przed efektami stochastycznymi, jak i deterministycznymi. Wczesniejsze badania oceniające efektywność zabiegów abblacji w leczeniu zaburzeń rytmu serca wskazywały na długie czasy fluoroskopii oraz narażenie pacjentów na stosunkowo duże dawki promieniowania rentgenowskiego (tabela 2). Rosenthal i wsp. oceniała czynniki wpływające na czas fluoroskopii oraz dawkę

promieniowania u 859 pacjentów poddanych zabiegowi ablacji RF stosunkowo prostych zaburzeń rytmu, takich jak częstoskurcz węzłowy, zespół WPW lub ablacji węzła przedsionkowo-komorowego w ramach Atakr Ablation System Clinical Trial [25]. Średni czas fluoroskopii w tej grupie wynosił 53 ± 50 minut, a efektywna dawka promieniowania $1,3 \pm 1,3$ Sv. Niezależnymi czynnikami korelującymi z czasem fluoroskopii był wiek pacjenta, płeć, skuteczność zabiegu oraz ośrodek, w którym wykonywano ablację. Czas fluoroskopii u dorosłych był istotnie dłuższy niż u dzieci. U dzieci poniżej 10. roku życia ($n = 60$) czas fluoroskopii wynosił 32 ± 23 minuty, natomiast u dzieci w wieku 10-17 lat ($n = 174$) 44 ± 34 minut. Efektywna dawka promieniowania u dzieci była istotnie niższa niż u dorosłych ($0,86 \pm 0,85$ vs $1,4 \pm 1,4$ Sv, $p < 0,01$). Przyjmując, że ryzyko wystąpienia śmiertelnej choroby nowotworowej na skutek promieniowania rentgenowskiego w ciągu życia wynosi 5-8% na 1 Sv, zabieg ablacji może wiązać się ze wzrostem śmiertelnych nowotworów od 1400 do 2600 na 1 milion pacjentów poddawanych zabiegowi ablacji (co oznacza średni wzrost nowotworów o 2/1000) [26]. W ciągu kolejnych lat, dzięki rosnącej świadomości skutków ubocznych promieniowania rentgenowskiego, istotnemu skróceniu uległ czas fluoroskopii oraz dawka promieniowania, na którą narażony był pacjent [27]. Zgodnie z zaleceniami dotyczącymi stosowania promieniowania rentgenowskiego w diagnostyce i leczeniu obowiązuje zasada ALARA (*as low as reasonably achievable*) [28].

Tabela 2. Porównanie czasów fluoroskopii oraz dawki promieniowania, którą otrzymał pacjent w czasie zabiegów ablacji na podstawie piśmiennictwa

Badanie	Rok	<i>n</i>	Wiek (lat)	Arytmia	Czas fluoroskopii (min)	Dawka dla pacjenta
Kugler i wsp. [9]	1994	652	13 ± 12	WPW, AT, FL, JET, VT	49 (AVNRT), 79 (RS WPW)	nie podano
Calkins i wsp. [30]	1991	31	35 ± 15	WPW, SVT	44 ± 40	kręgosłup: 7,26 rem
Lindsay i wsp. [31]	1992	108	39 ± 19 / 43 ± 17	WPW/ AVNRT	54 ± 37 (WPW) 45 ± 18 (AVNRT)	1,7 rem
Park i wsp. [32]	1996	500	40 ± 19	–	46 ± 31	$0,93 \pm 0,62$ Gy, DAP: 76 – 123 Gycm ²
Rosenthal i wsp. [25]	1998	859	36 ± 21	AVNRT, WPW, łącze AV	53 ± 50	dawka efektywna: $1,3 \pm 1,3$ Sv
McFadden i wsp. [33]	2002	50	bd	łącze AV, WPW	67	0,81 Gy

W warunkach każdej pracowni możliwe jest zastosowanie licznych sposobów ograniczających dawkę promieniowania. Nowoczesne systemy radiologiczne oferują liczne

algorytmy ułatwiające dostosowanie warunków ekspozycji do rodzaju wykonywanego zabiegu. Zmniejszenie liczby klatek na sekundę (do 3-4), zastosowanie niskiej energii na klatkę (10-18 nGy/klatkę), ograniczenie stosowania projekcji bocznych, zabiegi bez powiększenia cyfrowego, agresywne stosowanie kolimatora prowadzi do znacznych redukcji dawek. Przy zastosowaniu tych możliwości, w grupie 42 pacjentów (średni wiek 14 lat) z zespołem WPW lub AVNRT czas fluoroskopii wyniósł 16 minut, a dawka promieniowania 45 mGy [29], co jest ogromnym skokiem w porównaniu z wcześniej cytowanymi pracami. Dalsze ograniczenie dawki promieniowania RTG może być uzyskane tylko przy zastosowaniu technik ultrasonograficznych lub elektroanatomicznych.

1.3. Dlaczego ograniczenie narażenia na promieniowanie rentgenowskie ma znaczenie u dzieci?

Promieniowanie jonizujące stanowi uznany czynnik ryzyka rozwoju nowotworu. Dzieci są szczególnie narażone na ryzyko związane z działaniem promieniowania, nie tylko z powodu intensywnego wzrostu tkanek i organów, ale również w wyniku dłuższego czasu życia i wynikającego z tego dłuższego czasu, w którym choroba nowotworowa może się ujawnić. Dodatkowym elementem jest również większe prawdopodobieństwo narażenia na promieniowanie RTG wynikające z diagnostyki obrazowej i leczenia w ciągu życia.

Do niedawna uważano, że promieniowanie rentgenowskie jest szkodliwe niezależnie od dawki. Wynikało to z tzw. hipotezy liniowej bez dawki progowej (*linear, no threshold, LNT*), zakładającej że skutki popromienne (choroby nowotworowe, niekorzystne zmiany genetyczne) występują po narażeniu organizmu zarówno na małe, jak i duże dawki, a jedynie częstość ich występowanie zależy od wielkości dawki. Ryzyko efektów popromiennych było ekstrapolowane dla małych dawek na podstawie obserwacji wynikających z ICRP. Według danych z ICRP efektywna dawka promieniowania zwiększająca ryzyko rozwoju choroby nowotworowej jest różna dla poszczególnych narządów i wynosi około 5% dla 1 Sv (np. dla skóry wynosi 0,02%, dla żołądka 1,1%).

Dane obserwacyjne z krajów, w których promieniowanie tła jest wysokie (Norwegia, Finlandia czy Iran, od 365 mSv do 3000 mSv w ciągu życia) nie wykazuje wzrostu zapadalności na choroby nowotworowe. Podobnie z badań eksperymentalnych wiadomo, że małe dawki promieniowania mogą wpływać korzystnie na wzrost i przyrost masy ciała u niektórych zwierząt (łososie, kurczęta), dłuższe przeżycie (myszy), a nawet redukować ryzyko rozwoju choroby po wszczepieniu komórek nowotworowych.

Mimo, że zgodnie z raportem Beir VII faza 2 hipoteza LNT powinna być stosowana, to jednak istnieją obiektywnie co do znaczenia narażenia na bardzo małe dawki promieniowania rentgenowskiego (< 10 mSv) [34]. Zaobserwowano nadwrażliwość na małe dawki promieniowania wykraczające poza hipotezę LNT. Wpływ małych dawek promieniowania na organizm żywy może być oceniany za pomocą biomarkerów będących pierwszymi

sygnałami karcynogenezy. Do takich markerów należy ocena dwuniciowych pęknięć DNA (DSB) za pomocą metod immunohistochemicznych (ocena fosforylacji H2AX, określane jako γ H2AX). Ocena immunohistochemiczna γ H2AX jest traktowana jako swoisty marker dwuniciowego pęknięcia DNA. Beels i wsp. w eleganckiej pracy przeanalizowali wpływ promieniowania rentgenowskiego w czasie zabiegów cewnikowania serca u dzieci [35]. Stwierdzono że ekspozycja na małe dawki promieniowania nie wykazuje zasad liniowości (LNT), a wiąże się z nadmiernym przyrostem pęknięć DSBs, co może być istotnym markerem karcynogenezy w sytuacji, gdy metody naprawcze zawiodą.

O ile nie jesteśmy w stanie wyeliminować ciągłego narażenia na promieniowanie rentgenowskie wynikające z tzw. tła, to jednak zawsze, szczególnie u dzieci, świadome, choć czasami konieczne, narażenie na dawkę promieniowania będzie budziło uzasadnione obawy. Tym bardziej, że nie zawsze możemy zabieg przedwcześnie zakończyć, gdy stwierdzimy przekroczenie jakiejś zakładanej dawki promieniowania, kiedy efekt zabiegu jest niewystarczający. Z drugiej strony nie możemy przewidzieć, jak potoczą się dalsze losy dziecka i czy nie będzie wymagało w ciągu życia kolejnych badań wykonywanych z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego. Dlatego też wdrażanie metod alternatywnych do fluoroskopii powinno być naszą powinnością tym bardziej, że są one dostępne.

1.3.1. Wpływ zastosowania systemów elektroanatomicznych na zmniejszenie narażenia pacjenta na promieniowanie

Zastosowanie wcześniej opisanych systemów elektroanatomicznych zdecydowanie wpłynęło na istotne skrócenie czasu fluoroskopii oraz zmniejszenie dawki promieniowania dla pacjenta i personelu (tab. 3). Co więcej, u istotnej części pacjentów umożliwiło wykonanie zabiegu całkowicie z wyeliminowaniem fluoroskopii.

Tabela 3. Wpływ zastosowania systemu elektroanatomicznego na ograniczenie czasu fluoroskopii w zabiegach ablacji u dzieci

Badanie	Rok	n	Wiek	System	Arytmia	Czas fluoroskopii (min)		„0” fluoro [%]
						przed 3D	z 3D	
Drago i wsp. [36]	2002	21	11	CARTO	AP RS	brak danych	9,3 ± 7	43
Papagiannis i wsp. [37]	2006	40	12 ± 3	EnSite™	AP, AVNRT	brak danych	10,4 ± 6	0
Tuzcu i wsp. [38]	2007	28	13 ± 7	EnSite™	AP RS, AVNRT	14 ± 11	6,2 ± 3	86
Smith i wsp. [39]	2007	30	13 ± 5	EnSite™	AP, AVNR	21 ± 18	1,1 ± 0,8	80
Papez i wsp. [40]	2007	113	15 ± 5	LocaLisa	AP AVNRT	37 ± 21	17 ± 12	0

Jednakże zabiegi bezfluoroskopowe są najczęściej wykonywane w przypadku arytmii prawostronnych. Dostęp do lewej komory i lewego przedsionka wymaga techniki transaortalnej lub transseptalnej wykonanej pod kontrolą echokardiografii przezprzełykowej lub wewnątrzsercowej, co jest okupione znacznym wydłużeniem czasu zabiegu i wymaga zaangażowania znaczenie większego zespołu [41, 42].

1.4. Odmienności zabiegów ablacji u dzieci

Kolejną odmiennością zabiegów ablacji u dzieci jest najczęściej konieczność stosowania premedykacji, a następnie głębokiej sedacji lub znieczulenia ogólnego w większości zabiegów. Zgodnie z American Academy of Pediatrics (AAP) oraz American Society of Anaesthesiology znieczulenie obejmuje 3 stopnie głębokości: 1) *conscious sedation* – farmakologicznie kontrolowany stan zmniejszonej świadomości zachowujący obronne odruchy, utrzymuje kontrolę drożności dróg oddechowych przez pacjenta, umożliwia stosowną odpowiedź na bodźce słowne bądź mechaniczne; 2) *deep sedation* – stan farmakologicznie kontrolowany ze zmniejszeniem lub brakiem świadomości, z którego pacjent nie jest szybko wybudzany, stan ten może wiązać się z utratą odruchów obronnych, włączając utrzymanie drożności dróg oddechowych oraz stosowną reakcję pacjenta na słowne lub fizyczne bodźce; 3) *general anaesthesia* – kontrolowany farmakologicznie stan braku świadomości (przytomności) z towarzyszącą utratą odruchów obronnych, obejmując utrzymanie drożności dróg oddechowych oraz adekwatną odpowiedź na stymulację słowną lub mechaniczną [1].

Zastosowanie ciągłego wlewu propofolu w małej lub większej dawce jest optymalnym postępowaniem nie tylko dającym korzystny efekt sedacyjny, ale również brak jest po jego zastosowaniu przedłużających się objawów systemowych (zawroty głowy, nudności i wymioty), co często jest obserwowane przy innych lekach [43]. Rodzaj znieczulenia wpływa z jednej strony na czas trwania zabiegu [44], a z drugiej strony stosowanie leków uspokajających wpływa na parametry elektrofizjologiczne, przewodzenie pobudzeń elektrycznych oraz na indukcję częstoskurczów [45-47]. Znany jest również wpływ izofluranu i enfluranu na czas refrakcji dróg dodatkowych w zespole WPW [48]. Do korzystnych działań znieczulenia należy wyrównanie i uspokojenie toru oddychania pacjenta, co poprawia stabilność elektrod i zmniejsza ryzyko ich dyslokacji w czasie gwałtownych wdechów lub kaszlu, który może być efektem zaburzeń rytmu [49].

2. CEL PRACY

Zabiegi ablacji w leczeniu zaburzeń rytmu serca u dzieci mają ogromne znaczenie, gdyż stwarzają szansę na całkowity powrót do zdrowia po wyeliminowaniu źródła lub substratu dla arytmii. Jak każdy zabieg inwazyjny z zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego obciążony jest ryzykiem powikłań, szczególnie u małych dzieci. Wprowadzane nowe, bezfluoroskopowe techniki wizualizacji serca oraz położenia elektrod stwarzają szansę na istotne zmniejszenie narażenia na promieniowanie rentgenowskie. Mimo, iż metody bezfluoroskopowe są stosowane od kilku lat, nadal brak jest przekonujących dowodów, że rutynowe stosowanie tej techniki, poza ograniczeniem dawki promieniowania, poprawia skuteczność i bezpieczeństwo zabiegu bez negatywnego wpływu na całkowity czas procedury.

Główne cele niniejszej pracy to:

- 1) opracowanie techniki bezpiecznego i skutecznego wykonywania zabiegu ablacji z zastosowaniem elektroanatomicznego systemu EnSite™ u dzieci;
- 2) porównanie zabiegu klasycznej ablacji z wykorzystaniem fluoroskopii oraz z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego EnSite™ pod względem czasu znieczulenia, czasu trwania zabiegu, czasu fluoroskopii oraz dawki promieniowania oraz skuteczności metody z uwzględnieniem poszczególnych grup arytmii;
- 3) analiza przyczyn konieczności zastosowania fluoroskopii w czasie zabiegów z systemem elektroanatomicznym EnSite™;
- 4) ocena skuteczności i bezpieczeństwa zabiegu ablacji z dostępu transseptalnego i transaortalnego przy zastosowaniu klasycznej fluoroskopowej techniki oraz systemu EnSite™ u pacjentów z zaburzeniami rytmu zależnymi od obecności lewostronnej drogi dodatkowej;
- 5) porównanie skuteczności zabiegów krioablacji zaburzeń rytmu o zwiększonym ryzyku bloku przedsionkowo-komorowego techniką fluoroskopową i EnSite™.

3. METODYKA

Do badania włączono wszystkich pacjentów zakwalifikowanych do wykonania badania elektrofizjologicznego i/lub ablacji zaburzeń rytmu serca. Rodzice lub prawni opiekunowie dzieci wyrazili pisemną zgodę na wykonanie badania elektrofizjologicznego oraz zabiegu ablacji zgodnie z protokołem przyjętym w Klinice Kardiologii i Nefrologii Dziecięcej Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu. Na przeprowadzenie badania uzyskano zgodę lokalnej Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu (zgoda Nr 550/10 oraz 301/11).

W dniu przyjęcia ocena stanu ogólnego, wykluczenie aktywnego procesu zapalnego (ocena CRP), a także wykonanie badania elektrokardiograficznego i badania echokardiograficznego. W dniu zabiegu każde dziecko otrzymywało jako premedykację midazolam doustnie. W czasie zabiegów ablacji u dzieci i młodzieży stosowano następujące techniki znieczulenia:

- 1) Znieczulenie ogólne (GA), w którym indukcję znieczulenia przeprowadzono przy użyciu propofolu w dawce 2-3 mg/kg dożylnie i fentanylu 1-2 μ g/kg dożylnie z założeniem maski krtaniowej. Podtrzymanie znieczulenia kontynuowano z zastosowaniem mieszaniny sevofluranu 1,5-2 vol% i powietrze/tlen (FiO_2 50%) z użyciem LFA 2 l/min.
- 2) Znieczulenie ogólne techniką VIMA z wykorzystaniem do indukcji znieczulenia sevofluranu 4-6 vol% i podaniem dożylnym fentanylu w dawce 1-2 μ g/kg. Pacjentom zakładano maskę krtaniową, a do podtrzymania znieczulenia zastosowano mieszaninę sevofluranu 1,5-2 vol%, i powietrza z tlenem (FiO_2 50%) z użyciem LFA 2l/min.
- 3) Głęboką sedację wykonano z zastosowaniem propofolu 2-3 mg/kg dożylnie i fentanylu 1-2 μ g/kg dożylnie. Znieczulenie kontynuowano stosując dożylny wlew propofolu w dawce 0,05-0,08 mg/kg/min z założoną maską twarzą przez którą podawano mieszaninę tlenu i powietrza (FiO_2 50%) przy przepływie 4 l/min z zachowanym oddechem własnym pacjentów.

Badanie zostało wykonane z wykorzystaniem angiografu jednopłaszczyznowego ze wzmacniaczem obrazu firmy Siemens (AXIOM ARTIS). Do fluoroskopii stosowano ograniczoną do 10 liczbę pulsów na sekundę oraz protokół zmniejszonej energii RTG (Fluoro „-” , dawka zmniejszona do 23 nGy/puls). Akwizycję wykonywano przy 15 klatkach na sekundę (dawka 0,17 μ Gy/klatkę). Wszystkie badania były wykonywane z maksymalną kolimacją. Od 2011 roku do Pracowni wprowadzono system elektroanatomiczny EnSite™ firmy St. Jude Medical początkowo z oprogramowaniem NavX, a od 2013 roku z oprogramowaniem Velocity.

3.1. Badanie elektrofizjologiczne

Zabiegi były wykonywane u dzieci na czczo, w znieczuleniu ogólnym bądź sporadycznie, u starszych dzieci i dorosłych w sedacji, gdy istniało duże ryzyko, że na skutek działania środków znieczulających nie będzie można wyzwoić arytmii.

Dziecko po znieczuleniu było podłączane do systemu elektrofizjologicznego oraz systemu elektroanatomicznego zgodnie z obowiązującymi zasadami. Po umyciu i dezynfekcji pola zabiegowego dziecko było okrywane jałową serwetą. Elektrody diagnostyczne były wprowadzone metodą Seldingera. Po znieczuleniu miejsca wkłucia (1% Lignocaina, 10 ml) nakłuwno lewą żyłę udową i wprowadzona 2 koszulki naczyniowe 5F. Przez koszulki wprowadzano 2 elektrody diagnostyczne – 5F elektrodę 4-polarną o stałej krzywiznie JSN i odległości między pierścieniami 2-5-2 mm, którą umieszczano w okolicy pęczka Hisa oraz drugą elektrodę 4-polarną 5F do prawego przedsionka lub elektrodę 10-polarną do zatoki wieńcowej. W przypadku trudności z wprowadzeniem elektrody do CS z dostępu dolnego wykonano nakłucie kąta żylnego i wprowadzono elektrodę tą drogą. Od czasu wprowadzenia systemu EnSite™, za każdym razem stosowano sterowalną elektrodę 10-polarną o małej lub średniej krzywiznie, którą umieszczano w zatoce wieńcowej. Wyjątkiem byli pacjenci z monomorficzną arytmia z prawej komory, gdzie ograniczano zabieg do 1 elektrody ablacyjnej.

3.1.1. Powody, dla których zastosowano system EnSite™ NAVX/Velocity do zabiegów ablacji u dzieci

System EnSite™ stanowi otwartą platformę akceptującą wszystkie elektrody diagnostyczne i ablacyjne, wliczając również elektrodę do krioablacji (możliwość wizualizacji i zapisu z 128 kanałów w czasie rzeczywistym). Ze względu na konieczność stosowania małych elektrod diagnostycznych i ablacyjnych (4-5F) u dzieci poniżej 25 kg – jest to aktualnie jedyny system niewprowadzający żadnych ograniczeń. Można wykonywać mapę elektroanatomiczną dowolną elektrodą, a zarazem z dowolnych pierścieni elektrody. W czasie zabiegu można też zmieniać elektrodę, z której zbiera się punkty do tworzenia mapy elektroanatomicznej. EnSite™ współpracuje ze wszystkimi generatorami RF oraz z konsolą do krioablacji (Cryocath), oraz jest kompatybilny z licznymi systemami do elektrofizjologii (w tym Bard Clearsign™). System pozwala na bezpieczne wprowadzanie elektrod do serca przez układ żył obwodowych – drogę elektrody można śledzić od momentu wprowadzenia do koszulki naczyniowej, co ma znaczenie przy przechodzeniu przez żyłę udową oraz żyłę główną dolną. System wykorzystuje częstotliwość próbkowania 8,138 kHz (do 4 cewników elektrofizjologicznych) oraz częstotliwość 200 Hz do wykrywania położenia elektrody, co przy zastosowaniu filtra dolnoprzepustowego 100-150 Hz eliminuje zakłócenia. Ma wbudowany algorytm adaptacyjnej kompensacji oddychania (*adaptive respiration compensation*), co zmniejsza artefakty ruchowe wynikające z ruchów

oddechowych. Dodatkowo wprowadzona funkcja *Field Scaling* eliminuje dystorsję wynikającą ze zmiennej impedancji struktur serca (np. ujścia żył płucnych, zatoka wieńcowa, żyły obwodowe). Funkcja *Enhanced System Reference* wykorzystuje standardowy układ ortogonalnych elektrod celem wyznaczenia środka elektrycznego i umożliwia jego wykorzystanie jako punktu referencyjnego. EnSite™ umożliwia wykonywanie fragmentacji obrazu KT lub MRI w formacie DICOM i fuzji z obrazem elektroanatomicznym (Verismo™ i Fusion™).

3.1.2. Protokół badania elektrofizjologicznego

Badanie elektrofizjologiczne i zabieg ablacji były zapisywane i analizowane na zestawie elektrofizjologicznym Barda ze wzmacniaczem Clearsign™ wyposażonym w 16-bitowy przetwornik A/D o wysokiej rozdzielczości z oprogramowaniem LabSystem PRO (C.R. Bard Inc, Lowell, MA, USA) podłączonym do zewnętrznego stymulatora dwukanałowego UHS 300 (Biotronik SE & Co, Berlin, Niemcy).

Protokół badania i oceniane parametry:

- 1) Stymulacja programowana przedsionka: stymulacja o cyklu 500 ms z jednym pobudzeniem dodatkowym o skracającym się sprzężeniu od 440 ms do czasu osiągnięcia czasu refrakcji przedsionka.
- 2) Stymulacja programowana komór: stymulacja o cyklu 500 ms z jednym pobudzeniem dodatkowym o skracającym się sprzężeniu od 440 ms do czasu osiągnięcia czasu refrakcji komór.
- 3) W przypadku kiedy podstawowy rytm serca był szybszy niż 120/min, programowaną stymulację rozpoczynano od stymulacji o CL 450-400 ms, aby przejść rytm serca.
- 4) W przypadku braku indukcji częstoskurczu stosowano stymulację z 2-3 pobudzeniami dodatkowymi w czasie rytmu zatokowego lub odpowiedniej stymulacji o CL 500-400 ms.
- 5) W przypadku braku indukcji arytmii programowaną stymulacją, podawano isoprenalinę (Isuprel) iv 1-20 µg w zależności od odpowiedzi klinicznej (optymalnie uzyskując przyspieszenie akcji serca do 120-130/min) i powtarzano stymulację serca.

Przeprowadzone badanie elektrofizjologiczne obejmowało:

- 1) Jawną preeksycytację rozpoznawano w zapisie EKG na podstawie obecności fali delta, skróconego odstępu $PQ \leq 120$ ms, poszerzenia zespołu QRS ≥ 105 ms.
- 2) Ocenę wyjściowego zapisu elektrokardiograficznego i wewnątrzsercowego z oceną przewodzenia przedsionkowo-komorowego, ocena podstawowych parametrów takich jak częstotliwość rytmu zatokowego, ocena czasu PQ, QRS oraz odstępu QT, ocena czasu AH (A-delta), czasu HV.
- 3) Ocenę właściwości elektrofizjologicznych węzła przedsionkowo-komorowego oraz dodatkowych dróg przewodzenia zarówno w kierunku zstępującym, jak i wstecznym.

- 4) Indukcję arytmii (częstoskurczu przedsionkowo-komorowego, częstoskurczu węzłowego, częstoskurczu przedsionkowego, trzepotania i migotania przedsionków lub częstoskurczu komorowego).
- 5) W przypadku indukcji częstoskurczu z koncentryczną aktywacją przedsionków, wykonywano dodatkową diagnostyczną stymulację różnicującą obejmującą: „His refractory pacing”, „parahisian pacing” oraz ocenę odpowiedzi po szybkiej stymulacji komór [50, 16]. Lokalizacja dróg dodatkowych na podstawie podziału wg Gallaghera [51].

3.1.3. Technika nakłucia transseptalnego

Nakłucie transseptalne wykonywano zgodnie z powszechnie przyjętymi zasadami [52, 53]. Dostęp transseptalny stosowano bez względu na wiek dziecka celem uniknięcia nakłucia tętnicy udowej i narażenia zastawki aortalnej na ryzyko uszkodzenia. Jako miejsca referencyjne wykorzystywano elektrody znajdujące się w zatoce wieńcowej i okolicy pęczka Hisa. Pozwalają one ocenić położenie tylnej ściany lewego przedsionka oraz niewieńcowego płata zastawki aortalnej. Po nakłuciu żyły udowej prawej wprowadzono koszulkę naczyniową 7F i elektrodą ablacyjną oceniano obecność PFO. W przypadku braku PFO, do koszulki wprowadzono przewodnik 0,32", a następnie zbrojoną koszulkę 63 cm SL0 8F (St. Jude Medical) do wysokości żyły podobojczykowej. Następnie usuwano przewodnik i po przepłukaniu cewnika wprowadzono 71 cm igłę transseptalną o krzywiznie BRK (St. Jude Medical), tak aby koniec igły nie wystawał poza rozszerządło cewnika. W projekcji AP wysuwano zestaw do przedsionka z markerem igły ustawionym pomiędzy godziną 17-18. Po stwierdzeniu „skoku” zestawu, kontrolowano położenie koszulki naczyniowej w 2 projekcjach (RAO 30° i LAO 45°) względem punktów referencyjnych. Po potwierdzeniu prawidłowej lokalizacji końcówki cewnika przekłuwano przegrodę, a następnie powoli aspirowano krew przez igłę. Po stwierdzeniu obecności krwi w cewniku podawano małą ilość kontrastu i potwierdzano miejsce położenia cewnika, oceniając wizualnie odległość od wolnej ściany przedsionka. Po wprowadzeniu części dystalnej rozszerzadła do lewego przedsionka, igłę zamieniano na przewodnik 0,32", który umieszczano w żyłę płucnej górnej lewej i następnie wprowadzano system do lewego przedsionka. Po usunięciu przewodnika i rozszerzadła układ ponownie przepłukiwano solą heparynizowaną i dożylnie podawano heparynę w dawce 30 mg/kg masy ciała. Koszulkę podłączano do układu płuczącego (500 ml 0,9% NaCl z 500 j. heparyny). W przypadku braku wypływu krwi z igły, układ wycofywano, modyfikowano kształt igły i procedurę powtarzano. W przypadku gdy po 2-4 próbach nie uzyskano skutecznego nakłucia, wykorzystywano badanie echokardiograficzne przezklatkowe lub przezprzełykowe do oceny miejsca nakłucia lub zmieniano technikę zabiegu na transaortalną.

3.1.4. Szczególne sytuacje wymagające rozszerzonej diagnostyki radiologicznej w czasie zabiegu

W sporadycznych sytuacjach klinicznych stosowano rozszerzoną diagnostykę radiologiczną, wykorzystując ręcznie podawany kontrast poprzez cewnik i rejestrując obraz na systemie hemodynamicznym. Były to następujące sytuacje:

- 1) Podejrzenie anomalii zatoki wieńcowej. W tym przypadku wykonywano angiografię z zastosowaniem cewnika 5F JL 3,5 lub AL1 podając niewielką ilość kontrastu rozcieńczonego solą fizjologiczną w stosunku 1:1.
- 2) Arytmia wywodząca się z okolic odejścia lub w przebiegu dużych tętnic wieńcowych. Wykonywano koronarografię z zastosowaniem dedykowanych cewników (JL 4, 5F oraz JL 3,5 5F).
- 3) Anomalia spływu żył (brak drożności żyły głównej dolej, przetrwała żyła główna lewa) – diagnozę potwierdzano wykonując selektywną angiografię.
- 4) Istotna wrodzona wada serca (zespół hipoplazji serca lewego po korekcji Fontana, wspólny kanał przedsionkowo komorowy). Wykonywano angiografię z zastosowaniem cewnika typu pigtail (6F).

3.1.5. Protokół zabiegu ablacji prądem częstotliwości radiowej

Zabieg ablacji RF wykonywano z zastosowaniem ablatora EP-Shuttle (STOCKERT Medical Solutions, Freiburg, Niemcy) oraz elektrody ablacyjnej o wielkości dostosowanej do wzrostu i wagi dziecka. Stosowano 4 podstawowe elektrody ablacyjne: 5F elektroda IBI, 6 i 7F elektroda Celcius® 4 mm (Biosense Webster, Bar Diamond, USA), 7F elektroda EZ Steer® D/F 4 mm (Biosense Webster, Bar Diamond, USA) oraz elektrody chłodzone 7F Celcius® Thermocool oraz 7F EZ Steer® Thermocool (D/F) (Biosense Webster, Bar Diamond, USA). Do zabiegów z wykorzystaniem elektrod chłodzonych używano pompy infuzyjnej CoolFlow (Biosense Webster) z podstawowym przepływem 2 ml/min i 20-30 ml/min w czasie aplikacji RF.

Zabieg ablacji energią o częstotliwości radiowej wykonywano przy początkowych ustawieniach: moc 30 W i temperatura 55°C. W przypadku braku wzrostu temperatury powyżej 50°C zwiększano moc ablatora do 40-50 W. Dla elektrody chłodzonej ustawiano moc na 25-35 W i temperaturę na 48°C.

Zabieg ablacji wykonywano w czasie rytmu zatokowego, stymulacji przedsionkowej lub komorowej albo w czasie częstoskurczu w zależności od sytuacji klinicznej. Aplikację wykonywano w miejscu najwcześniejszej aktywacji, wybierając adekwatny punkt referencyjny (zapis EKG z zespołem QRS o stromym nachyleniu – wybierając maksymalne wychylenie ujemne lub dodatnie lub zapis z elektrody w zatoce wieńcowej) zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami [54-58]. W przypadku częstoskurczu węzłowego precyzyjnie wykonano mapowanie trójkąta Kocha i poszukiwano potencjału drogi wolnej metodą elektrofizjologiczną zgodnie z wcześniej opisanymi metodami [59, 60]. Zabieg ablacji rozpoczął

nano od aplikacji testowej trwającej do 15 sekund. W przypadku braku efektu aplikacja została przerwana i ponowną aplikację wykonywano w miejscu sąsiednim ponownie analizując potencjał w miejscu aplikacji i położenie anatomiczne elektrody. W przypadku skutecznej aplikacji testowej, przedłużano ją do 60-90 sekund, analizując temperaturę i impedancję elektrody w czasie aplikacji.

Do analizy włączono całkowity czas do pierwszej i ostatniej aplikacji (od momentu wprowadzenia elektrod do serca), łączny czas aplikacji RF, liczbę diagnostycznych (< 15 s) i terapeutycznych aplikacji.

3.1.6. Protokół zabiegu krioablacji

Zabieg krioablacji wykonywany był z wykorzystaniem kriokonsoli (CryoConsole, Cryocath, Medtronic) oraz elektrod do krioablacji (Freezor Extra 6 mm o krzywiźnie B) zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami [61, 62]. Reasumując, zabieg krioablacji składał się z części diagnostycznej (wykonywanie testowej krioaplikacji temperaturą około -30°C , tzw. kriomapa), w czasie której wykonywano wstępne mrożenie do maksymalnie 60 sekund. W przypadku braku efektu kriomapy w ciągu 30-45 sekund aplikację przerywano i zmieniano położenie elektrody. W przypadku korzystnego efektu kriomapy (ustąpienie przewodzenia drogą dodatkową, ustąpienie przewodzenia drogą wolną łącza przedsionkowo-komorowego) wykonywano krioaplikację z temperaturą około -70°C i aplikację kontynuowano przez 240-360 sekund. Po rozmrożeniu elektrody, wykonywano kolejną krioaplikację (technika *freeze-thaw-freeze*). Ze względu na potencjalnie ryzykowne miejsce aplikacji (ryzyko uszkodzenia układu bodźcoprzewodzącego) stosowano szybką stymulację przedsionków w czasie całej krioablacji oceniając odstęp PQ w czasie każdego cyklu. W przypadku wydłużenia odstępu PQ lub pojawienia się bloku prawej odnogi pęczka Hisa natychmiast przerywano aplikację.

3.1.7. Protokół wykonywania zabiegu z zastosowaniem systemu EnSite™

Po nakłuciu lewej żyły udowej do koszułek wprowadzano 2 elektrody (j.w.) i następnie pod kontrolą systemu EnSite™ (projekcja AP i LAO 45°) wprowadzano je do prawego przedsionka, co było potwierdzone rejestrowanymi potencjałami wewnątrzsercowymi. Wykonywano następnie optymalizację i kompensację oddychania.

Elektrodę 4-polarną umieszczano w okolicy p. Hisa, którego położenie oznaczano na mapie. Następnie 10-polarną elektrodą sterowaną wykonywano mapę żyły głównej górnej prawego przedsionka oraz ustalano zarys pierścienia zastawki trójdzielnej. Po wprowadzeniu tej elektrody do zatoki wieńcowej wykonywano badanie elektrofizjologiczne (j.w.). W przypadku stwierdzenia obecności PFO zaznaczano jego położenie na mapie serca.

3.1.8. Zabieg ablacji z wykorzystaniem EnSite™

Zasady wykonywania zabiegu ablacji z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego nie różniły się od sposobu przeprowadzania go metodą klasyczną (j.w.) Różnica dotyczyła

jedynie możliwości zaznaczenia miejsc o najwcześniejszej aktywacji na mapie elektroanatomicznej. Każde miejsce w obszarze zainteresowania dokładnie eksplorowano notując odpowiednio marker wskazujący lokalny czas aktywacji względem punktu referencyjnego. W miejscu najwcześniejszej aktywacji, potwierdzając morfologię potencjału na systemie elektrofizjologicznym Barda (przesuw 200-400 mm/sekundę) wykonywano aplikację RF lub kriomapę, zaznaczając każde miejsce na trójwymiarowej mapie serca. W przypadku częstoskurczu węzłowego precyzyjnie wykonywano mapowanie trójkąta Kocha i ujścia zatoki wieńcowej, poszukując potencjału drogi wolnej jak to opisano powyżej.

Od czasu wprowadzenia systemu elektroanatomicznego dodatkowej analizie poddano poszczególne etapy mapowania elektroanatomicznego (ocena czasu wprowadzenia elektrod i wykonania podstawowej mapy serca, czas badania elektrofizjologicznego oraz mapowania i ablacji).

3.1.9. Postępowanie po zabiegu ablacji

Po zabiegu ablacji ponownie wykonywano badanie elektrofizjologiczne. W przypadku braku nawrotu arytmii po 30 minutach zabieg kończono. Po usunięciu elektrod i cewników, po uzyskaniu hemostazy dziecko było wybudzane i przekazywane na oddział kardiologiczny, gdzie przez kolejne 12 godzin było monitorowane. EKG było wykonywane na oddziale bezpośrednio po zabiegu, a następnie wieczorem i następnego dnia rano. Kontrolne badanie echokardiograficzne było wykonywane w dniu ablacji lub następnego dnia. Leczenie po zabiegu obejmowało stosowanie kwasu acetylosalicylowego w dawce 75 mg dziennie przez okres 1 miesiąca.

3.2. Analiza statystyczna

Analiza statystyczna została prowadzona z wykorzystaniem oprogramowania STATISTICA.

3.2.1. Porównania danych

W fazie wstępnej dokonywano oceny danych pod kątem ich rozkładu, stosując test Shapiro-Wilka. W przypadku potwierdzenia rozkładów normalnych do porównania wartości średnich stosowano test t-Studenta. W przypadku danych niespełniających kryteriów rozkładu normalnego dla porównania median stosowano test U Manna-Whitneya lub Wilcoxon, odpowiednio dla danych niesparowanych i sparowanych. W przypadku porównań więcej niż 2 grup stosowano jednokierunkową analizę wariancji (*one-way* ANOVA) dla zmiennych o rozkładzie normalnym i test Kruskala-Wallisa dla zmiennych o nienormalnym rozkładzie. Do charakterystyki danych ciągłych i dyskretnych wykorzystano średnią, odchylenie standardowe, medianę oraz wartości odpowiadające 25. i 75. percentylowi. W przypadku porównania danych jakościowych dla grup 2/2 wykorzystano dokładny test Fishera, a wyniki przedstawiono jako liczbę i procent przypadków.

3.2.2. Analiza związków

Siłę i kierunek zależności między zmiennymi, z których co najmniej jedna nie miała rozkładu normalnego analizowano za pomocą nieparametrycznej korelacji Spearmana z prezentacją wskaźnika rho i jego 95% przedziału ufności (CI – *confidence interval*). Siłę i kierunek zależności między zmiennymi ciągłymi o rozkładzie normalnym analizowano za pomocą parametrycznej korelacji Pearsona z prezentacją wskaźnika r i jego 95% przedziału ufności CI. W analizie związków wykorzystano również jednoczynnikową i wieloczynnikową regresję liniową z prezentacją wartości *slope* dla poszczególnych zmiennych niezależnych, wartości p i R^2 dla całego modelu.

Istotność różnic i związków.

Ze względu na liczne porównania i w celu ograniczenia prawdopodobieństwa obserwacji przypadkowych różnic lub związków zastosowano poprawkę na ciągłość dla wartości p . Z tego powodu jako istotne statystycznie różnice lub związki uznano tylko takie, dla których skorygowane p spełniało indywidualnie określone kryteria.

3.3. Grupy badanych

Do badania włączono kolejnych pacjentów z udokumentowanymi lub podejrzewanymi zaburzeniami rytmu, którzy zostali zakwalifikowani do badania elektrofizjologicznego i zabiegu ablacji na podstawie przyjętych zasad [1]. W latach 2009-2014 w Pracowni Elektrofizjologii Dziecięcej wykonano 542 zabiegi u 465 pacjentów. W tej grupie było 529 zabiegów wykonanych u dzieci ≤ 18 lat (średni wiek $12,8 \pm 3,8$ lat) oraz 13 zabiegów u pacjentów powyżej 18. roku życia (średni wiek $28,6 \pm 7,8$ lat), u których wykonano krioablację z powodu podwyższonego ryzyka zabiegu metodą ablacji RF i braku dostępu do tej metody w Wielkopolsce w tym okresie. Wskazania do zabiegu ablacji w badanej grupie podsumowano w tabeli 4.

Tabela 4. Rodzaje zaburzeń rytmu będące kryterium kwalifikacji do badania elektrofizjologicznego i zabiegu ablacji

Wskazanie do badania elektrofizjologicznego	<i>n</i>	%
SVT	206	38
WPW asymptotyczny	41	7,5
WPW + AVRT	186	34
WPW + PAF	5	0,9
AT	30	5,5
VES	28	5,1
VT	22	4,1
Nieudokumentowane kołatania serca	21	3,9
Inne (utrata przytomności)	3	0,6

Z 465 pacjentów, 435 było objawowych (82%) przed zabiegiem (kołatania serca), omdlenia występowały u 56 (11,2%) a zatrzymanie akcji serca miało miejsce u 5 (1,1%) badanych. Sport był przyczyną wykonania badania u 43 (9,2%) pacjentów. U 10 chorych występowały cechy kardiomiopatii tachyarytmicznej. Istotna wrodzona wada serca była stwierdzona u 25 pacjentów, z czego u 11 była wykonana kardiochirurgiczna operacja (tab. 5). U 439 pacjentów był to pierwszy zabieg elektrofizjologiczny (94,4%), podczas gdy u 19 pacjentów (4,1%) był to drugi zabieg, a u 4 – trzeci zabieg (0,8%).

Tabela 5. Rodzaje wad wrodzonych wad serca i korekcji kardiochirurgicznych w grupie pacjentów poddawanych ablacji

Rodzaj wady serca	<i>n</i>
ASD 2 bez korekcji	5
ASD 2 po korekcji kardiochirurgicznej	1
AVSD po korekcji kardiochirurgicznej	1
Dwupłatkowa zastawka aortalna	1
CoA + BAV po korekcji kardiochirurgicznej	1
L-TGA + ksenograft t. płucnej	1
L-TGA + po VSD i PS	1
VSD bez korekcji	3
VSD po korekcji kardiochirurgicznej	1
Zespół Ebsteina po korekcji (Callangos)	1
Zespół Ebsteina bez korekcji	3
HLHS po operacji Fontana	1
Atrezja t. płucnej po operacji Fontana	1
Atrezja t. płucnej po operacji Glenna	1
Po operacji Tetralogii Fallota	1
Wypadanie płatka zastawki mitralnej	2

Legenda: ASD (ubytek przegrody międzyprzedsionkowej), BAV (dwupłatkowa zastawka aortalna), CoA (koarktacja aorty), HLHS (zespół hipoplastycznego serca lewokomorowego) L-TGA (skorygowana transpozycja dużych tętnic), PS (stenoza tętnicy płucnej), VSD (ubytek w przegrodzie międzykomorowej)

4. WYNIKI

Do analizy włączono 542 zabiegi obejmujące badanie elektrofizjologiczne i ablację u pacjentów ≤ 18 lat (ryc. 3). Średnia wieku wynosiła $12,8 \pm 3,8$ lat (zakres: 1 miesiąc-18 lat), z nieznaczną przewagą chłopców (52%). W 446 przypadkach był to pierwszy zabieg, w 83 przypadkach drugi zabieg, natomiast trzeci i czwarty, w odpowiednio 10 i 3 przypadkach. W 41 przypadkach wykonano wyłącznie badanie elektrofizjologiczne, nie potwierdzając zaburzeń rytmu wymagających zabiegu ablacji. Grupa pacjentów, u których nie wykonano zabiegu ablacji, została wyłączona z dalszych analiz. W tabeli 6 zestawiono podsumowanie wyników badania elektrofizjologicznego.

Tabela 6. Podstawowe dane z badania elektrofizjologicznego w badanej grupie pacjentów

Wybrane dane z badania elektrofizjologicznego	<i>n</i>
Dysfunkcja węzła zatokowego	2
Zaburzenia przewodzenia przedsionkowo-komorowego	3
Przewodzenie dwutorowe (bez indukcji AVNRT)	20
Indukcja s/f AVNRT	113
Indukcja f/s AVNRT	7
Indukcja s/s AVNRT	3
Obecność drogi dodatkowej przewodzącej dwukierunkowo	169
Obecność drogi dodatkowej przewodzącej wstecznie	96
Obecność drogi dodatkowej przewodzącej zstępująco	35
Obecność licznych dróg dodatkowych	21
Częstoskurcz przedsionkowy (ogniskowy i IART)	26
VES/VT	46

Na podstawie wcześniejszej dokumentacji i wyniku badania elektrofizjologicznego wykonano zabieg ablacji AVNRT w 135 przypadkach (25%). U 5 pacjentów wykonano zabieg ablacji AVNRT i drogi dodatkowej. W 2 przypadkach współwystępowały 2 rodzaje AVNRT (s/f z f/s oraz s/f z s/s).

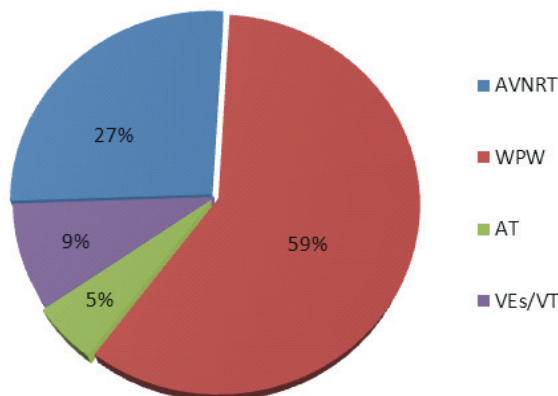
Zabieg ablacji drogi dodatkowej wykonano w 300 przypadkach (59%). W 171 była to droga dwukierunkowa, w 95 – droga wsteczna, a w 39 – przewodząca w kierunku zstępującym. Liczne drogi dodatkowe stwierdzono w 26 przypadkach. W 6 przypadkach pomimo potwierdzenia drogi dodatkowej zabiegu nie wykonano (droga o bardzo długim czasie

refrakcji lub o sporadycznym przewodzeniu wyłącznie po podaniu adenozyliny albo stwierdzono nieistotne elektrofizjologicznie włókna pęczkowo-komorowe).

Ablację częstoskurczu przedsionkowego wykonano w 26 przypadkach (9%), w 1 przypadku był to częstoskurcz współwystępujący z drogą dodatkową. Zarówno ablacja licznej arytmii komorowej, jak i częstoskurczów komorowych była wykonana w 46 przypadkach (9%) (ryc. 3).

W 438 przypadkach wykonano zabieg ablacji RF, w 49 – zabieg wyłącznie krioablacji, natomiast w 14 przypadkach wykonano jednocześnie zabieg ablacji RF i krioablacji (w dowolnej kolejności).

W badanej grupie było 24 dzieci w wieku ≤ 5 lat leczonych metodą ablacji z powodu AVNRT (4), drogi dodatkowej (17), częstoskurczu przedsionkowego (1) i częstoskurczu komorowego (2). Powodem zabiegu były nawracające zaburzenia rytmu (19) z omdleniami (6) i/lub skuteczną resuscytacją (3).



Ryc. 3. Rodzaje arytmii będących przedmiotem ablacji w materiale Kliniki Kardiologii Dziecięcej w latach 2009-2014

Średni czas znieczulenia oceniany dla wszystkich wykonanych zabiegów wyniósł $93,7 \pm 39$ minut, a czas zabiegu ablacji $73,9 \pm 38,1$ minut. Średni czas fluoroskopii wyniósł $9,5 \pm 11,9$ minut, natomiast dawka pochłonięta $31,8 \pm 67,9$ mGy, i $232,2 \pm 399,1$ $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$. Porównując grupy pacjentów z różnymi formami zaburzeń rytmu (AVNRT, WPW, AT i VEs/VT) z wyłączeniem pacjentów, u których współwystępowały dwa rodzaje arytmii, nie stwierdzono różnic w danych demograficznych pomiędzy grupami, natomiast obserwowano istotne różnice pod względem czasu trwania zabiegu oraz czasu fluoroskopii i dawki promieniowania. Ablacja częstoskurczu węzłowego charakteryzowała się najkrótszym czasem znieczulenia i zabiegu. Podobnie średni czas fluoroskopii oraz dawka promieniowania (pochłonięta i DAP) były ponaddwukrotnie mniejsze niż w przypadku pozostałych arytmii (tab. 7).

Tabela 7. Parametry kliniczne i zabiegowe dla poszczególnych grup arytmii

	Wiek (lat)	BSA	Czas znieczulenia (min)	Czas zabiegu (min)	Czas fluoroskopii (min)	D1 (mGy)	D2 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$)
AVNRT	13,4 ± 3,2	1,6 ± 0,3	82,1 ± 28,4	55,5 ± 25,7	5,4 ± 7,0	18,6 ± 36,7	149,6 ± 361,1
AP	13,0 ± 5,1	1,5 ± 0,3	103,0 ± 35,5	75,3 ± 37,5	10,9 ± 12,9	38,5 ± 84	261,4 ± 435,9
AT	12,6 ± 4,1	1,5 ± 0,5	125,5 ± 27	100,4 ± 31,7	12,8 ± 15,0	38,0 ± 46,5	330,4 ± 442,6
VEs/VT	13,4 ± 4,7	1,6 ± 0,3	119,7 ± 57,3	93,3 ± 46,4	11,9 ± 17,2	32,6 ± 58,2	228,2 ± 388,4
<i>p</i>	0,09	0,57	< 0,0001	< 0,0001	0,18	0,16	0,001

D1 – dawka pochłonięta, D2 – DAP (*dose area product*)

4.1. Wpływ zastosowania EnSite™ w zabiegach ablacji zaburzeń rytmu u dzieci

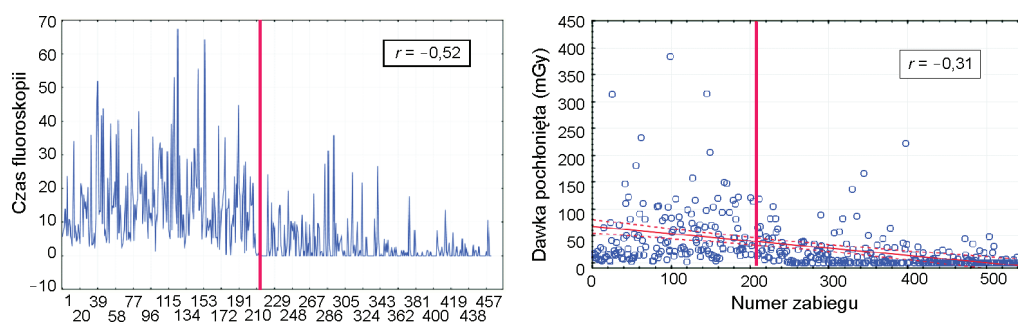
System EnSite™ do zabiegu ablacji zastosowano u 268 pacjentów. Po wyłączeniu pacjentów z istotną wrodzoną wadą serca po korekcji kardiochirurgicznej do analizy włączono 258 chorych.

Zabieg ablacji z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego EnSite™ został podzielony na kilka etapów. Pierwszym etapem było wprowadzenie elektrod oraz wykonanie trójwymiarowej rekonstrukcji poszczególnych jam serca oraz umieszczenie elektrod w określonych miejscach, celem wykonania badania elektrofizjologicznego (najczęściej okolica pęczka Hisa oraz zatoka wieńcowa). Kolejnym etapem było wykonanie badania elektrofizjologicznego z zastosowaniem technik różnicujących, jak to opisano w metodyce. Po potwierdzeniu diagnozy rozpoczął się etap ablacji. Wykonanie aplikacji metodą RF czy krioablacją poprzedzone było dodatkowym mapowaniem obszaru zainteresowania zgodnie z typami arytmii, jak opisano to w metodyce. Ta część obejmowała również wykonanie nakłucia transseptalnego w przypadku dróg dodatkowych oraz częstoskurczów przedsionkowych wywodzących się z lewej strony serca. Dodatkowe techniki wizualizacyjne, jak angiografia tętnic wieńcowych czy zatoki wieńcowej, również były wliczane do czasu wykonywania zabiegu ablacji. Ostatnim etapem był czas od ostatniej aplikacji do czasu zakończenia zabiegu. Czasy poszczególnych etapów ablacji z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego przedstawione są w tabeli 8.

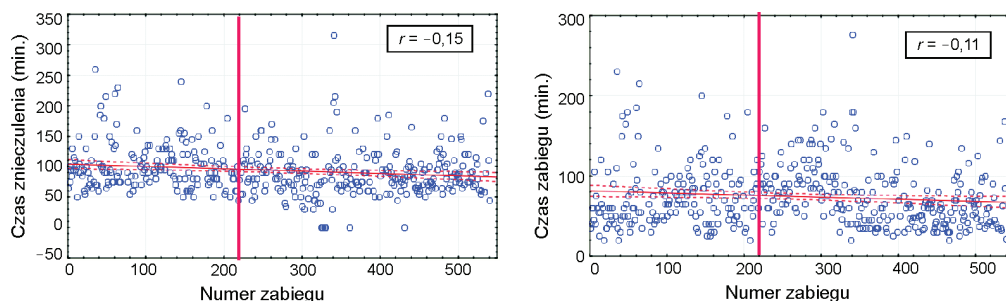
Wpływ zmiany techniki wykonywania zabiegów ablacji u dzieci z grupy fluoroskopowej na EnSite™ na parametry zabiegowe został przedstawiony na rycinie 4. Z wykresów widać wyraźny trend redukcji stosowania promieniowania rentgenowskiego (zarówno zmniejszenie czasu fluoroskopii, jak i dawki promieniowania), któremu nie towarzyszy wzrost czasu trwania zabiegu, praktycznie od początku wprowadzenia nowej metody (ryc. 5).

Tabela 8. Czas poszczególnych etapów zabiegu ablacji przy zastosowaniu systemu elektroanatomicznego EnSite™ ($n = 231$)

Etap zabiegu ablacji	Czas (min)
Czas wizualizacji jam serca	$7,9 \pm 9,4$
Czas badania elektrofizjologicznego	$9,6 \pm 10,2$
Czas zabiegu ablacji	$19,6 \pm 24,7$
Czas po ablacji	$13,3 \pm 9,7$



Ryc. 4. Czas fluoroskopii oraz dawka pochłonięta w kolejnych zabiegach ablacji. Czerwoną linią zaznaczono wprowadzenie do zabiegów systemu elektroanatomicznego (EnSite™)



Ryc. 5. Graficzne przedstawienie czasu znieczulenia oraz czasu zabiegów dla poszczególnych ablacji. Czerwoną linią zaznaczono wprowadzenie do zabiegów systemu elektroanatomicznego (EnSite™)

Ze względu na powszechnie panujący pogląd, że zastosowanie technik wizualizacyjnych stosowanych celem ograniczenia lub wyeliminowania fluoroskopii wydłuża czas zabiegu, przeanalizowano różnice pomiędzy danymi zabiegowymi przy zastosowaniu wyłącznie fluoroskopii oraz systemu elektroanatomicznego dla poszczególnych rodzajów arytmii. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy grupami pod względem danych demograficznych (wiek, waga, masa, BSA). Istotnie skrócił się czas znieczulenia ogólnego, czas zabiegu oraz ograniczeniu uległ czas fluoroskopii oraz dawka promieniowania użytego

w czasie zabiegu w grupie zabiegów z wykorzystaniem EnSite™. Szczegóły przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Porównanie danych demograficznych i zabiegowych między pacjentami, u których wykonano zabieg z zastosowaniem tylko fluoroskopii i z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego

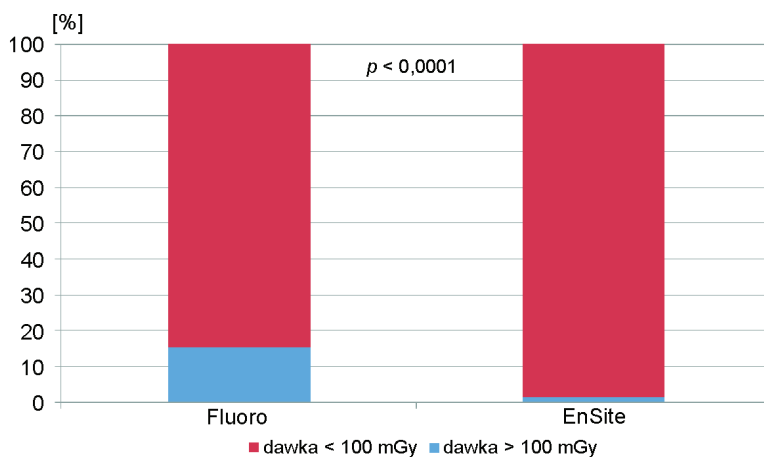
	Fluoro <i>n</i> = 215	EnSite™ <i>n</i> = 250	<i>p</i>
Wiek	12,9 ± 4,0	12,5 ± 3,9	0,318114
Wzrost	161,3 ± 18,1	156,6 ± 20,6	0,032264
Waga	51,5 ± 17,6	52,0 ± 18,7	0,761416
BMI	20,0 ± 3,8	20,4 ± 4,1	0,444855
BSA	1,5 ± 0,3	1,5 ± 0,4	0,224219
Czas znieczulenia	97,6 ± 36,9	87,8 ± 35,9	0,003781
Czas zabiegu	69,5 ± 36,3	62,7 ± 30,9	0,031161
Czas fluoroskopii	16,4 ± 12,3	3,5 ± 7,3	0
Dawka promieniowania (mGy)	55,0 ± 90,2	12,0 ± 27,7	0
DAP (μGy · m²)	402,0 ± 388,5	86,9 ± 215,1	0

Redukcja parametrów radiologicznych jest również wysoce znamienna. Zgodnie z zaleceniami BEIR VII za ekspozycję krótkotrwałą uznaje się taką, w której dawka pochłonięta jest równa lub niższa niż 100 mGy (mSv) [28]. W okresie wykonywania wyłącznie zabiegów fluoroskopowych u 35 pacjentów przekroczono dawkę 100 mGy (17%). Po wprowadzeniu EnSite™ tylko u 3 pacjentów (0,01%) przekroczono dawkę 100 mGy. Różnice pomiędzy grupami są wysoce znamienne ($\chi^2 < 0,0001$, (*Pearson* i *NW*)).

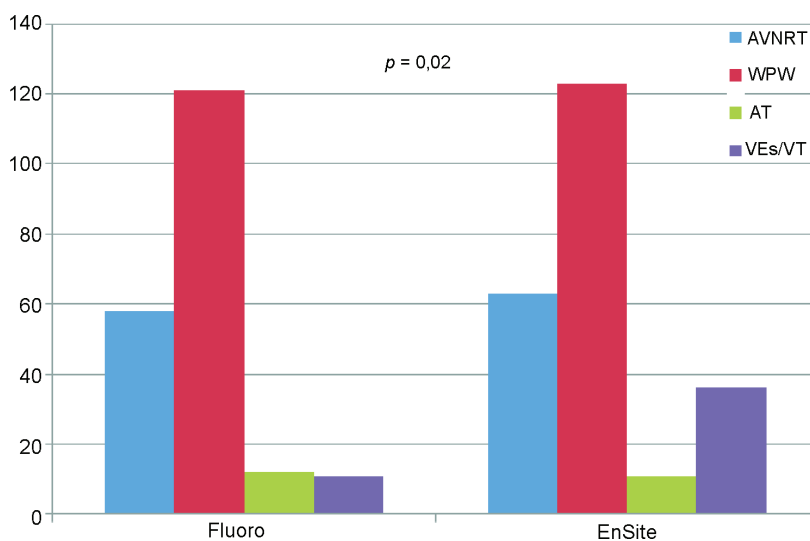
Istotnymi elementami mającymi wpływ na czas fluoroskopii jest typ zaburzeń rytmu i stopień złożoności zabiegu. Porównując obie grupy, zaobserwowano jedynie istotny wzrost udziału arytmii komorowej od czasu wprowadzenia techniki elektroanatomicznej, a więc arytmii, której ablacja wiązała się z wyższym stopniem trudności, ocenianym na podstawie czasu trwania zabiegu czy też parametrów fluoroskopowych. Rozkład typów zaburzeń rytmu poddawanych ablacji pomiędzy grupą fluoroskopową i EnSite™ przedstawia rycina 7.

Zaobserwowano istotne różnice w czasie trwania poszczególnych etapów zabiegu pomiędzy różnymi formami arytmii. Najkrótszy czas wizualizacji i zabiegu ablacji stwierdzono dla częstoskurczów węzłowych. W przypadku arytmii komorowej protokół badania elektrofizjologicznego był znacznie ograniczony, ale w tej grupie, podobnie jak w grupie częstoskurczów przedsionkowych, proces mapowania arytmii był najdłuższy wynikający

z konieczności wykonania precyzyjnej trójwymiarowej mapy całej jamy serca. Zasadniczo zabieg ablacji arytmii wywodzących się z prawego serca praktycznie nie wymaga stosowania fluoroskopii. Bardziej szczegółowa analiza tego problemu znajduje się w części wyników poświęconej ablacji dróg dodatkowych.



Ryc. 6. Graficzne przedstawienie udziału zabiegów ablacji, w których doszło do przekroczenia dawki 100 mGy w czasie ablacji fluoroskopowych i z zastosowaniem EnSite™



Ryc. 7. Porównanie dystrybucji podstawowych zaburzeń rytmu w grupie fluoroskopowej i z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego

4.2. Wpływ zastosowania systemu EnSite™ na parametry ablacyjne

Wprowadzenie systemu elektroanatomicznego do wykonywania zabiegów ablacji u dzieci było początkowo spowodowane chęcią ograniczenia dawki promieniowania, na którą

Tabela 10. Czasy dla poszczególnych typów arytmii przy zastosowaniu systemu elektroanatomicznego EnSite™

	AVNRT	AP	AT	VEs/VT	<i>p</i>
EnSite™ wizualizacja (min)	5,8 ± 5,6	6,7 ± 7,2	12,6 ± 9,8	19,7 ± 17,4	< 0,0001
EnSite™ – EPS (min)	10,4 ± 7,6	10,4 ± 11,2	10,4 ± 22,5	2,5 ± 7,3	0,004
EnSite™ – ablacja (min)	15,7 ± 20,4	24,7 ± 27,3	33,2 ± 29,1	31,7 ± 27,6	0,021
EnSite™ – po ablacji (min)	12,2 ± 7,3	15,7 ± 9,8	17,4 ± 7,7	10,3 ± 9,5	0,01
Czas znieczulenia (min)	78,1 ± 24,1	97,9 ± 32,7	108,3 ± 27,6	120,1 ± 54,6	< 0,0001
Czas zabiegu (min)	52,1 ± 21,0	70,1 ± 31,0	85,3 ± 29,4	94,8 ± 47,1	< 0,0001
Czas fluoroskopii (min)	0,6 ± 2,0	3,3 ± 6,0	2,9 ± 4,4	3,9 ± 6,3	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	2,6 ± 8,6	13,3 ± 29,9	12,9 ± 20,8	11,2 ± 17,9	0,0698
DAP (μGy · m ²)	15,1 ± 52,4	99,0 ± 230,7	114,2 ± 196,6	83,0 ± 127,6	0,052

narażony jest pacjent. Zastosowanie systemu elektroanatomicznego z opracowaną metodyką wykonywania ablacji nie wpłynęło niekorzystnie na czas trwania zabiegu. Biorąc pod uwagę możliwości bardziej precyzyjnego lokalizowania miejsca odpowiedzialnego za arytmie w systemie elektroanatomicznym przeanalizowano wpływ techniki bezfluoroskopowej na parametry ablacyjne, takie jak czas do pierwszej i ostatniej aplikacji oraz liczbę i czas aplikacji. Stwierdzono istotne skrócenie czasu do pierwszej i ostatniej aplikacji o ponad 3 minuty przy zastosowaniu systemu elektroanatomicznego, pomimo iż przy jego zastosowaniu wykonywano na wstępie trójwymiarową rekonstrukcję jam serca. Nie stwierdzono natomiast różnic w liczbie i czasie aplikacji pomiędzy grupami (tab. 11).

Tabela 11. Wpływ zastosowania systemu elektroanatomicznego na parametry ablacyjne

	Fluoroscopia <i>n</i> = 191	EnSite™ <i>n</i> = 231	<i>p</i>
Czas do pierwszej aplikacji (min)	26,6 ± 18,8	23,4 ± 16,5	0,027901
Czas do ostatniej aplikacji (min)	50,3 ± 34,8	46,7 ± 35,9	0,141397
Liczba aplikacji RF	9,3 ± 8,8	8,2 ± 7,7	0,240058
Liczba aplikacji > 15 s	5,3 ± 5,4	5,2 ± 5,3	0,940836
Łączny czas aplikacji (s)	267,8 ± 264,3	267,9 ± 262,3	0,663367

Wykonanie ablacji arytmii zlokalizowanych po lewej stronie serca jest z reguły dłuższe i bardziej skomplikowane niż arytmii prawostronnych, gdyż wymaga wykonania dodatko-

wego nakłucia tętnicy udowej lub nakłucia transseptalnego oraz wprowadzenia elektrod do lewego serca. W przypadku pacjentów, u których wykonano zabieg z zastosowaniem fluoroskopii, nie obserwowano istotnych różnic pomiędzy zaburzeniami rytmu lewostronnymi i prawostronnymi pod względem danych demograficznych, natomiast stwierdzono istotnie krótszy czas fluoroskopii ($14,8 \pm 11,3$ min vs $19,0 \pm 13,3$ min) oraz krótszy czas do pierwszej aplikacji RF ($24,1 \pm 15,4$ min vs $30,4 \pm 22,1$ min) w przypadku ablacji arytmii prawostronnych. Nieistotnie mniejsza była liczba aplikacji RF oraz sumaryczny czas aplikacji dla arytmii lewostronnych (odpowiednio $7,5 \pm 7,7$ vs $9,9 \pm 9,9$ oraz 222 ± 152 vs 285 ± 297 s). Bardziej szczegółowe omówienie tego problemu znajduje się w części dotyczącej zabiegu ablacji dróg dodatkowych.

Tabela 12. Różnice między zbiegami ablacji RF arytmii lewostronnych i prawostronnych wykonywanych z zastosowaniem fluoroskopii

	Arytmie lewostronne <i>n</i> = 66	Arytmie prawostronne <i>n</i> = 129	<i>p</i>
Dane demograficzne			
Wiek (lata)	13,3 ± 4,2	12,8 ± 3,8	0,33852
Wzrost (cm)	162,3 ± 19,0	160,9 ± 18,1	0,69619
Waga (kg)	52,4 ± 17,2	51,2 ± 18,0	0,658
BMI	20,4 ± 3,7	20,0 ± 3,9	0,56761
BSA	1,6 ± 0,3	1,5 ± 0,3	0,60472
Dane zabiegowe			
Czas znieczulenia (min)	106,5 ± 32,8	98,6 ± 36,9	0,14191
Czas zabiegu (min)	75,7 ± 36,5	70,7 ± 35,8	0,35399
Czas fluoroskopii (min)	19,0 ± 13,3	14,8 ± 11,3	0,0213
Dawka pochłonięta (mGy)	67,8 ± 132,0	49,1 ± 60,9	0,17636
DAP ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$)	484,7 ± 508,2	358,8 ± 482,4	0,0919
Dane ablacyjne			
Czas do pierwszej aplikacji (min)	30,4 ± 22,1	24,1 ± 15,4	0,0253
Czas do ostatniej aplikacji (min)	53,2 ± 36,2	47,2 ± 30,9	0,23969
Liczba aplikacji RF	4,2 ± 3,3	5,6 ± 5,6	0,0665
Liczba aplikacji > 15 s	7,5 ± 7,7	9,9 ± 8,9	0,069
Łączny czas aplikacji (s)	222,6 ± 152,4	285,2 ± 297,8	0,11139

W grupie EnSite™, wiek i pozostałe parametry demograficzne były niższe u pacjentów z arytmia lewostronną. Trend dotyczący dłuższego czasu zabiegu i dłuższej fluoroskopii oraz mniejszej liczby i czasu aplikacji RF w zabiegach lewostronnych był podobny jak w grupie zabiegów fluoroskopowych.

Tabela 13. Różnice pomiędzy zabiegami ablacji RF arytmii lewostronnych i prawostronnych wykonywanych z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego (EnSite™)

	Arytmie lewostronne <i>n</i> = 74	Arytmie prawostronne <i>n</i> = 149	<i>p</i>
Dane demograficzne			
Wiek (lata)	11,9 ± 3,9	13,0 ± 3,8	0,05266
Wzrost (cm)	152,4 ± 18,1	159,1 ± 20,1	0,038349
Waga (kg)	48,3 ± 16,6	54,1 ± 18,6	0,027178
BMI	19,6 ± 3,7	20,8 ± 4,2	0,079754
BSA	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,3	0,017796
Dane zabiegowe			
Czas znieczulenia (min)	95,9 ± 35,1	88,3±36,0	0,136045
Czas zabiegu (min)	70,4 ± 29,7	63,2 ± 31,1	0,102004
Czas fluoroskopii (min)	5,3 ± 6,7	1,6 ± 4,6	0
Dawka pochłonięta (mGy)	19,5 ± 33,2	6,4 ± 18,9	0,00022
DAP (μGy · m²)	154,8 ± 283,5	41,1 ± 113,4	0
Etapy zabiegu z zastosowaniem EnSite™			
EnSite™ wizualizacja (min)	9,2 ± 10,9	7,7 ± 9,5	0,291385
EnSite™ –EPS (min)	8,0 ± 8,4	9,0 ± 10,7	0,496346
EnSite™ – ablacja (min)	21,5 ± 23,3	21,7 ± 26,3	0,977417
EnSite™ – po ablacji (min)	15,0 ± 9,2	14,6 ± 9,3	0,775258
Dane ablacyjne			
Czas do pierwszej aplikacji (min)	25,1 ± 10,4	20,2 ± 12,5	0,004762
Czas do ostatniej aplikacji (min)	48,1 ± 30,1	42,3 ± 31,0	0,189625
Liczba aplikacji RF	4,6 ± 4,3	5,5 ± 5,8	0,224715
Liczba aplikacji > 15 s	7,6 ± 7,2	8,4 ± 7,6	0,436583
Łączny czas aplikacji (s)	235,6 ± 182,1	276,6 ± 290,7	0,251327

4.3. Przyczyny stosowania fluoroskopii w czasie zabiegów z zastosowaniem EnSite™

Z 268 zabiegów wykonanych z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego w 122 przypadkach konieczne było zastosowanie fluoroskopii (45%). Głównym powodem użycia fluoroskopii było nakłucie transseptalne. Nakłucie transseptalne wykonywane było bez zastosowania echokardiografii przezprzełykowej lub wewnątrzsercowej. Średni czas fluoroskopii dla zabiegów ablacji lewostronnej drogi dodatkowej z nakłuciem transseptalnym wyniósł $4,4 \pm 6,3$ min. Kolejną przyczyną była weryfikacja położenia elektrody diagnostycznej lub ablacyjnej, głównie u pacjentów z wrodzoną wadą serca. W 7 przypadkach zastosowano fluoroskopię do angiografii tętnic wieńcowych, zatoki wieńcowej lub oceny anatomii w wadach serca (nieprawidłowy spływ żył, ASD). W 4 przypadkach fluoroskopia była konieczna do wprowadzenia elektrody do zatoki wieńcowej, przy czym w 1 przypadku nie udało się tej elektrody wprowadzić również po zastosowaniu fluoroskopii oraz angiografii zatoki wieńcowej (bezpośrednia oraz późna faza po koronarografii lewej tętnicy wieńcowej), prawdopodobnie na skutek obecności dużej zastawki w jej ujściu. Szczegółowa lista przyczyn zastosowania fluoroskopii jest przedstawiona w tabeli 14.

Tabela 14. Przyczyny zastosowania fluoroskopii w czasie zabiegu z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego w 87 zabiegach ablacji (nie we wszystkich przypadkach odnotowano powód użycia fluoroskopii)

Powód zastosowania fluoroskopii	<i>n</i>
Koronarografia	1
Angiografia zatoki wieńcowej	4
Angiografia prawego przedsionka	1
Angiografia przetrwałej żyły głównej lewej	1
Trudności z kaniulacją CS	4
Trudności z wprowadzeniem elektrody przez IVC	1
Trudności z wprowadzeniem elektrody do prawej komory	1
Niestabilność wizualizacji elektrod diagnostycznych/ablacyjnych	2
Uszkodzenie elektrody ablacyjnej (pęknięcia cięgna)	1
Weryfikacja położenia elektrody diagnostycznej/ablacyjnej	13
Nakłucie transseptalne	56
Weryfikacja przy nakłuciu żyły podobojczykowej	2

4.4. Wpływ krzywej uczenia na wyniki zabiegów ablacji techniką fluoroskopową i EnSite™

Opanowanie każdej techniki zabiegowej wiąże się z określonym czasem nauki. Przekłada się to na czas wykonania zabiegu jego skuteczność oraz powikłania. Biorąc pod

uwagę wcześniejsze doświadczenie operatora w wykonywaniu zabiegów ablacji techniką klasyczną, efektywność zabiegów ablacji nie powinna się istotnie zmieniać po osiągnięciu poziomu „plateau”. Natomiast wprowadzenie nowej techniki zawsze wiąże się ze stopniową poprawą efektywności zabiegów. W celu porównania krzywej uczenia się dla obu technik przeanalizowano 100 zabiegów z pierwszego i ostatniego okresu wykonywania zabiegów techniką fluoroskopową i z EnSite™. Z analizy wyłączono pacjentów, u których wykonano wyłącznie EPS oraz pacjentów z istotnymi wrodzonymi wadami serca. Analizując zabiegi z wykorzystaniem fluoroskopii nie stwierdzono istotnych różnic demograficznych oraz zabiegowych pomiędzy pierwszą i ostatnią grupą pacjentów.

Tabela 15. Porównanie parametrów demograficznych i zabiegowych ablacji wykonywanych z zastosowaniem wyłącznie fluoroskopii z okresu początkowego oraz końcowego

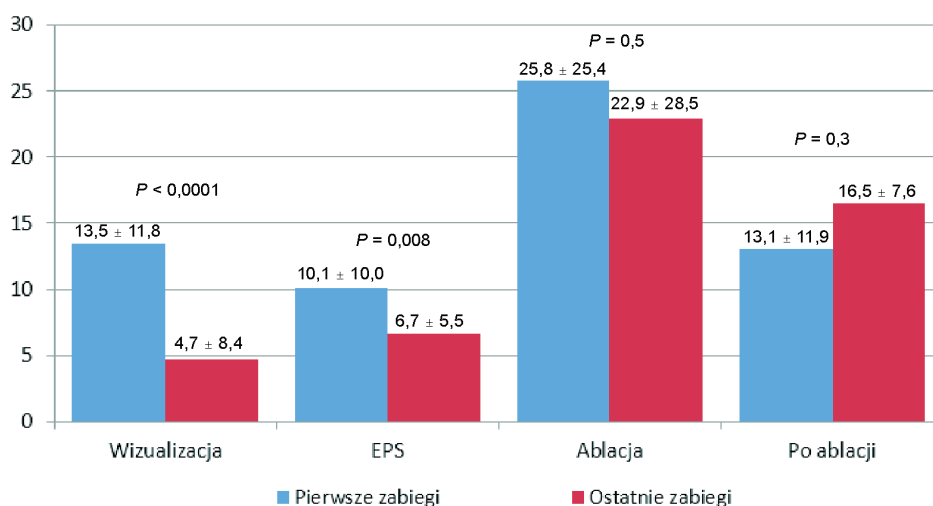
	Zabiegi fluoroskopowe z okresu początkowego <i>n</i> = 84	Zabiegi fluoroskopowe z okresu końcowego <i>n</i> = 80	<i>p</i>
Wiek (lata)	13,3 ± 3,5	12,7 ± 4,5	0,3781
Wzrost (cm)	162,0 ± 14,0	159,9 ± 23,1	0,5553
Waga (kg)	51,6 ± 18,3	51,5 ± 18,1	0,9745
BMI	19,8 ± 4,2	20,4 ± 3,5	0,423
BSA	1,5 ± 0,3	1,5 ± 0,4	0,9738
Czas znieczulenia (min)	101,2 ± 39,1,3	98,1 ± 33,2	0,59276
Czas zabiegu (min)	69,4 ± 40,3	72,5 ± 33,7	0,60266
Czas fluoroskopii (min)	15,2 ± 12,6	16,9 ± 12,5	0,3892
Dawka pochłonięta (mGy)	61,0 ± 130,0	48,2 ± 41,4	0,4023
DAP (μGy · m²)	422,8 ± 637,2	376,2 ± 346,1	0,5651

Tabela 16. Porównanie parametrów ablacyjnych zabiegów wykonywanych z zastosowaniem wyłącznie fluoroskopii z okresu początkowego oraz ostatniego

	Zabiegi fluoroskopowe z okresu początkowego <i>n</i> = 74	Zabiegi fluoroskopowe z okresu końcowego <i>n</i> = 80	<i>p</i>
Czas do pierwszej aplikacji (min)	29,7 ± 16,5	22,9 ± 20,7	0,02602
Czas do ostatniej aplikacji (min)	54,0 ± 37,8	46,4 ± 33,4	0,182602
Liczba aplikacji RF	10,1 ± 8,8	8,9 ± 9,8	0,433784
Liczba aplikacji > 15 s	5,4 ± 6,1	5,1 ± 5,4	0,751764
Łączny czas aplikacji (s)	274,4 ± 298,0	267,3 ± 265,3	0,875164

Podobnie nie stwierdzono istotnych różnic w liczbie aplikacji RF oraz sumarycznym czasie aplikacji pomiędzy grupami. Skuteczność zabiegu ablacji w pierwszym okresie wynosiła 91,5%, a w okresie ostatnim 88,4% ($p = 0,4$).

Zastosowanie systemu EnSite™ do zabiegów ablacji RF wykazywało wyraźny efekt krzywej uczenia się. Nie stwierdzono istotnych różnic demograficznych między pierwszymi i ostatnimi zabiegami ablacji. Zaobserwowano istotne skrócenie czasu wizualizacji jam serca (z 13,5 minuty do 4,7 minut) oraz czasu wykonania badania elektrofizjologicznego (z 10 do 6,7 minut). Skrócenie części diagnostycznej umożliwiło wydłużenie czasu obserwacji po zakończonym zabiegu ablacji (ryc. 8). Pomimo to, znamienne skrócił się czas znieczulenia oraz czas trwania zabiegu. Skróceniu uległ też czas do pierwszej aplikacji oraz liczba aplikacji, głównie spowodowane redukcją liczby aplikacji testowych (liczba aplikacji terapeutycznych nie różniła się istotnie). Redukcji uległ również czas fluoroskopii i dawka pochłonięta w zabiegach z ostatniego okresu (tab. 16). Skuteczność ablacji z systemem bezfluoroskopowym w pierwszym okresie wynosiła 90%, a w końcowym okresie 95% ($p = 0,2$).



Ryc. 8. Przedstawienie czasów poszczególnych etapów wizualizacji oraz zabiegu ablacji z początkowego okresu badań bezfluoroskopowych ($n = 87$) oraz końcowego okresu ($n = 90$)

Inne parametry zabiegu ablacji, takie jak czas do pierwszej i ostatniej aplikacji, a także liczba aplikacji potrzebnych do uzyskania skutecznego zabiegu też uległy istotnemu skróceniu. Wskazuje to na duży potencjał poprawy efektywności zabiegów z zastosowaniem Eniste, nawet gdy uzyskano wysoki poziom efektywności wykonywania zabiegów metodą klasyczną.

Tabela 17. Porównanie zabiegów bezfluoroskopowych z pierwszego i ostatniego okresu ich wykonywania

	Zabiegi z zastosowaniem EnSite™ NavX z okresu początkowego <i>n</i> = 87	Zabiegi z zastosowaniem EnSite™ NavX z okresu końcowego <i>n</i> = 90	<i>p</i>
Wiek (lata)	12,5 ± 4,3	11,8 ± 4,3	0,27177
Wzrost (cm)	156,7 ± 24,8	155,0 ± 24,8	0,68073
Waga (kg)	51,7 ± 18,2	51,1 ± 18,2	0,85184
BMI	20,3 ± 3,4	20,3 ± 3,4	0,9557
BSA	1,5 ± 0,4	1,5 ± 0,4	0,73162
Czas znieczulenia (min)	97,5 ± 41,6	88,4 ± 31,1	0,12843
Czas zabiegu (min)	75,6 ± 31,5	58,8 ± 29,5,5	0
Czas fluoroskopii (min)	6,1 ± 10,0	1,3 ± 10,0	0
Dawka pochłonięta (mGy)	17,3 ± 30,3	5,3 ± 30,3	0
DAP (μGy · m ²)	110,8 ± 200,9	43,6 ± 200,9	0,006

Tabela 18. Porównanie efektywności zabiegów ablacji techniką bezfluoroskopową z pierwszego i ostatniego okresu ich wykonywania

	Zabiegi z zastosowaniem EnSite™ z okresu początkowego <i>n</i> = 78	Zabiegi z zastosowaniem EnSite™ z okresu końcowego <i>n</i> = 80	<i>p</i>
Czas do pierwszej aplikacji (min)	31,2 ± 21,6	20,2 ± 13,3	0
Czas do ostatniej aplikacji (min)	60,0 ± 41,6	37,4 ± 30,0	0
Liczba aplikacji RF	8,9 ± 7,7	6,3 ± 5,7	0,02
Liczba aplikacji > 15 s	5,1 ± 4,5	4,2 ± 4,2	0,2
Łączny czas aplikacji (s)	257,4 ± 232,5	234,8 ± 191,9	0,512

Skuteczność okołozabiegowa była porównywalna zarówno dla zabiegów ablacji wykonywanych w okresie początkowym, jak i końcowym metodą fluoroskopii (90,7% vs 87%, *p* = 0,4) oraz metodą bezfluoroskopową (90% vs 93,6%, *p* = 0,37).

4.5. Zabiegi ablacji częstoskurczów węzłowych

U 123 pacjentów wykonano zabieg modyfikacji przewodzenia w łączy przedsionkowo-komorowym metodą ablacji RF. Wyjściowe parametry elektrofizjologiczne przedstawiono w tabeli 19.

Tabela 19. Podstawowe parametry elektrofizjologiczne uzyskane w czasie badania elektrofizjologicznego u pacjentów AVNRT

	<i>N</i> ważnych	Średnia ± SD	Minimum	Maksimum
Odstęp PQ	120	130 ± 19	93	192
Zespół QRS	121	85 ± 11	57	129
Odstęp QT	121	349 ± 29	279	436
Odstęp AH	98	69 ± 18	40	136
Odstęp HV	98	37 ± 13	12	94
ERP AVN fast	69	317 ± 59	220	480
ERP AVN slow	50	264 ± 52	170	400
Max „jump”	50	104 ± 59	46	328
ERP AVN retro	106	279 ± 69	200	500
CL s/f AVNRT	104	314 ± 62	200	640
CL f/s AVNRT	5	360 ± 85	254	490

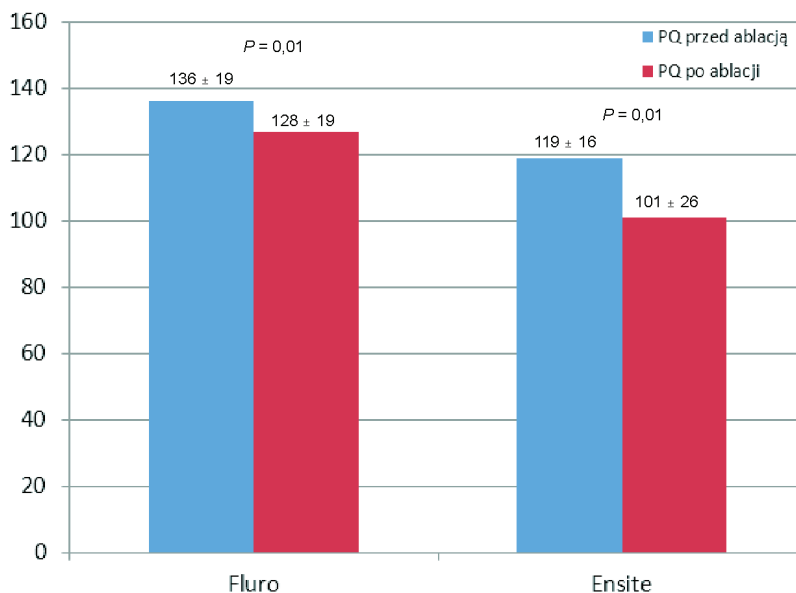
Zabieg ablacji nie wiązał się z wydłużeniem odcinka PQ mierzonego na początku badania i po zakończeniu ablacji. Zawrówno średni cykl rytmu zatokowego, jak i czas PQ uległy skróceniu po zabiegu (odpowiednio z 726 ± 146 ms do 680 ± 123 ms, $p < 0,001$ i z 131 ± 20 do 118 ± 27 ms, $p < 0,001$). Po zabiegu ablacji RF przewodzenie jednotorowe w łączy przedsionkowo-komorowym stwierdzono u 96, a dwutorowe u 17 pacjentów. Typowy „skok” przewodzenia (> 50 ms) stwierdzono u 10 pacjentów, a pobudzenie typu „echo” w łączy przedsionkowo-komorowym u 18.

4.5.1. Wpływ rodzaju techniki zabiegu na odstęp PQ

W obu grupach zaobserwowano skrócenie czasu PQ po ablacji w stosunku do wartości wyjściowych (ryc. 9). Nie obserwowano, aby technika bezfluoroskopowa miała niekorzystny wpływ na odstęp PQ. W grupie fluoroskopowej cykl rytmu zatokowego przed ablacją wynosił 728 ± 185 ms i skrócił się do 691 ± 149 ms ($p = 0,13$). Natomiast bardziej znaczące było skrócenie cyklu w grupie EnSite™ z 716 ± 133 ms przed ablacją do 666 ± 108 ms po ablacji ($p = 0,003$).

Zabieg ablacji RF był skuteczny u 119/123 pacjentów (96,7%). U 3 pacjentów był nieskuteczny, u 1 pacjenta po ablacji nadal indukowano 2-3 „echa” w łączy, co było uznane

za zabieg nieskuteczny (w dalszej ocenie klinicznej u tej pacjentki nie obserwowano nawrotów arytmii).

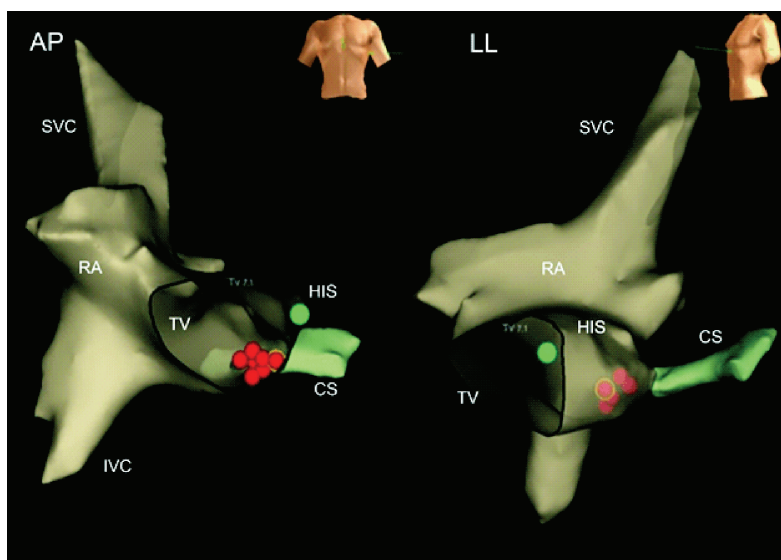


Ryc. 9. Wpływ zabiegu ablacji RF na odstęp PQ w grupie fluoroskopii i EnSite™. Zabieg ablacji w żadnej grupie nie wiązał się z wydłużeniem czasu PQ. Większe skrócenie czasu PQ ($18,7 \pm 28$ ms vs $8,1 \pm 18$ ms, $p = 0,1$) choć nieistotne statystycznie, było prawdopodobnie związane z większym skróceniem cyklu rytmu zatokowego (szczegóły w tekście)

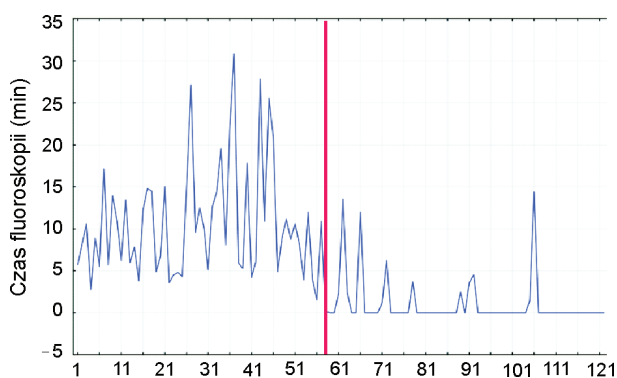
W badanej grupie stwierdzono dwa powikłania: małą odmę bez konieczności drenażu u pacjentki z brakiem ciągłości żyły głównej – zabieg ablacji wykonano wykorzystując dwa nakłucia z kąta żylnego oraz 1 tętniak rzekomy tętnicy udowej leczony zachowawczo.

Zastosowanie systemu EnSite™ w ablacji częstoskurczów węzłowych znacznie skróciło czas fluoroskopii oraz zmniejszyło dawkę promieniowania bez wydłużenia czasu trwania zabiegu (tabela 20). Przykład zastosowania systemu EnSite™ w wykonywaniu bezfluoroskopowego zabiegu ablacji częstoskurczu węzłowego przedstawiono na rycinie 10. U 52 pacjentów (80%) zabieg ablacji był wykonany przy „0” fluoroskopii (ryc. 11). Krótką fluoroskopię zastosowano u 13 pacjentów: u 3 przy wprowadzaniu elektrody do zatoki wieńcowej, u 2 do weryfikacji położenia elektrody ablacyjnej, u 1 pacjenta stwierdzono brak ciągłości żyły głównej dolnej i konieczna była angiografia do potwierdzenia diagnozy. W pozostałych przypadkach nie odnotowano przyczyny zastosowania fluoroskopii.

W czasie FU trwającym średnio $2,8 \pm 2,1$ roku podejrzenie bądź udokumentowany nawrót arytmii stwierdzono u 18 pacjentów: u 10 w grupie RTG i u 8 w grupie EnSite™ (u 8 pacjentów był to udokumentowany nawrót częstoskurczu, u 6 jako prawdopodobny



Ryc. 10. Zabieg ablacji typowego s/f AVNRT z zastosowaniem Esnite. Przed ablacją wykonywana jest szczegółowa trójwymiarowa rekonstrukcja prawego przedsionka, zatoki wieńcowej oraz pierścienia zastawki trójdzielnej. Zaznaczone jest położenie p. Hisa. Aplikacja RF była wykonana metodą pulsacyjną w miejscu potencjału drogi wolnej przy ujściu zatoki wieńcowej (zaznaczono czerwonymi kropkami)



Ryc. 11. Czas fluoroskopii podczas wykonywania kolejnych zabiegów ablacji AVNRT. Czerwoną linią zaznaczono moment wprowadzenia systemu EnSite™ do ablacji

a u 4 oceniono jako mało prawdopodobny). Ostatecznie wykonano badanie elektrofizjologiczne u 7 pacjentów, które wykazało wynik prawidłowy w 3 przypadkach, w 3 indukowano AVNRT, a w jednym stwierdzono inny typ arytmii (utajone WPW). W 4 przypadkach wykonano reablację, u 3 metodą RF i u 1 krioablację. Dalszy przebieg po reablacji – bez nawrotu arytmii.

Tabela 20. Zestawienie parametrów klinicznych oraz zabiegowych u pacjentów, u których wykonano zabieg ablacji RF częstoskurczu węzłowego (AVNRT) z podziałem na grupę fluoroskopową i EnSite™

	Fluoroscopia <i>n</i> = 58	EnSite™ <i>n</i> = 65	<i>p</i>
Wiek (lata)	13,4 ± 3,1	13,1 ± 3,5	0,58096
Wzrost (cm)	162,4 ± 13,6	160,4 ± 18,2	0,539713
Waga (kg)	53,0 ± 17,0	55,6 ± 17,7	0,419589
Czas znieczulenia (min)	82,1 ± 23,1	72,6 ± 28,2	0,043429
Czas zabiegu (min)	58,0 ± 20,4	55,5 ± 30,5	0,600633
Czas fluoroskopii (min)	10,5 ± 6,8	1,0 ± 3,0	0
Dawka pochłonięta (mGy)	37,1 ± 48,3	3,6 ± 9,5	0
DAP (μGy · m ²)	305,6 ± 496,1	22,3 ± 61,4	0
Czas do pierwszej aplikacji (min)	24,7 ± 13,3	20,8 ± 13,2	0,112056
Czas do ostatniej aplikacji (min)	37,4 ± 19,6	34,1 ± 25,1	0,428724
Liczba aplikacji RF	8,9 ± 8,2	8,0 ± 7,9	0,538269
Liczba aplikacji > 15 s	4,5 ± 3,7	4,4 ± 5,2	0,870257
Łączny czas aplikacji (s)	192,0 ± 136,7	178,7 ± 153,7	0,628397

Tabela 21. Porównanie zabiegów ablacji AVNRT z pozostałymi rodzajami zaburzeń rytmu w okresie przed wprowadzenia zabiegów z EnSite™ (zabiegi fluoroskopowe)

	AVNRT	Pozostałe ablacje	<i>p</i>
Wiek (lata)	13,4 ± 3,1	13,0 ± 4,6	0,56
Wzrost (cm)	162,3 ± 17,0	161,2 ± 19,7	0,71
Waga (kg)	52,9 ± 17,0	51,1 ± 17,0	0,51
Czas znieczulenia (min)	82,1 ± 23,1	110,2 ± 41,7	< 0,0001
Czas zabiegu (min)	58,0 ± 20,4	84,4 ± 42,0	< 0,0001
Czas fluoroskopii (min)	10,5 ± 6,8	19,5 ± 13,5	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	37,0 ± 48,3	64,2 ± 100,3	0,052
Czas do pierwszej aplikacji (min)	24,7 ± 13,3	27,9 ± 20,8	0,3
Czas do ostatniej aplikacji (min)	37,4 ± 19,6	56,1 ± 38,1	0,0007
Liczba aplikacji RF	8,9 ± 8,2	9,6 ± 9,3	0,63
Liczba aplikacji > 15 s	4,5 ± 3,7	5,6 ± 6,0	0,19
Łączny czas aplikacji (s)	192,0 ± 136,7	304,0 ± 299,8	0,009

4.5.2. Porównanie zabiegów ablacji AVNRT z innymi zaburzeniami rytmu

Zabiegi ablacji RF częstoskurczów węzłowych zarówno przed, jak i po wprowadzeniu systemu elektroanatomicznego do rutynowych zabiegów charakteryzowały się krótszym

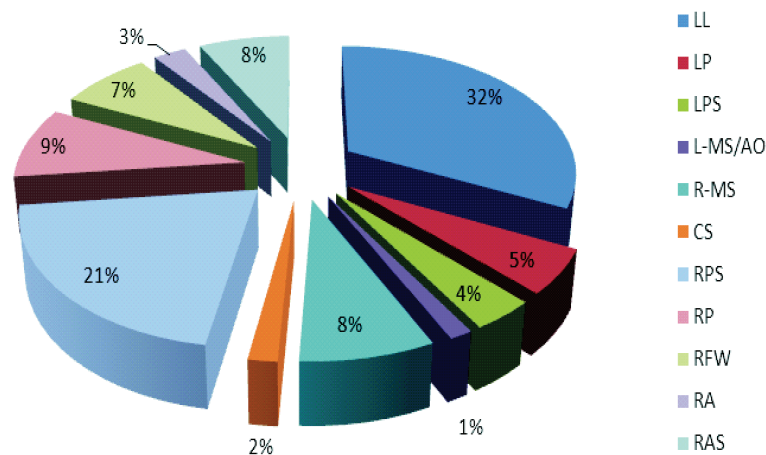
czasem znieczulenia, czasem zabiegu oraz znacznie niższymi parametrami rentgenowskimi niż ablacje pozostałych zaburzeń rytmu (tabela 21). Po wprowadzeniu systemu EnSite™ zabiegi ablacji AVNRT nadal charakteryzowały się istotnie krótszymi czasami znieczulenia i ablacji. Szczególnie istotnej redukcji uległy parametry radiologiczne, co przedstawiono w tabeli 22.

Tabela 22. Porównanie zabiegów ablacji AVNRT z pozostałymi rodzajami zaburzeń rytmu w okresie po wprowadzeniu zabiegów z EnSite™ (zabiegi bezfluoroskopowe)

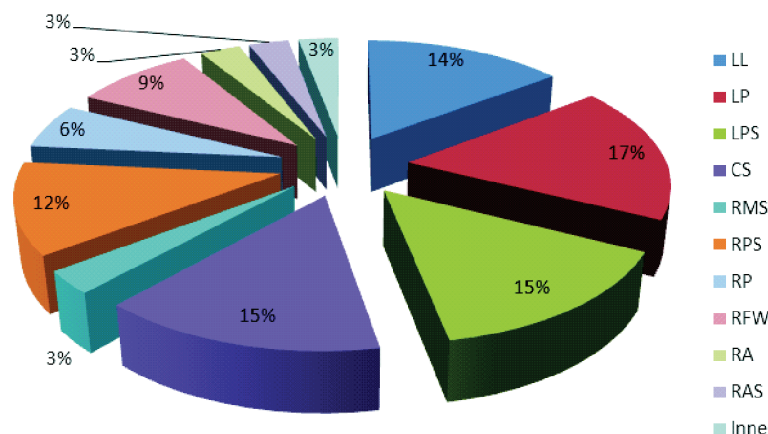
	AVNRT	Pozostałe ablacje	<i>p</i>
Wiek (lata)	13,1 ± 3,5	12,3 ± 4,0	0,15
Wzrost (cm)	160,4 ± 18,1	152,6 ± 25,7	0,04
Waga (kg)	55,5 ± 17,7	52,9 ± 25,7	0,4
Czas znieczulenia (min)	72,6 ± 28,2	94,4 ± 42,0	0,0001
Czas zabiegu (min)	55,5 ± 30,6	81,0 ± 39,3	< 0,0001
Czas fluoroskopii (min)	1,04 ± 3,0	4,5 ± 8,2	0,001
Dawka pochłonięta (mGy)	3,6 ± 9,5	15,3 ± 31,2	0,003
Czas do pierwszej aplikacji (min)	20,8 ± 13,1	25,7 ± 19,3	0,06
Czas do ostatniej aplikacji (min)	34,1 ± 25,1	53,0 ± 38,6	0,0002
Liczba aplikacji RF	8,0 ± 7,9	8,2 ± 7,6	0,8
Liczba aplikacji > 15 s	4,3 ± 5,2	5,5 ± 5,2	0,1
Łączny czas aplikacji (s)	178 ± 154	309 ± 303	0,001

4.6. Zaburzenia rytmu zależne od drogi dodatkowej

Wykonano 300 zabiegów ablacji dróg dodatkowych (średni wiek pacjentów wynosił 12,4 ± 4,1 lat). W 170 przypadkach były to drogi dodatkowe przewodzące dwukierunkowo, w 93 drogi przewodzące wstecznie oraz w 31 przypadkach drogi przewodzące wyłącznie w kierunku zstępującym, w pozostałych przypadkach były to drogi o nieokreślonym przebiegu lub pęczkowo-komorowe. W 26 przypadkach w czasie zabiegu stwierdzono liczne drogi dodatkowe. W 50 przypadkach zastosowano metodę krioablacji, w pozostałych użyto metodę RF. U 14 pacjentów zastosowano technikę krioablacji i ablacji RF w czasie jednego zabiegu. Po wyłączeniu z analizy pacjentów z istotnymi wadami wrodzonymi zabieg ablacji RF wykonano ostatecznie u 244 pacjentów, z czego u 2 odstąpiono od zabiegu po szczegółowym mapowaniu z powodu stwierdzenia nieistotnej elektrofizjologicznie drogi pęczkowo-komorowej. Lokalizację dróg dodatkowych przedstawiono na rycinie 12 i 13. W 118 przypadkach wykonano zabieg z zastosowaniem wyłącznie fluoroskopii, a w 126 z zastosowaniem systemu EnSite™. Pacjenci, u których wykonano zabieg z zastosowaniem EnSite™, byli młodsi (11,8 ± 4,2 vs 13,0 ± 4,1, *p* = 0,02) oraz mieli niższe BSA (1,44 ± 0,37 vs 1,55 ± 0,31, *p* = 0,04).



Ryc. 12. Lokalizacja pierwszej drogi dodatkowej w badanej grupie. Przeważają drogi dodatkowe zlokalizowane w okolicy lewobocznej (32%) oraz prawostronnej tylnoprzegrodowej (21%). LL – lewostronna boczna, LP – lewostronna tylna, LPS – lewostronna tylnoprzegrodowa, L-MS/Ao – lewostronna midseptalna/aortalna, R-MS – prawostronna przegrodowa, CS – zatoka wieńcowa, RPS – prawostronna tylnoprzegrodowa, RP – prawostronna tylna, RFW – prawostronna boczna, RA – prawostronna przednia, RAS – prawostronna przednioprzegrodowa



Ryc. 13. Lokalizacja kolejnej (drugiej i trzeciej) drogi dodatkowej w badanej grupie. LL – lewostronna boczna, LP – lewostronna tylna, LPS – lewostronna tylnoprzegrodowa, L-MS/Ao – lewostronna midseptalna/aortalna, R-MS – prawostronna przegrodowa, CS – zatoka wieńcowa, RPS – prawostronna tylnoprzegrodowa, RP – prawostronna tylna, RFW – prawostronna boczna, RA – prawostronna przednia, RAS – prawostronna przednioprzegrodowa

4.6.1. Porównanie zabiegu ablacji dróg dodatkowych techniką fluoroskopową i z zastosowaniem EnSite™

Zastosowanie systemu elektroanatomicznego EnSite™ wiązało się z istotnym skróceniem czasu znieczulenia ogólnego ($89,1 \pm 33,5$ vs $102,3 \pm 34,2$ minut, $p = 0,003$) oraz parametrów radiologicznych (czasu fluoroskopii i dawki promieniowania). Pozostałe para-

metry, takie jak: czas zabiegu, czas do pierwszej i ostatniej aplikacji oraz liczba i długość aplikacji nie różniły się istotnie. Szczegółowe dane przedstawiono w tabeli 23.

Całkowicie bezfluoroskopowy zabieg ablacji drogi dodatkowej wykonano u 53 pacjentów (42%). Po wliczeniu pacjentów, u których wykonano również zabieg krioablacji ($n = 50$, ablacja drogi najczęściej o prawostronnej lokalizacji), bezfluoroskopowy zabieg wykonano u 46,7% pacjentów z drogą dodatkową. Na uzyskanie zabiegu z „0” fluoroskopią, istotne znaczenie miała lokalizacja drogi dodatkowej. U pacjentów z lewostronną drogą dodatkową zabieg z „0” fluoroskopią wykonano tylko u 7 (11%), natomiast przy prawostronnym położeniu drogi u 45 (76%) ($p < 0,0001$).

Tabela 23. Porównanie danych zabiegowych i ablacji RF wszystkich dróg dodatkowych wykonanych z zastosowaniem fluoroskopii oraz systemu EnSite™

	Fluoroscopia $n = 118$	EnSite™ $n = 126$	p
Czas fluoroskopii (min)	17,2 ± 11,3	3,7 ± 7,0	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	60,2 ± 106	15,5 ± 34,1	< 0,0001
DAP ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$)	417,2 ± 470,7	117,0 ± 271,0	< 0,0001
Czas do pierwszej aplikacji (min)	25,2 ± 18,7	23,1 ± 13,7	0,3
Czas do ostatniej aplikacji (min)	49,5 ± 31,9	47,1 ± 33,3	0,6
Liczba aplikacji	9,4 ± 8,9	8,2 ± 8,8	0,3
Liczba aplikacji > 15 s	5,2 ± 5,3	5,2 ± 5,3	0,9
Łączny czas aplikacji (s)	274,4 ± 248,7	281,1 ± 298,8	0,8

4.6.2. Zabieg ablacji dróg dodatkowych o prawostronnej lokalizacji

W 168 przypadkach wykonano zabieg ablacji drogi dodatkowej prawostronnej. W tej grupie wykonano zabieg ablacji RF u 123 pacjentów, metodą krioablacji u 38, a u 7 zastosowano obie techniki. Do analizy włączono pacjentów, u których wykonano zabieg ablacji metodą RF. Ocena krioablacji została przedstawiona w odpowiednim rozdziale.

Zastosowanie systemu EnSite™ bardzo znacznie ograniczyło w tej grupie czas fluoroskopii oraz dawkę promieniowania, nie wpływając istotnie na parametry zabiegowe i ablacyjne (tabela 24).

4.6.3. Zabieg ablacji dróg dodatkowych o lewostronnej lokalizacji

Drogi o lewostronnej lokalizacji ($n = 125$, tj. 43%) występowały rzadziej niż drogi o lokalizacji prawostronnej. Zastosowanie systemu elektroanatomicznego do zabiegu ablacji wiązało się z krótszym czasem znieczulenia oraz istotnie zmniejszoną ekspozycją na promieniowanie radiologiczne. Nie zaobserwowano istotnych różnic pod względem pozostałych parametrów (szczegółowe porównanie obu podgrup przedstawiono w tabeli 25).

Tabela 24. Porównanie danych zabiegowych i ablacji RF dróg dodatkowych o prawostronnej lokalizacji wykonanych z zastosowaniem fluoroskopii oraz systemu EnSite™

	Fluoroscopia <i>n</i> = 63	EnSite™ <i>n</i> = 60	<i>p</i>
Wiek (lata)	12,5 ± 4,4	11,9 ± 4,4	0,5
Czas znieczulenia (min)	104,5 ± 39,3	99,5 ± 35,2	0,43597
Czas zabiegu (min)	76,2 ± 38,1	72,1 ± 40,4	0,50494
Czas fluoroskopii (min)	17,1 ± 11,1	2,5 ± 6,5	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	55,2 ± 62,1	9,4 ± 26,5	< 0,0001
DAP (μGy · m²)	372,3 ± 440,3	56,8 ± 146,2	< 0,0001
Czas do pierwszej aplikacji (min)	22,0 ± 17,3	20,2 ± 13,5	0,5
Czas do ostatniej aplikacji (min)	50,7 ± 34,6	49,8 ± 37,2	0,9
Całkowita liczba aplikacji	11,0 ± 9,4	9,2 ± 8,4	0,3
Liczba aplikacji > 15 sekund	6,4 ± 6,6	6,5 ± 6,8	0,9
Sumaryczny czas aplikacji (s)	326 ± 307	359 ± 379	0,6

Tabela 25. Porównanie danych zabiegowych i ablacji RF dróg dodatkowych o lewostronnej lokalizacji wykonanych z zastosowaniem fluoroskopii oraz systemu EnSite™

	Fluoroscopia <i>n</i> = 59	EnSite™ <i>n</i> = 66	<i>p</i>
Wiek (lata)	13,6 ± 3,7	11,7 ± 4,1	0,008
Czas znieczulenia (min)	100,5 ± 25,9	88,5 ± 31,2	0,02412
Czas zabiegu (min)	69,1 ± 30,1	63,8,6 ± 24,8	0,2952
Czas fluoroskopii (min)	17,3 ± 11,6	5,3 ± 7,1	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	65,5 ± 138,4	21,4 ± 39,5	0,01
DAP (μGy · m²)	464,5 ± 500,1	174,2 ± 342,1	< 0,0001
Czas do pierwszej aplikacji (min)	28,6 ± 19,6	25,7 ± 13,5	0,3
Czas do ostatniej aplikacji (min)	48,1 ± 28,8	44,5 ± 29,2	0,5
Całkowita liczba aplikacji	7,8 ± 8,1	7,2 ± 8,2	0,7
Liczba aplikacji > 15 sekund	4,0 ± 3,2	3,8 ± 3,2	0,8
Sumaryczny czas aplikacji (s)	219,7 ± 151,5	206,0 ± 161,5	0,6

4.6.4. Różnice pomiędzy zabiegami ablacji dróg dodatkowych o prawostronnej i lewostronnej lokalizacji

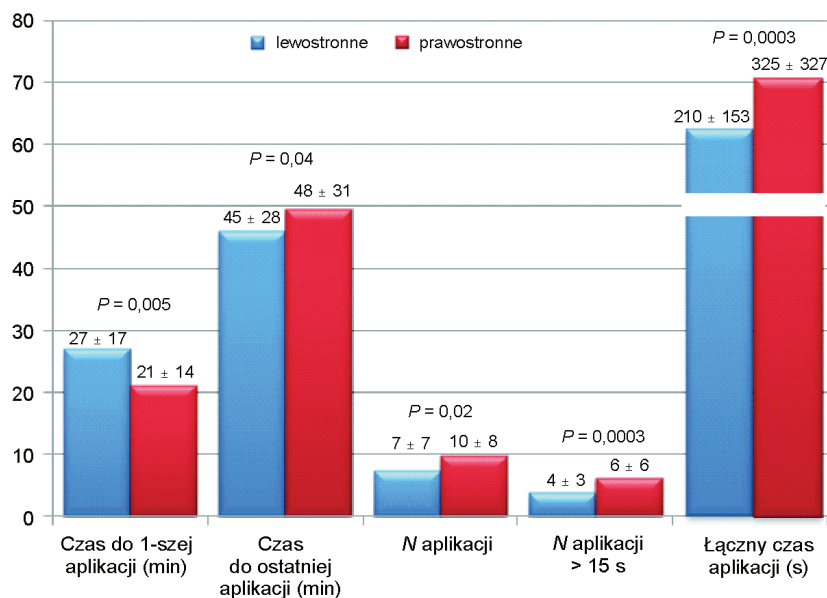
Nie stwierdzono istotnych różnic demograficznych i zabiegowych pomiędzy grupami ablacji dróg o lokalizacji lewo- i prawostronnej (tabela 26). Natomiast stwierdzono istotne różnice pomiędzy parametrami oceniającymi efektywność zabiegu ablacji. W przypadku ablacji dróg prawostronnych, pierwsza aplikacja była wykonywana istotnie prędzej, ale

liczba wszystkich aplikacji i aplikacji terapeutycznych (> 15 sekund), a także łączny czas aplikacji były istotnie dłuższe niż w przypadku ablacji dróg lewostronnych (ryc. 14).

Różnice podobne jak dla całej grupy zabiegów ablacji dróg dodatkowych, stwierdzono również dla zabiegów wykonywanych z zastosowaniem EnSite™. Ablacja dróg prawostronnych wiązała się z krótszym czasem fluoroskopii oraz mniejszą dawką promieniowania (odpowiednio $2,4 \pm 6,4$ minuty vs $4,9 \pm 6,5$ minuty, $p = 0,03$ oraz $152,6 \pm 297,2$ mGy vs $55,4 \pm 147,0$ mGy $p = 0,02$) oraz krótszym czasem do pierwszej aplikacji ($20,3 \pm 13,6$ minut vs $25,8 \pm 113,9$ minut, $p = 0,03$). Zabieg ablacji dróg lewostronnych był wykonywany z mniejszą liczbą aplikacji RF i z krótszym sumarycznym czasem RF (odpowiednio $3,7 \pm 3,3$ vs $6,3 \pm 6,5$ $p = 0,006$ oraz $200,0 \pm 154$ sekund vs $350,7 \pm 375,4$ sekund, $p = 0,004$).

Tabela 26. Dane demograficzne i zabiegowe zabiegów ablacji dróg prawostronnych i lewostronnych

	Drogi lewostronne	Drogi prawostronne	<i>p</i>
Wiek (lata)	$12,6 \pm 4,0$	$12,2 \pm 4,4$	0,5
BSA	$1,5 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,4$	0,9
Czas zabiegu (min)	$66,3 \pm 27,5$	$74,2 \pm 33,4$	0,0481
Czas znieczulenia (min)	$94,2 \pm 29,3$	$102,0 \pm 35,0$	0,0610
Czas fluoroskopii (min)	$11,0 \pm 11,2$	$10,0 \pm 11,8$	0,5
Dawka pochłonięta (mGy)	$42,2 \pm 101,3$	$32,7 \pm 53,1$	0,4



Ryc. 14. Graficzne przedstawienie wybranych parametrów z zabiegów ablacji lewostronnych i prawostronnych

4.6.5. Skuteczność zabiegu ablacji dróg dodatkowych z zastosowaniem fluoroskopii i systemu elektroanatomicznego (EnSite™)

Zabieg ablacji wykonano w 244 przypadkach. Od zabiegu ablacji odstąpiono dwukrotnie z powodu stwierdzenia nieistotnych elektrofizjologicznie dróg pęczkowo-komorowych. Skuteczny wynik ablacji uzyskano w 222 przypadkach (skuteczność 92%). Zabieg nieskuteczny był w 11 przypadkach, w 1 przejściowo skuteczny (przejściowe ustąpienie preekscytacji i jej nawrót) oraz częściowo skuteczny (modyfikacja przewodzenia drogą dodatkową) w 11 przypadkach (tabela 27). Nie stwierdzono istotnych różnic pod względem skuteczności zabiegu pomiędzy grupą zabiegów fluoroskopowych i z zastosowaniem EnSite™ ($p = 0,3$).

Tabela 27. Około zabiegowa skuteczność ablacji RF dróg dodatkowych

	Efekt zabiegu ablacji RF			
	skuteczny	przejściowo skuteczny	częściowo skuteczny	nieskuteczny
Zabieg fluoroskopowy	106 (89%)	0	7	5
Zabieg z zastosowaniem EnSite™	116 (94%)	1	3	4
	92%	8%		

W czasie monitorowania po zabiegu stwierdzono przejściowy nawrót arytmii (pojawienie się preekscytacji lub klinicznego częstoskurczu) w 5 przypadkach, natomiast pewny jej nawrót w 28 przypadkach, tak że ostateczna skuteczność zabiegu w dniu wypisu wynosiła 86%. Ponownie nie stwierdzono, aby sposób wykonywania zabiegu miał znaczenie przy nawrocie przewodzenia drogą dodatkową (tabela 28).

Tabela 28. Skuteczność ablacji drogi dodatkowej oceniana w dniu wypisu ze szpitala

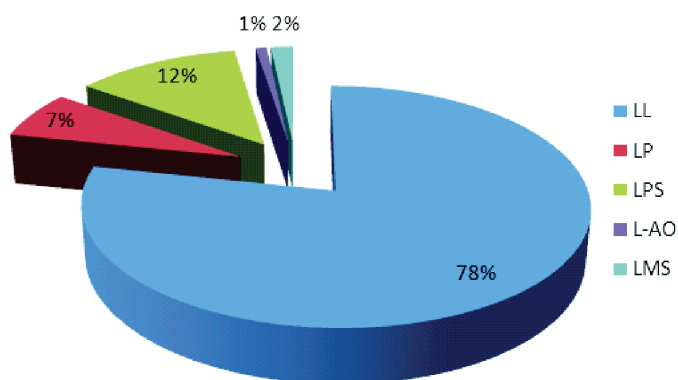
	Efekt zabiegu ablacji RF		
	bez arytmii	przejściowy nawrót arytmii	pewny nawrót arytmii
Zabieg fluoroskopowy	102 (86%)	1	15
Zabieg z zastosowaniem EnSite™	109 (86%)	4	13
	86%	14%	

4.6.6. Zabiegi ablacji dróg lewostronnych z dostępu transaortalnego i transseptalnego przy zastosowaniu techniki fluoroskopowej i systemu elektroanatomicznego EnSite™

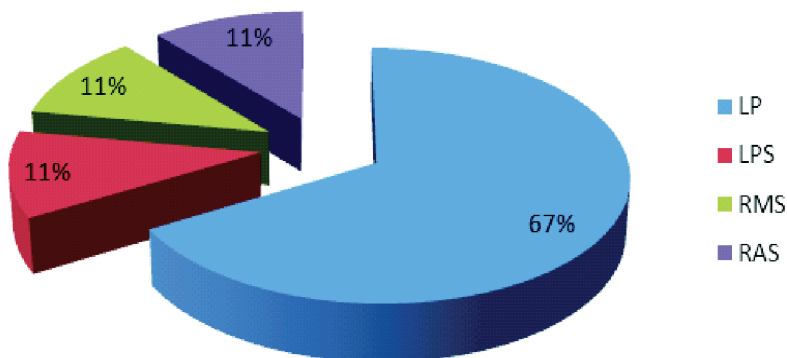
Poszukiwanie drogi dodatkowej przed wykonaniem zabiegu ablacji w części przypadków wymagało oceny potencjałów zarówno od strony lewej, jak i prawej. Technika trans-

septalną lub transaortalną zastosowano do mapowania dróg o lokalizacji tylnoprzegrodowej w 16 przypadkach, mimo iż najczęściej skuteczne aplikacje były wykonywane od strony prawej lub przez zatokę wieńcową i od strony lewej. Tych pacjentów nie włączono do analizy, gdyż trudno jednoznacznie było zakwalifikować tych pacjentów do grupy dróg lewostronnych.

Pacjentów z lewostronną drogą dodatkową, u których wykonano zabieg ablacji od strony lewej, podzielono na 4 podgrupy w zależności od zastosowanej techniki zabiegu (fluoroskopowy i z zastosowaniem systemu EnSite™) oraz w zależności od tego, czy zabieg wykonano techniką tansseptalną czy transaortalną. W analizowanej grupie było 115 pacjentów wyłącznie z pojedynczą drogą dodatkową oraz 12 pacjentów z kolejną drogą dodatkową. Rozkład lokalizacji dróg dodatkowych przedstawiono na rycinie 15 i 16.



Ryc. 15. Lokalizacja głównych dodatkowych dróg lewostronnych poddawanych ablacji (dwukierunkowych, przewodzących w kierunku zstępującym i wstecznym) w analizowanej grupie



Ryc. 16. Lokalizacja kolejnych dróg dodatkowych towarzyszących drogom lewostronnym poddawanych ablacji w pierwszej kolejności (dwukierunkowych, przewodzących w kierunku zstępującym i wstecznym) w analizowanej grupie

W czasie 6 lat doszło do zmiany strategii wykonywania zabiegów ablacji lewostronnych dróg dodatkowych. W dużym stopniu wiązało się to z wprowadzeniem techniki elektro-

anatomicznej, a także z obserwacją, że po nakłuciu tętnicy wydłużony był czas do uzyskania hemostazy. Zakładany opatrunek uciskowy był źle tolerowany i powodował często liczne skargi na bolesność miejsca wkłucia pomimo stosowania leków przeciwbólowych. Ból miejsca nakłucia również był zgłaszany w kolejnych dniach, jakkolwiek są to tylko dane obserwacyjne, a nie zbierane systematycznie i poddane analizie statystycznej. Do czasu wprowadzenia EnSite™ wykonywano zabiegi głównie drogą transaortalną (74%). Od czasu wprowadzenia systemu EnSite™ tylko 28% zabiegów było wykonywanych techniką transaortalną. W tym czasie istotnie zmniejszył się średni wiek pacjentów oraz waga ciała w podgrupie zabiegów transseptalnych (tabela 29).

Tabela 29. Porównanie 4 sposobów wykonywania zabiegów ablacji dróg lewostronnych

	Ao-RTG	TS-RTG	Ao-EnSite™	TS-EnSite™	<i>p</i>
<i>n</i>	38	20	18	48	
Wiek (lata)	14,5 ± 5,3	12,9 ± 3,4	12,2 ± 3,9	11,3 ± 4,1	0,03
Waga (kg)	51,7 ± 14,6	53,7 ± 13,0	54,8 ± 18,1	45,5 ± 15,5	0,08
Dane zabiegowe					
Czas zabiegu (min)	70,1 ± 32,5	71,0 ± 25,4	83,7 ± 35,1	61,5 ± 24,9	0,067
Czas znieczulenia (min)	106,1 ± 27,9	96,2 ± 22,7	105,6 ± 48,0	87,6 ± 28,9	0,004
Czas fluoroskopii (min)	17,6 ± 11,1	18,2 ± 13,5	8,5 ± 8,7	4,1 ± 6,1	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	71,1 ± 169,7	57,5 ± 46,6	38,6 ± 58,5	15,7 ± 28,5	< 0,0001
DAP (μGy · m²)	460,5 ± 597,4	484,7 ± 360,3	306,3 ± 517,4	133,1 ± 244,4	< 0,0001
Czas do pierwszej aplikacji (min)	32,1 ± 22,4	23,3 ± 11,4	27,9 ± 12,5	24,7 ± 13,9	0,15
Czas do ostatniej aplikacji (min)	53,3 ± 29,0	41,8 ± 28,1	58,4 ± 35,4	40,0 ± 25,7	0,034
Liczba aplikacji	8,2 ± 6,5	7,2 ± 10,5	10,0 ± 8,2	6,1 ± 8,0	0,07
Liczba aplikacji > 15 sekund	4,2 ± 3,1	3,7 ± 3,5	4,5 ± 3,6	3,6 ± 3,4	0,62
Łączny czas aplikacji (s)	224,7 ± 149,1	220,5 ± 164,6	250,4 ± 201,0	190,0 ± 149,6	0,66

U 74 pacjentów z podejrzeniem lewostronnej drogi dodatkowej wykonano nakłucie transseptalne celem wykonania mapowania. Zabieg nakłucia transseptalnego w 1 przypadku był nieskuteczny i zabieg był kontynuowany techniką transaortalną, w 2 przypadkach

nakłucie transseptalne wykonane było pod kontrolą echokardiografii przezprzełykowej z powodu trudności z wprowadzeniem cewnika transseptalnego po wcześniejszym nakłuciu przegrody międzyprzedsionkowej, w 2 przypadkach doszło do nakłucia tylnej ściany przedsionka igłą transseptalną, bez dalszych konsekwencji i bez konieczności przerwania zabiegu. Nie obserwowano innych powikłań kardiologicznych, naczyniowych i neurologicznych techniki transseptalnej.

Zabiegi ablacji wykonywane techniką transseptalną z zastosowaniem EnSite™ charakteryzowały się najkrótszym czasem zabiegu ($61,5 \pm 24,9$ minut), bardzo krótkim czasem fluoroskopii ($3,6 \pm 3,4$ minut), a także niską dawką promieniowania ($15,7 \pm 28,5$ mGy). Technika transseptalna również wiązała się z istotnie mniejszą liczbą aplikacji i krótszym łącznym czasem aplikacji i to zarówno w przypadku metody fluoroskopowej, jak i z zastosowaniem EnSite™ (tabela 30). Krótszy czas zabiegu oraz mniejsza liczba aplikacji RF nie wpłynęła na skuteczność zabiegu ablacji.

Tabela 30. Porównanie dostępu transaortalnego z transseptalnym u pacjentów z lewostronną drogą dodatkową

	Dostęp transaortalny	Dostęp transseptalny	<i>p</i>
<i>n</i>	62	65	
Wiek (lata)	$13,6 \pm 4,9$	$11,9 \pm 4,0$	0,03
Waga (kg)	$52,1 \pm 15,3$	$48,6 \pm 16,0$	0,21
Czas zabiegu (min)	$77,0 \pm 33,6$	$60,9 \pm 22,9$	< 0,002
Czas znieczulenia (min)	$105,9 \pm 36,8$	$88,7 \pm 23,9$	0,002
Czas fluoroskopii (min)	$16,0 \pm 12,8$	$6,6 \pm 7,4$	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	$62,4 \pm 138,1$	$24,4 \pm 12,0$	0,03
DAP ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$)	$427,7 \pm 544,5$	$210,4 \pm 290$	0,005
Czas do pierwszej aplikacji (min)	$30,5 \pm 19,2$	$24,0 \pm 13,0$	0,029
Czas do ostatniej aplikacji (min)	$57,7 \pm 31,4$	$37,0 \pm 23,1$	< 0,0001
Liczba aplikacji	$9,7 \pm 8,8$	$5,5 \pm 6,9$	0,003
Liczba aplikacji > 15 sekund	$4,6 \pm 3,5$	$3,3 \pm 3,1$	0,036
Łączny czas aplikacji (s)	$247,0 \pm 174,1$	$183,7 \pm 132,8$	0,026

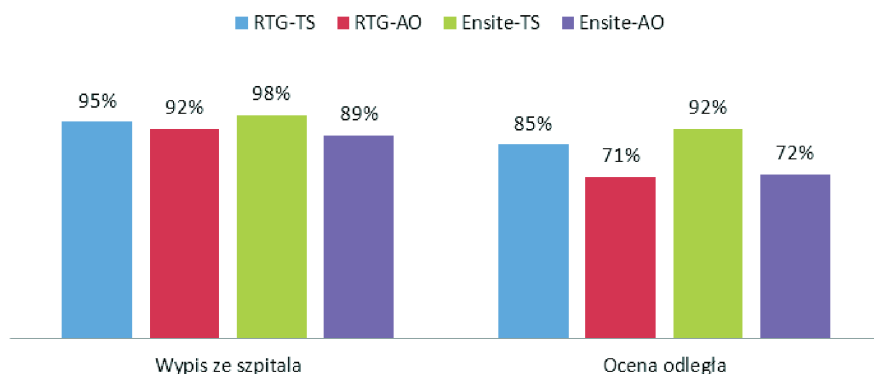
W badanej grupie było 9 pacjentów z wagą ciała poniżej 25 kg. W okresie stosowania fluoroskopii wykonano tylko 1 zabieg drogą transaortalną. W okresie stosowania EnSite™ u 2 wykonano zabieg techniką transaortalną, a u 6 techniką transseptalną. Nakłucie transseptalne w 1 przypadku wymagało wykonania echokardiografii przezprzełykowej ze względu na twardą przegrodę międzyprzedsionkową i trudności z wprowadzeniem koszulki po

skutecznym nakłuciu przegrody. U żadnego pacjenta z niską wagą ciała nie obserwowano powikłań wynikających z zabiegu ablacji. U wszystkich dzieci zabieg był skuteczny (100%). U jednego dziecka z drogą dodatkową lewostronną boczną przewodzącą wstecznie stwierdzono nawrót arytmii po zabiegu w szpitalu (częstoskurcz przedsionkowo-komorowy). Powtórzono badanie elektrofizjologiczne w czasie pobytu nie stwierdzając nawrotu przewodzenia drogą dodatkową. W okresie dalszej obserwacji u tego dziecka doszło do kolejnych epizodów częstoskurczu i wykonano powtórny zabieg ablacji tej samej drogi dodatkowej. U tego dziecka pierwotny zabieg był wykonany techniką transseptalną pod kontrolą echokardiografii przezprzełykowej (jw.). U kolejnego pacjenta, u którego wykonano zabieg techniką transaortalną również doszło do nawrotu arytmii (droga lewostronna boczna przewodząca dwukierunkowo). U obu pacjentów kolejny zabieg wykonano techniką transaortalną nie obserwując nawrotu w ciągu kilkuletniej obserwacji.

Przeanalizowano również częstość przekroczenia dawki 100 mGy w czasie zabiegu ablacji. W całej grupie pacjentów z lewostronną drogą dodatkową u 11 pacjentów została przekroczona dawka 100 mGy: u 8 pacjentów w grupie fluoroskopowej oraz u 3 w grupie z zastosowaniem EnSite™. W żadnym przypadku nie było to spowodowane koniecznością wykonania ablacji kolejnej drogi dodatkowej ani innej arytmii.

Skuteczność okołozabiegowa ablacji z zastosowaniem fluoroskopii była porównywalna z techniką EnSite™ (92,8% vs 95,5%) ($p = 0,2$). Skuteczność okołozabiegowa dla ablacji z obu dostępów (transaortalnego i transseptalnego) była porównywalna (91% vs 96,7%, $p = 0,15$).

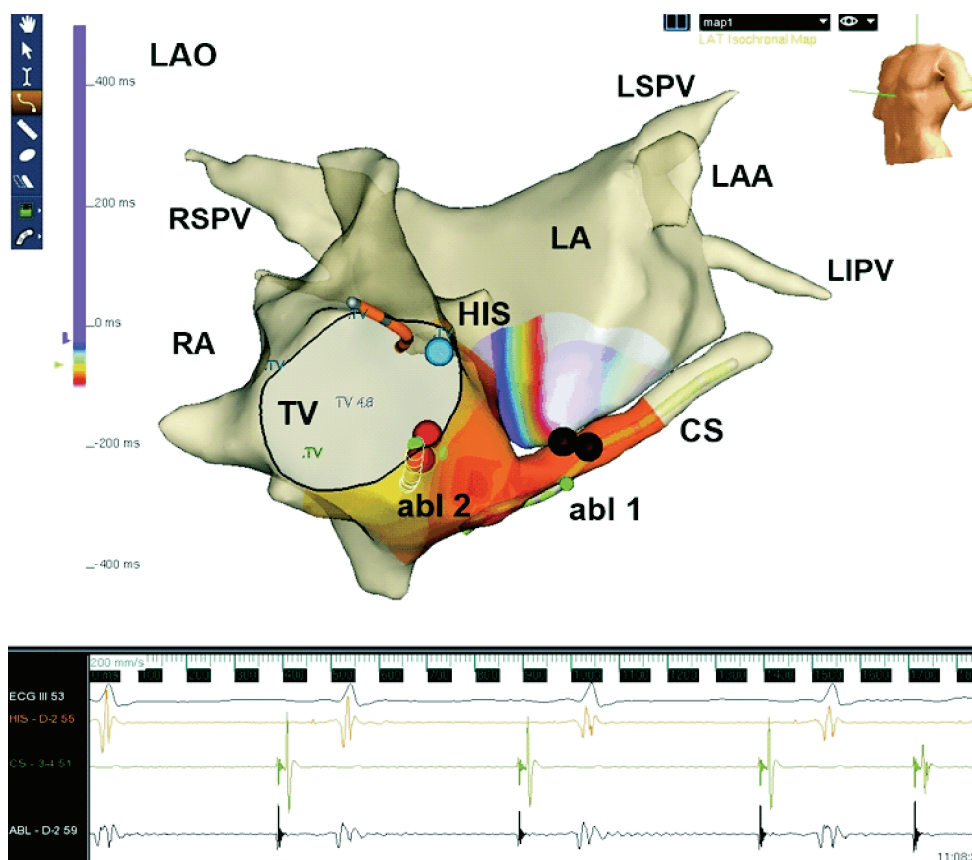
Analiza skuteczności odległej zabiegu dróg lewostronnych wykazała istotnie lepsze wyniki dla zabiegów wykonywanych techniką transseptalną (89,7% vs 71,4%, $p = 0,009$), przy najwyższej skuteczności dla techniki transseptalnej z zastosowaniem EnSite™ (92%) (ryc. 17).



Ryc. 17. Skuteczność okołozabiegowa ablacji RF i odległa dróg dodatkowych z podziałem na technikę dostępu transseptalną i transaortalną oraz metodę wykonywanego zabiegu (fluoroskopowy i EnSite™)

Zabieg ablacji z dowolnego dostępu z zastosowaniem fluoroskopii był skuteczny w 93% i 76% odpowiednio oceniany przy wypisie ze szpitala i w ocenie odległej, natomiast 95% i 86% dla EnSite™ ($p = 0,57$ i $0,13$ odpowiednio).

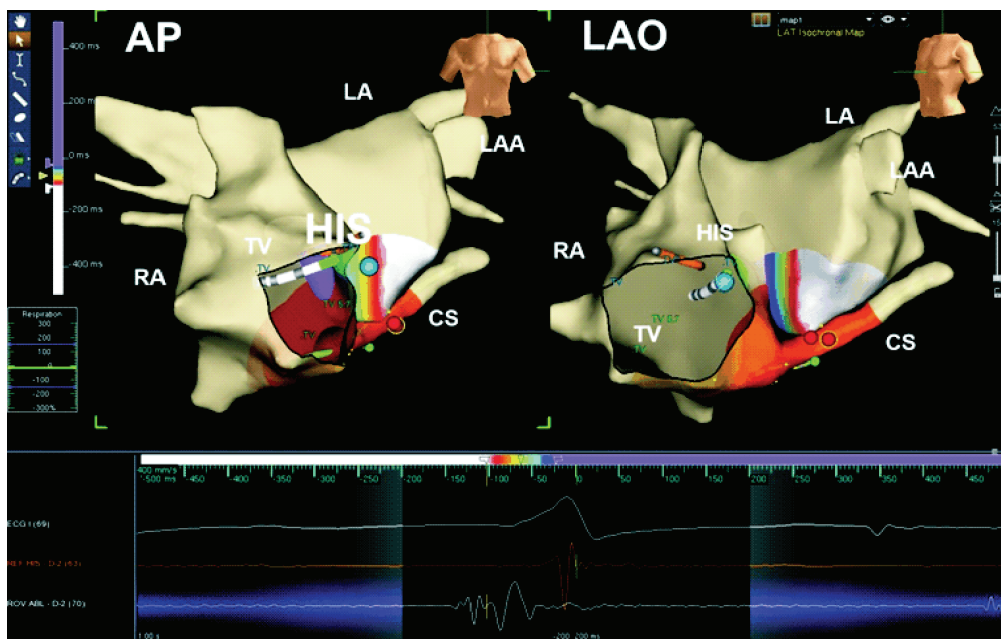
Na rycinach 18, 19 i 20 przedstawiono mapy elektroanatomiczne wykonane w czasie zabiegów ablacji lewostronnych dróg dodatkowych.



Ryc. 18. Zabieg ablacji RF drogi dodatkowej lewostronnej tylnoprzegrodowej techniką transseptalną. Ze względu na brak indukcji AVRT przed ablacją drogi dodatkowej, dość leniwe przewodzenie wsteczne drogą dodatkową oraz nieudokumentowane kołatania serca, podano isoprenalinę, po której indukowano s/f AVNRT. Miejsce najwcześniejszej aktywacji wstecznej zostało zaznaczone kolorystycznie (abl 1) i w tym miejscu wykonano 2 aplikacje RF. Następnie po wykonaniu mapowania okolicy trójkąta Kocha dodatkowe 2 aplikacje RF wykonano przy ujściu zatoki wieńcowej (abl 2). Całkowity czas fluoroskopii wynosił 92 sekundy

4.7. Zabiegi krioablacji arytmii w pobliżu układu bódzoprzewodzącego

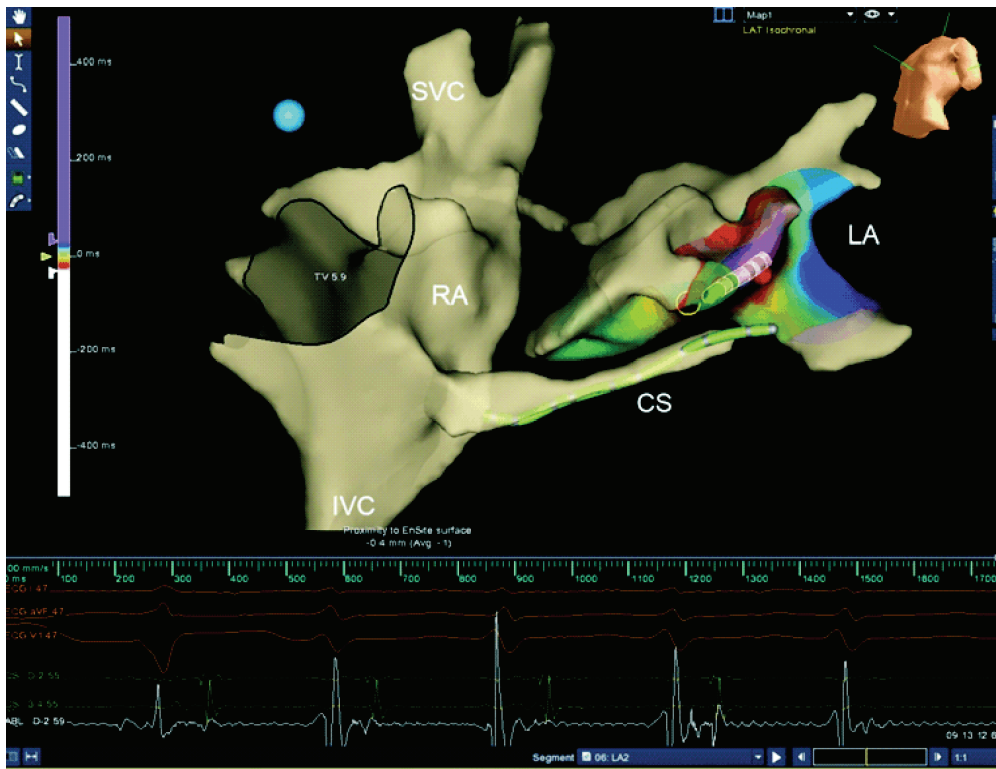
Zabieg krioablacji wykonano u 51 dzieci (średni wiek $13,0 \pm 31$ lat, 25 dziewcząt). Dla większości był to pierwszy zabieg (39), u pozostałych był to zabieg kolejny (u 10 – drugi i u 2 – trzeci zabieg ablacji).



Ryc. 19. Zabieg ablacji utajonego zespołu WPW z obecnością drogi dodatkowej lewostronnej tylnej. Wykonano trójwymiarową rekonstrukcję prawego przedsionka oraz zatoki wieńcowej. Po wykonaniu nakłucia transseptalnego wykonano mapowanie elektroanatomiczne w oparciu o punkt referencyjny ustanowiony w oparciu o przedsionkowy potencjał zapisu z zatoki wieńcowej. Dzięki temu uzyskano precyzyjną lokalizację drogi dodatkowej i wykonano zabieg ablacji ze znacznym ograniczeniem fluoroskopii. Czas fluoroskopii przy nakłuciu transseptalnym 86 sekund

W czasie badania elektrofizjologicznego potwierdzono występowanie typowego s/f AVNRT u 8 pacjentów, u 40 badanych stwierdzono obecność drogi dodatkowej zlokalizowanej w okolicy okołohisowej, a u 2 obecność częstoskurczu przedsionkowego wywodzącego się z okolicy bocznej prawego przedsionka (w pobliżu nerwu przeponowego), a u 1 pacjenta współwystępowanie s/f AVNRT oraz utajonego zespołu WPW z drogą dodatkową midseptalną. Zabieg ablacji s/f AVNRT był wykonywany w przypadku gdy wcześniejsza próba zastosowania ablacji RF wiązała się z ryzykiem wystąpienia bloku przedsionkowo-komorowego.

U 22 pacjentów zabieg krioablacji wykonano z zastosowaniem wyłącznie fluoroskopii, a u 29 z zastosowaniem systemu EnSite™. Zastosowanie fluoroskopii w ostatniej grupie było konieczne u 3 pacjentów, tak więc zabieg z „0” fluoroskopią był wykonany u 89,7% pacjentów. Charakterystyka kliniczna i zabiegowa przedstawiona została w tabeli 31. Szczegółowe dane dotyczące krioablacji przedstawiono w tabeli 32. Zabiegi krioablacji u pacjentów wykonywanych z zastosowaniem systemu EnSite™ wskazywały na nieznacznie większą liczbę aplikacji i dłuższy sumaryczny czas krioaplikacji.



Ryc. 20. Zabieg ablacji drogi dodatkowej przewodzącej wstecznie zlokalizowanej w okolicy lewostronnej bocznej. Mapowanie wykonano w trakcie częstoskurczu, gdyż stimulacja komorowa zarówno z okolicy okołohisowej, jak i koniuszka prawej komory powodowała przewodzenie głównie łączem przedsionkowo-komorowym. Zabieg ablacji wykonano 1 aplikacją 90 sekund

Skuteczność okołozabiegowa krioblacji z zastosowaniem fluoroskopii wynosiła 83%, a przy użyciu EnSite 78,6%. U 7 dzieci konieczna była zmiana techniki na ablację RF w czasie jednej procedury ze względu na nieskuteczność krioblacji. Ablacja RF była skuteczna u 5 pacjentów.

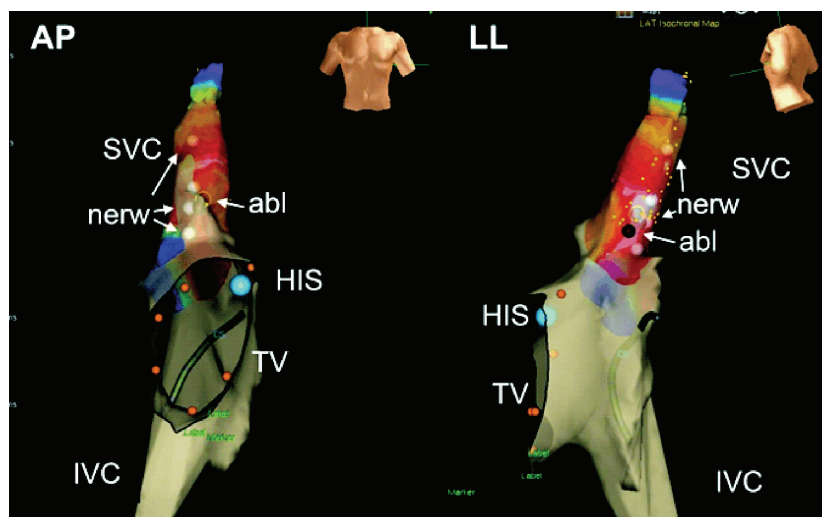
Tabela 31. Zabiegi krioblacji z zastosowaniem fluoroskopii i systemu EnSite™. Dane zabiegowe

	Fluoroscopia <i>n</i> = 22	EnSite™ <i>n</i> = 29	<i>p</i>
Wiek (lata)	12,8 ± 3,0	13,2 ± 3,2	0,6
Czas znieczulenia (min)	131,7 ± 41,8	119,0 ± 33,0	0,2
Czas zabiegu (min)	102,6 ± 40,6	92,5 ± 30,5	0,3
Czas fluoroskopii (min)	17,4 ± 13,3	1,5 ± 3,8	< 0,0001
Dawka pochłonięta (mGy)	50,3 ± 49,8	6,9 ± 18,9	< 0,0001
DAP (μGy · m ²)	307 ± 283	50 ± 132	< 0,0001

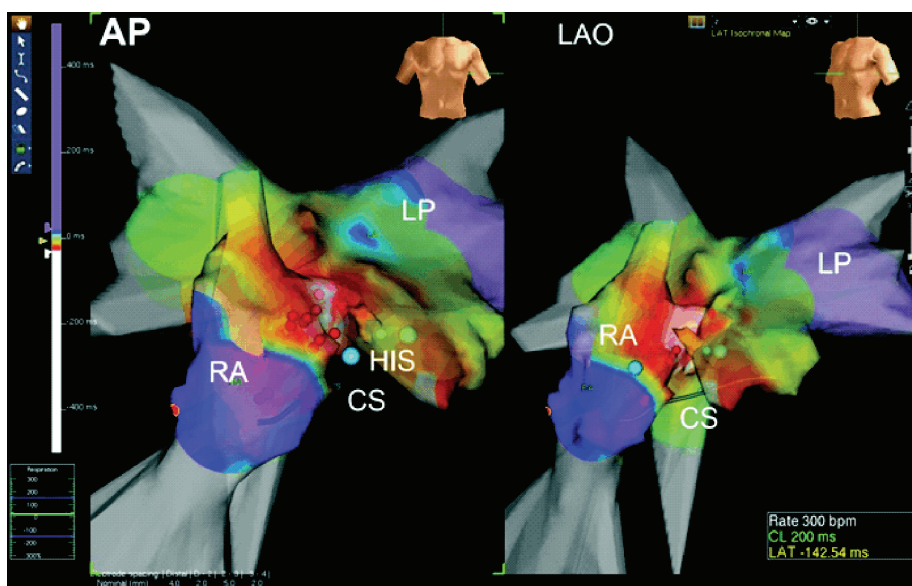
Nieskuteczny zabieg był u pacjentki z drogą dodatkową w okolicy przegrodowej oraz ze znacznym poszerzeniem zatoki wieńcowej na skutek obecności przetrwałej żyły górnej lewej oraz u pacjentki z szeroką drogą zlokalizowaną w okolicy prawostronnej przedniej-bocznej (w czasie RF wielokrotne ustępowanie i nawrót przewodzenia). Po uwzględnieniu zamiany na ablację RF skuteczność wzrosła odpowiednio do 94% i 89%.

Tabela 32. Dane krioablacji u pacjentów poddawanych zabiegowi z zastosowaniem fluoroskopii i systemu EnSite™

Rodzaj arytmii:	Fluoroscopia <i>n</i> = 22	EnSite™ <i>n</i> = 29	<i>p</i>
AVNRT	4	4	0
AP	17	23	
Inne (AT, AVNRT+AP)	1	2	
Liczba aplikacji mapujących (CM)	7,7 ± 8,5	7,7 ± 7,6	1,0
Liczba aplikacji terapeutycznych (CA)	2,2 ± 1,7	3,5 ± 2,6	0,056
Całkowity czas aplikacji (CM+CA) (s)	807 ± 480	988 ± 677	0,3
Czas krioablacji (s)	562 ± 418	881 ± 591	0,04
Skuteczność okołozabiegowa (wyłącznie krioablacja)	83%	79%	0,7



Ryc. 21. Zabieg krioablacji częstoskurczu prawoprzedsionkowego. Punkt wyjścia częstoskurczu znajdował się kilka milimetrów od nerwu przeponowego (nerw). Oznaczenie przebiegu nerwu oraz jego stymulacja w czasie krioaplikacji (abl) umożliwiła skuteczne wykonanie zabiegu



Ryc. 22. Zabieg krioablacji drogi dodatkowej zlokalizowanej w okolicy anteroseptalnej. Wykonano mapowanie od strony prawego przedsionka, zastawki aortalnej, a także techniką transseptalną, od strony części przegrodowej lewego przedsionka. Ostatecznie wykonano skuteczną krioablację od strony prawego przedsionka z dostępu górnego (przez żyłę podobojczykową)

Zabieg krioablacji był skuteczny u wszystkich pacjentów z AVNRT (100%) oraz u 80% pacjentów z drogą dodatkową zlokalizowaną w okolicy okołohisowej. W okresie odległej obserwacji nawrót AVNRT udokumentowano u 2 pacjentów (22%), a drogi dodatkowej u 12 pacjentów (29%) i częstoskurczu przedsionkowego w 1 przypadku. W powtórным badaniu elektrofizjologicznym w 1 przypadku stwierdzono wynik prawidłowy badania, w 1 stwierdzono inną formę arytmii (AT z żyły płucnej górnej lewej po wcześniejszym zabiegu AT z SVC), a u pozostałych stwierdzono tę samą arytmie. W 8 przypadkach wykonano ablację z zastosowaniem RF, a u 4 ponowny zabieg krioablacji.

5. DYSKUSJA

W badaniach populacyjnych stwierdza się występowanie nadkomorowych zaburzeń rytmu u dzieci i młodzieży na poziomie 2,25/1000 osób, z roczną zapadalnością do około 13/100 000 dla osób poniżej 19. roku życia [63]. Szacuje się, że dane te są znacznie zaniżone ze względu na napadowy i najczęściej krótkotrwały charakter arytmii oraz spontaniczne jej ustępowanie. Dodatkowo trudności powstają z postawieniem właściwego rozpoznania u małych dzieci, najczęściej ze względu na brak charakterystycznych objawów. Przyczyny zaburzeń rytmu u dzieci bez strukturalnej choroby serca są zasadniczo takie same jak u dorosłych i obejmują częstoskurcze węzłowe, częstoskurcze zależne od obecności drogi dodatkowej oraz przedsionkowe i komorowe arytmie o charakterze ogniskowym.

Właściwe leczenie farmakologiczne lub zabiegowe wymaga dobrego i wiarygodnego udokumentowania zaburzeń rytmu. U osób z zespołem WPW lub liczną arytmia komorową jest to stosunkowo łatwe w oparciu o 12 – odprowadzeniowe EKG, jednakże w przypadku pozostałych częstoskurczów może być znacznie utrudnione ze względu na napadowy charakter arytmii. Istotne jest więc duże zaangażowanie ze strony lekarza i rodziców. W przypadku objawów sugerujących napady częstoskurczów możliwe jest wykonanie wydłużonego monitorowania EKG, które zwiększa prawdopodobieństwo uchwycenia arytmii [64].

W populacji pediatrycznej napadowe częstoskurcze najczęściej występują w okresie noworodkowym i wczesnodziecięcym. Leczenie farmakologiczne jest powszechnie stosowane i najczęściej zaprzestawane w ciągu pierwszego roku życia, jakkolwiek brak jest jednoznacznych dowodów, że jest to leczenie optymalne [65, 66]. W tym okresie wyjątkowo rzadko wykonuje się zabiegi ablacji i wyłącznie w przypadku ustawicznych częstoskurczów opornych na leczenie farmakologiczne lub zagrażających życiu, nawet w okresie noworodkowym [67, 68]. Leczenie farmakologiczne w przypadku źle tolerowanych napadów częstoskurczów jest prowadzone do czasu, gdy bezpiecznie można wykonać zabieg ablacji, zgodnie z rekomendacjami przedstawionymi w tabeli 1 [1]. Stosowanie terapii wielolekowej może poprawić skuteczność leczenia, ale rośnie istotnie ryzyko działań niepożądanych [69].

W ciągu ostatnich dekad inwazyjna diagnostyka elektrofizjologiczna oraz ablacje u dzieci i młodzieży z zaburzeniami rytmu serca zyskują na znaczeniu ze względu na wysoką skuteczność oraz bezpieczeństwo zabiegów. W doświadczonych ośrodkach zabiegi

ablacji mogą być wykonywane nawet u bardzo małych dzieci, co potwierdzają liczne badania retrospektywne i prospektywne [9, 70].

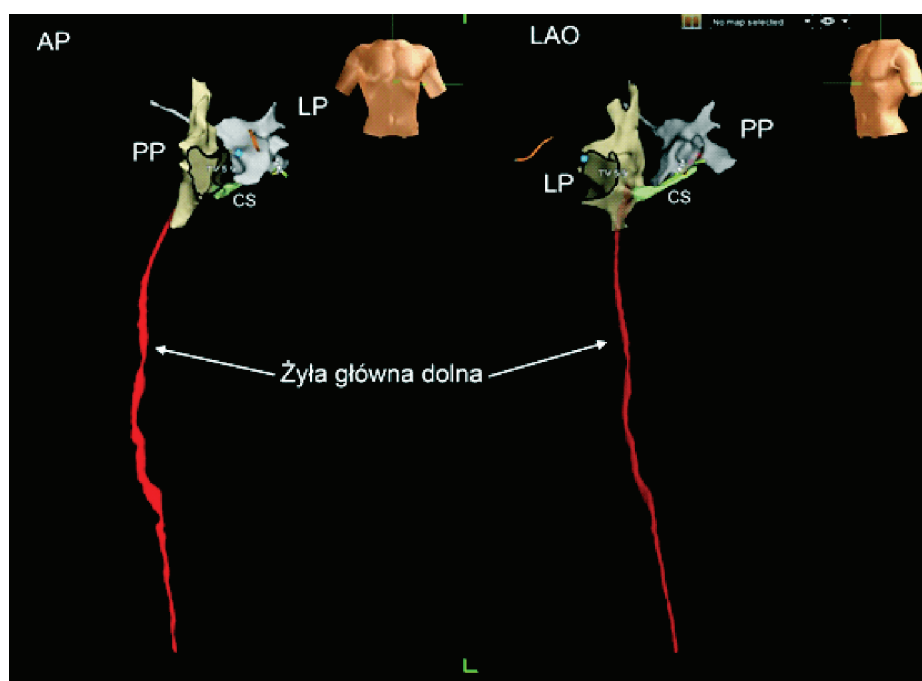
Wprowadzenie systemów elektroanatomicznych umożliwiających trójwymiarową rekonstrukcję serca oraz wykonywanie mapy potencjałowej i/lub propagacyjnej stwarza dodatkowe możliwości poprawiające skuteczność i bezpieczeństwo zabiegów, głównie przez znaczne zredukowanie dawki promieniowania rentgenowskiego, na które w czasie zabiegów narażeni są pacjenci [36, 71]. W ciągu ostatnich pięciu lat częstość stosowania tej techniki do wykonywania zabiegów ablacji częstoskurczów nadkomorowych, komorowych, a także zespołu WPW istotnie wzrosła.

Charakterystyka badanej grupy nie różniła się pod względem wieku pacjentów i typów zaburzeń rytmu od innych publikacji dotyczących zabiegów ablacji u dzieci [9, 72, 73]. Średni wiek pacjentów poddawanych ablacji w populacjach pediatrycznych oscyluje pomiędzy 8-13 lat. Do zabiegów ablacji najczęściej nie są kwalifikowane dzieci poniżej 5. roku życia zgodnie z przyjętymi rekomendacjami. Wynika to z faktu, że w tej grupie najczęściej obserwuje się spontaniczne ustępowanie częstoskurczów, a także największe jest ryzyko komplikacji, szczególnie gdy waga dziecka jest poniżej 15 kg [9, 27, 67]. Średnia wieku dzieci poddawanych zabiegowi ablacji w badanej grupie oscylowała około 12-13 lat w zależności od rodzaju arytmii i na przestrzeni kolejnych lat uległa obniżeniu. W badanej grupie, u 24 dzieci w wieku 5 lat lub poniżej, miało wykonany zabieg ablacji z powodu nieskutecznego leczenia farmakologicznego. Najczęstszą przyczyną ablacji w tej podgrupie były częstoskurcze zależne od drogi dodatkowej (71%) i AVNRT (17%). Zabieg ablacji był skuteczny w 81% i nie obserwowano żadnych powikłań po zabiegu. We wcześniejszych publikacjach dotyczących wykonywania zabiegów u małych dzieci (<15 kg) obserwowano istotne powikłania, takie jak płyn w worku osierdziowym, niedomykalność zastawki mitralnej oraz zawał serca [67]. Występowanie powikłań w tej grupie korelowało z większą liczbą aplikacji RF oraz dłuższym sumarycznym czasem ablacji. Kolejne badanie dotyczące zabiegów ablacji częstoskurczów węzłowych w grupie dzieci ważących ≤ 25 kg wykazało zwiększone ryzyko trwałego bloku przedsionkowo-komorowego (12%), ale dotyczyło głównie dzieci w wrodzoną wadą serca [74]. Innym rzadko opisywanym powikłaniem zależnym od ablacji RF szlaku wolnego łącza przedsionkowo-komorowego może być uszkodzenie tętnicy wieńcowej zaopatrującej węzeł przedsionkowo-komorowy [75]. W badanej grupie dzieci ≤ 5 lat z zaburzeniami rytmu zależnymi od drogi dodatkowej, u 9 stwierdzono obecność drogi lewostronnej. Zabieg ablacji techniką transaortalną wykonano u 3 pacjentów, a u 6 techniką transseptalną (w tym u jednego pod kontrolą echokardiografii przezprzełykowej ze względu na twardość przegrody międzyprzedsionkowej). Zabieg był skuteczny u wszystkich pacjentów, chociaż u 1 pacjenta w czasie pobytu w szpitalu doszło do nawrotu częstoskurczu i zabieg został powtórzony. Nie obserwowano powikłań okołozabiegowych w tej grupie pacjentów. Tak więc nawet w grupie bardzo małych dzieci skuteczność zabiegu ablacji jest wysoka. Przy kwalifikacji do zabiegu ablacji u dzieci z niską wagą

ciała należy zawsze brać pod uwagę ryzyko powikłań i dokładna ocena ryzyka wynikającego z zaburzeń rytmu powinna być skorelowana ze skutecznością i potencjalnym ryzykiem leczenia zabiegowego w danym ośrodku wykonującym ablacje [76, 77].

5.1. Zastosowanie systemu EnSite™ do zabiegów ablacji u dzieci

Wykonanie badania elektrofizjologicznego i zabiegu ablacji od strony technicznej nie różni się pomiędzy systemem fluoroskopowym i EnSite™. Wprowadzenie elektrod do serca poprzez układ żylny jest proste i precyzyjne poprzez możliwość śledzenia ich przebiegu w dwóch dowolnych projekcjach, najczęściej AP i LAO, co przedstawiono na rycinie 23. Śledzenie elektrod od momentu ich wprowadzenia do koszulki naczyniowej w 2 projekcjach zapobiega przypadkowemu umieszczeniu w żyłach nerkowych czy wątrobowej i uszkodzeniu ich delikatnej struktury.



Ryc. 23. Przedstawienie toru wprowadzenia elektrody poprzez żyłę udową i główną dolną do serca. Na czerwono zaznaczono przebieg elektrody

Trudności z wprowadzeniem elektrod do serca napotkano tylko raz w okresie stosowania techniki fluoroskopowej, natomiast nigdy u pacjentów poddawanych zabiegowi techniką EnSite™. U dziewczynki stwierdzono wrodzone przerwanie ciągłości żyły głównej dolnej z zachowaną żyłą azygos. Diagnozę potwierdzono radiologicznie podając kontrast do naczyń żylnych, a skuteczny zabieg ablacji wykonano wykorzystując podwójne nakłucie żyły podobojczykowej po stronie prawej.

Bezpieczne i skuteczne wykonanie badania elektrofizjologicznego oraz ablacji z ograniczeniem fluoroskopii wymagało wprowadzenia i przestrzegania kilku zasad. U każdego dziecka badanie wykonywano z użyciem dwóch elektrod diagnostycznych: 4-polarnej elektrody o stałej krzywiznie do rejestracji potencjału p. Hisa oraz elektrody sterowalnej 10-polarnej o krzywiznie różnej wielkości, dostosowanej do wagi dziecka. Zastosowanie diagnostycznej elektrody sterowalnej miało ogromne znaczenie dla szybkości i jakości wykonywanych rekonstrukcji trójwymiarowej geometrii jam serca. Wprowadzenie elektrod do przedsionka było potwierdzane pojawieniem się potencjałów przedsionkowych. Po wykonaniu optymalizacji i kompensacji oddychania elektrodę sterowalną wprowadzono do żyły głównej górnej, co potwierdzano zanikaniem potencjałów przedsionkowych na kanałach położonych dystalnie. Następnie elektrodę wycofywano i rotując wykonano rekonstrukcję prawego przedsionka starając się jak najdokładniej odtworzyć jego geometrię. Zaznaczano położenie p. Hisa, pierścienia zastawki trójdzielnej, a następnie umieszczano elektrodę w zatoce wieńcowej. Po umieszczeniu elektrody 4-polarnej w okolicy p. Hisa wykonywano badanie elektrofizjologiczne zgodnie z ogólnie obowiązującymi zasadami.

Technika wprowadzenia elektrod i wykonania rekonstrukcji wydaje się początkowo dość czasochłonna, ale średni czas poświęcony na wykonanie rekonstrukcji dla częstoskurzców węzłowych i dla dróg dodatkowych wynosił średnio od 6-7 minut od chwili nakucia żyły udowej, poprzez wykonanie trójwymiarowej rekonstrukcji prawego przedsionka do czasu prowadzenia elektrody do zatoki wieńcowej. W przypadku arytmii wywodzącej się z przedsionka lub komór więcej czasu poświęcano na bardzo precyzyjne zmapowanie odpowiednich struktur, co wydłużało czas rekonstrukcji od 12,6 minut (dla AT) do 19,7 minut dla arytmii komorowej. W tym przypadku rekonstrukcję kończono z zastosowaniem elektrody ablacyjnej. W badanej grupie pacjentów przyjęty dla EnSite™ protokół wykonywania zabiegu nie wiązał się z wydłużeniem czasu do wykonania pierwszej aplikacji. W przypadku zabiegów fluoroskopowych wynosił on $26,6 \pm 18,8$ minut, a dla EnSite™ $23,4 \pm 16,5$ minut ($p = 0,028$). Wydaje się, choć nie zostało to dokładnie zbadane, że istotne skrócenie pierwszej części zabiegu było spowodowane łatwiejszym wprowadzaniem elektrody do zatoki wieńcowej. W badanej przez mnie grupie trudności z wprowadzeniem elektrody do zatoki wieńcowej napotkano tylko w 4 przypadkach, co wymagało zastosowania fluoroskopii. W 3 przypadkach umożliwiło to kaniulację zatoki wieńcowej, a w jednym przypadku konieczne było założenie elektrody z dostępu przez żyłę podobojczykową.

W dostępnej literaturze mało miejsca poświęcono aspektowi czasu potrzebnego do wykonania rekonstrukcji systemem elektroanatomicznym. W wielośrodkowej pracy przedstawionej przez Casella i wsp. [78] średni czas potrzebny na wprowadzenie elektrod do momentu zakończenia rekonstrukcji wynosił $16,4 \pm 7,6$ minuty w grupie 50 pacjentów z prawostronnymi zaburzeniami rytmu (AVNRT, prawostronna droga dodatkowa, AT, trzepotanie przedsionków), co jest istotnie dłużej niż w badanej przez mnie grupie. W innym badaniu z zespołu Triedmana z Children's Hospital w Bostonie analizowano poszcze-

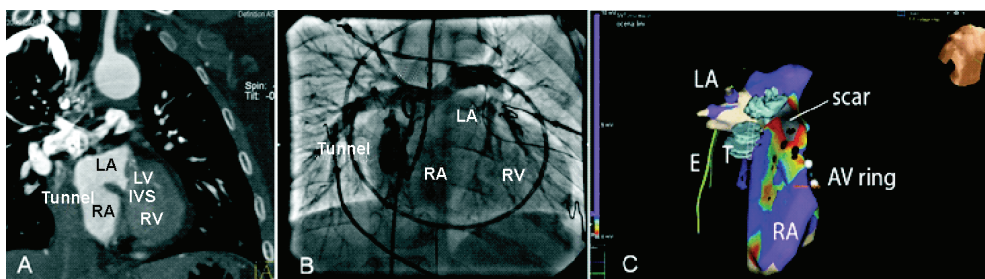
gólne etapy zabiegu ablacji w grupie 74 pacjentów [42]. Technika bezfluoroskopowa wiązała się z wydłużeniem czasu przygotowania pacjenta do zabiegu o 7 minut ($p < 0.001$), dostępu naczyniowego o 2 minuty ($p = ns$), wprowadzenia cewników o 9 minut ($p = 0,015$) badania elektrofizjologicznego o 6 minut ($p = ns$), prowadząc do dłuższego czasu zabiegu średnio o 31 minut ($p = 0,005$). Analizując wpływ krzywej uczenia w trzymiesięcznych okresach autorzy nie zaobserwowali istotnego skrócenia czasów poszczególnych etapów. Jednak, jak zaznaczają autorzy, mogło to być związane z pojawieniem się nowych specjalizujących się elektrofizjologów w zespole. Wydaje się, że głównym powodem tych różnic w czasach trwania poszczególnych etapów zabiegu jest krzywa uczenia. W badanej przezemnie grupie, analizując pierwsze i ostatnie 100 zabiegów z wykorzystaniem systemu EnSite™, obserwowano skrócenie czasu „wprowadzenie elektrod – wizualizacja” z $13,5 \pm 11,8$ minut do $4,7 \pm 8,4$ minut ($p < 0,001$). Ten etap zabiegu ablacji uległ najbardziej istotnemu skróceniu w czasie stosowania techniki bezfluoroskopowej. Bardzo precyzyjne przestrzeganie opracowanego protokołu postępowania oraz rutynowe stosowanie systemu EnSite™ do każdego zabiegu wpłynęło na uzyskiwanie lepszych wyników. Drugim powodem może być zmiana oprogramowania systemu EnSite™ z NavX na Velocity. Różnica pomiędzy systemem NavX i Velocity polega między innymi na większej stabilności systemu. W czasie zabiegów z oprogramowaniem NavX konieczne było zastosowanie stabilnej elektrody, która służyła jako punkt referencyjny. Nagła zmiana położenia tej elektrody w przypadku jej dyslokacji mogła prowadzić do utraty wcześniej zebranych punktów. Ten problem był również marginalnie zaznaczony w pracy Casella i wsp., kiedy dyslokacja elektrody spowodowała konieczność wykonania kolejnej mapy serca, wydłużając czas trwania procedury [78]. W materiale przedstawionym przez Fernandez-Gomez i wsp., w pierwszych 2 latach wykonywania zabiegów ablacji u 18 pacjentów zachodziła konieczność użycia fluoroskopii. Powodem była dyslokacja elektrody referencyjnej u 5 pacjentów oraz u 4 – brak stabilności mapy elektroanatomicznej [79]. Kolejne wersje oprogramowania EnSite (Velocity) umożliwiły wykorzystanie „system reference” do tworzenia stabilnego obrazu trójwymiarowego i opisywane wcześniej problemy przestały występować.

5.2. Wybór systemu elektroanatomicznego do zabiegów ablacji u dzieci

W czasie, w którym rozpoczęto wykonywać zabiegi z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego, jedynie system EnSite™ umożliwiał wizualizację i wykonywanie mapowania elektrodami diagnostycznymi. Dostępny równolegle system CARTO umożliwiał wizualizację wyłącznie jednej, dedykowanej 7F elektrody ablacyjnej (NAVI-STAR™, Biosense Webster). W jednej z pierwszych prac opublikowanej przez Drago i wsp. zabieg ablacji prawostronnych dróg dodatkowych z ograniczeniem fluoroskopii i systemem CARTO został wykonany u 21 dzieci [36]. Do zabiegu u większości pacjentów stosowano tylko jedną elektrodę co wynikało z możliwości działania systemu jednej pierwszej gene-

racji. Średni czas mapowania wyniósł 71 ± 50 minut z koniecznością zastosowania fluoroskopii u 12 pacjentów (średni czas $9,2 \pm 7,7$ minut). Zabieg ablacji z wykorzystaniem jednej elektrody wykonuje się w zasadzie tylko w przypadku ogniskowej arytmii komorowej, choć jest również możliwy w przypadku drogi dodatkowej przewodzącej w kierunku zstępującym lub AVNRT. W tych przypadkach praktycznie nie ma możliwości wykonania diagnostyki różnicowej oraz oceny wstecznego przewodzenia, a w przypadku ablacji AVNRT utrudnia ocenę przewodzenia pobudzeń węzłowych, co może przekładać się na wzrost ryzyka około-zabiegowego bloku przedsionkowo-komorowego. W moim badaniu, u 26 pacjentów (8,7%) występowały liczne drogi dodatkowe, u części przewodzące wstecznie, tak więc wykorzystanie jednej elektrody znacznie zmniejszałoby wiarygodność badania elektrofizjologicznego.

Precyzyjna rekonstrukcja elektroanatomiczna serca ma szczególne znaczenie w przypadku skomplikowanych zabiegów ablacji u dzieci z wrodzonymi wadami serca. Ta podgrupa pacjentów została wyłączona z analizy niniejszej pracy, ze względu na unikalny charakter poszczególnych zabiegów. Warto tu natomiast zaznaczyć, że połączenie angiografii, tomografii komputerowej oraz szczegółowej mapy elektroanatomicznej zdecydowanie poprawia skuteczność wykonania zabiegu ablacji w przypadku nietypowej anatomii (ryc. 24). W opublikowanym niedawno przypadku dziecka po operacji Fontana z powodu zespołu hipoplazji lewego serca (HLHS), precyzyjna rekonstrukcja serca oraz szczegółowa mapa elektroanatomiczna umożliwiła wykonanie ablacji nawracającego częstoskurczu przedsionkowego zależnego od blizny pooperacyjnej, co zostało poprzedzone angioplastyką ciasnej fenestracji łączącej konduit z tętnicami płucnymi [80].



Ryc. 24. Zabieg ablacji ustawicznego częstoskurczu u dziecka z HLHS po trzecim etapie operacji Fontana. A). Obraz tomografii komputerowej przedstawił sływ żylny uchodzący do tętnic płucnych z pominięciem przedsionków (TCPC), dużą prawą komorę oraz oba przedsionki łączące się przez otwór w przegrodzie międzyprzedsionkowej. B) Wykonanie angiografii uwidocznilo drobną fenestrację, przez którą wprowadzono elektrodę ablacyjną po wcześniejszej predylatacji balonem angioplastycznym. C) Połączenie obrazu tomografii komputerowej z mapą potencjałową i aktywacyjną (*merge*) pozwoliło ocenić strefy blizny pooperacyjnej oraz zlokalizować cieśń pomiędzy pierścieniem zastawki przedsionkowo-komorowej a konduitem. A. Baszko i wsp. Kardiologia Polska 2015, (przedrukowano za zgodą Kardiologii Polskiej) [80]

5.3. Wpływ zastosowania systemu EnSite™ na czas fluoroskopii i dawkę promieniowania

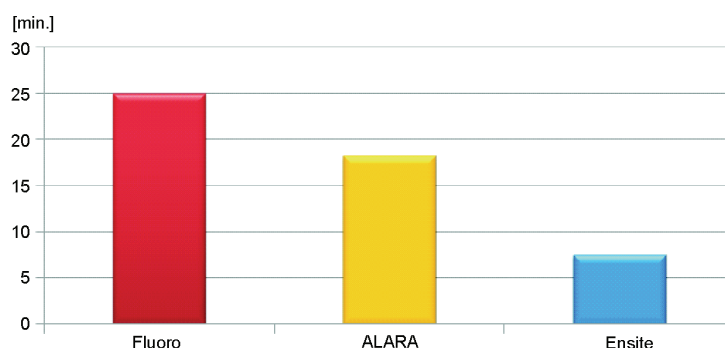
Technika trójwymiarowej rekonstrukcji w elektrofizjologii początkowo była przeznaczona do wykonywania skomplikowanych zabiegów ablacji migotania przedsionków, „burz elektrycznych” czy zaburzeń rytmu we wrodzonych wadach serca [81-83]. W elektrofizjologii dziecięcej większość zabiegów jest wykonywana u pacjentów bez strukturalnej choroby serca. Głównym celem wykonywania zabiegów ablacji z systemem elektroanatomicznym była chęć ograniczenia czasu fluoroskopii oraz dawki promieniowania rentgenowskiego.

W danych badania PAPCA średni czas fluoroskopii w czasie zabiegów ablacji u dzieci wynosił od 28,5 do 38,3 minut, przy czym ponad 20% było narażonych na czas dłuższy niż 50 minut [84]. W tym czasie mediana czasu ekspozycji u dorosłych wynosiła 25,5 minut. Świadomość wpływu promieniowania rentgenowskiego na organizm małego pacjenta w pierwszym okresie wykonywania zabiegów ablacji nie była zbyt duża. Dopiero w ostatnich latach pokazały się duże badania rejestrowe, wskazujące na wpływ narażenia na promieniowanie rentgenowskie w dzieciństwie na ryzyko rozwoju choroby nowotworowej w późniejszych latach. Pearce i wsp. w analizie obejmującej blisko 180 000 osób, które przez 22. rokiem życia miały wykonane badanie tomografii komputerowej ze wskazań innych niż choroba nowotworowa [85]. W czasie obserwacji wieloletniej stwierdzono 74 przypadki białaczki oraz 135 przypadków guza mózgu. Po szczegółowej analizie okazało się, że ryzyko wystąpienia białaczki rosło prawie trzykrotnie po narażeniu na dawkę 50 mGy, a ryzyko guza mózgu rosło prawie trzykrotnie po narażeniu na dawkę 60 mGy w porównaniu z osobami, które otrzymały poniżej 5 mGy. Biorąc pod uwagę, że trudno jest przewidzieć jak potoczą się dalsze losy małych pacjentów, należy dołożyć wszelkich starań, aby zabiegi były wykonywane co najmniej zgodnie z zasadami ALARA.

Jak duże znaczenie ma przestrzeganie reguł ograniczania narażenia na promieniowanie RTG w czasie zabiegów ablacji, widać w pracy Miyake i wsp., w której oceniano perspektywnie zastosowanie technik ograniczających fluoroskopię poprzez wykorzystanie echokardiografii wewnątrzsercowej i EnSite™/NavX [42]. Zastosowanie tych systemów spowodowało, że średni czas fluoroskopii zmniejszył się z 18,5 do 7,5 minuty (ryc. 25). W dyskusji poruszono bardzo ważny wątek. Otóż w okresie przed rozpoczęciem badania wprowadzono bardziej restrykcyjne zasady używania fluoroskopii. Spowodowało to, że średni czas fluoroskopii zmniejszył się z 25,2 minut z okresu wcześniejszego do 18,5 minuty, co i tak jest znacznie mniej niż w cytowanym już badaniu PAPCA [84].

W moim badaniu agresywne zasady ograniczenia fluoroskopii były stosowane od pierwszych wykonywanych zabiegów (maksymalne zmniejszenie dawki promieniowania na puls, unikanie nagrywania, stosowanie blend, dbanie o minimalną odległość pomiędzy kolimatorem a pacjentem). W porównaniu z danymi z literatury, które przedstawiono

w tabeli 32, czas fluoroskopii i dawka promieniowania pochłoniętego w czasie zabiegów ablacji w okresie sprzed wprowadzenia systemu elektroanatomicznego była wielokrotnie mniejsza niż w innych badaniach z podobnego okresu. Również liczebność grupy jak na badanie jednośrodkowe była bardzo duża.



Ryc. 25. Czas fluoroskopii w czasie zabiegów ablacji u dzieci z okresu sprzed planowania badania (Fluoro), okresu przygotowania się do jego wdrożenia (ALARA) oraz okresu stosowania EnSite™/ICE [42]

Tabela 32. Porównanie czasów fluoroskopii oraz dawki promieniowania, którą otrzymał pacjent w czasie zabiegów ablacji metodą klasyczną na podstawie piśmiennictwa

Badanie	Rok	<i>n</i>	Wiek (lata)	Arytmia	Czas fluoroskopii (min)	Dawka dla pacjenta
Kugler i wsp. [9]	1994	652	13 ± 12	WPW, AT, FL, JET, VT	49 (AVNRT), 79 (RS WPW)	nie podano
Calkins i wsp. [30]	1991	31	35 ± 15	WPW, SVT	44 ± 40	kręgosłup: 7,26 rem
Lindsay i wsp. [31]	1992	108	39 ± 19/ 43 ± 17	WPW/ AVNRT	54 ± 37 (WPW) 45 ± 18 (AVNRT)	1,7 rem
Park i wsp. [32]	1996	500	40 ± 19	-	46 ± 31	930 ± 620 mGy, DAP: 76 – 123 Gycm ²
Rosenthal i wsp. [25]	1998	859	36 ± 21	AVNRT, WPW, łącze AV	53 ± 5 0	dawka efektywna: 1,3 ± 1,3 Sv
McFadden i wsp. [33]	2002	50		Łącze AV, WPW	67	810 mGy
Miyake i wsp. [42]	2011	37	14,6	AVNRT, WPW	18,3	387 mGy
Baszko A. i wsp.	2015	224	13 ± 4	AVNRT, WPW, AT, VT	16,4 ± 12,3	54 ± 83 mGy

Czas fluoroskopii i dawka pochłoniętego promieniowania we wszystkich publikowanych badaniach, podobnie jak i mojej obserwacji, są najkrótsze dla ablacji częstoskurczów węzłowych. W prezentowanej pracy czas fluoroskopii w klasycznych zabiegach ablacji RF AVNRT ($n = 58$) bez wspomaganie 3D wynosił $10,5 \pm 6,8$ minut, a dawka promieniowania $37,1 \pm 48,3$ mGy. Dla porównania czas fluoroskopii i dawka promieniowania konieczna do wykonania zabiegu ablacji wszystkich dróg dodatkowych ($n = 118$) wynosiła odpowiednio $17,2 \pm 11,3$ min i $60,2 \pm 106$ mGy. W dużej analizie Lee i wsp. obejmującej 228 zabiegów ablacji u dzieci wykonywanych w podobnym okresie jak wykonywane przeze mnie, u 66 wykonano ablację AVNRT, a u 140 pacjentów ablację AVRT [72]. Czas fluoroskopii dla ablacji AVNRT był również istotnie krótszy niż dla częstoskurczów zależnych do drogi dodatkowej i wynosił $12,2 \pm 6,4$ min (vs. $29,6 \pm 24,9$ min, $p < 0,001$). W tym badaniu nie oceniano dawki promieniowania. Prezentowane wyniki wskazują, że zabiegi ablacji przeprowadzane w Klinice Kardiologii Dziecięcej w Poznaniu wykonywane metodą fluoroskopową nie odbiegają parametrami technicznymi od zabiegów ocenianych w dużych międzynarodowych analizach z wiodących ośrodków elektrofizjologii dziecięcej, a stosowany protokół ALARA przekładał się na znacznie niższe czasy fluoroskopii i dawki promieniowania niż w cytowanych pracach.

Kolejnym bardzo ważnym elementem oceniającym efektywność zabiegów ablacji jest analiza tzw. krzywej uczenia się. W dostępnej literaturze znajdują się pojedyncze prace oceniające efekt krzywej uczenia się na skuteczność i bezpieczeństwo zabiegów ablacji RF u dzieci. W pracy Bubolza i wsp. z 1996 roku analizującej efekt krzywej uczenia się na podstawie 144 zabiegów ablacji obserwowano skrócenie czasu fluoroskopii z 57 ± 33 minut do 34 ± 27 minut, porównując pierwsze i ostatnie 50 zabiegów [86]. Kugler i wsp. analizując dane rejestru obejmującego ponad 7500 zabiegów ablacji u dzieci porównał wyniki zabiegów ablacji z okresu 1991-1995 oraz 1996-1999 [27]. W tym okresie czas fluoroskopii skrócił się o 21% z $50,9 \pm 39,9$ do $40,1 \pm 35,1$ minut. W innej pracy podsumowującej 5-letnie doświadczenie jednego ośrodka elektrofizjologicznego również stwierdzono znaczne skrócenie czasu fluoroskopii i dawki promieniowania w ciągu pięcioletniego okresu. Chociaż ze względu na zmianę rodzaju stosowanej aparatury nie przedstawiono szczegółowych danych, to bardzo sugestywnie jest wykazane zmniejszenie liczby zabiegów z fluoroskopią trwającą ponad 60 minut z 66% w czasie pierwszych 100 procedurach do 12% w ostatnich 100 zabiegach. Podobnie zmniejszenie liczby pulsów fluoroskopii do 7,5 na sekundę spowodowało zmniejszenie dawki promieniowania o około 75%. W mojej pracy przeanalizowano 100 pierwszych i 100 ostatnich badań w okresie stosowania wyłącznie techniki fluoroskopowej. Po odjęciu badań, które nie zakończyły się ablacją, do analizy włączono 84 pacjentów z okresu początkowego i 80 pacjentów z ostatniego okresu. Porównywane grupy nie różniły się między sobą pod względem danych demograficznych (wiek, waga, wzrost) ani czasem trwania znieczulenia i zabiegu ablacji. Czas fluoroskopii, pochłonięta dawka promieniowania i DAP z okresu początkowego i końcowego zabiegów

fluoroskopowych również nie różniły się między sobą, podobnie skuteczność okołozabiegowa (91,5% i 88,4%), co wskazuje na stały, porównywalny poziom wykonywania zabiegów.

Wraz z rosnącą świadomością znaczenia wpływu promieniowania rentgenowskiego na rozwijający się organizm zaczęto wykorzystywać nowe bezfluoroskopowe metody wizualizacyjne w zabiegach ablacji u dzieci i młodzieży. Zastosowanie techniki EnSite™ w omawianym badaniu było analizowane wielopoziomowo. Analizie poddano wpływ nowej metody na czas procedury i czas znieczulenia, na redukcję fluoroskopii i dawki promieniowania. Następnie oceniano sytuacje, w których można było wykonać zabieg bezfluoroskopowy bez konieczności wydłużenia czasu procedury i analizę sytuacji w których zdecydowano o użyciu fluoroskopii. Na koniec oceniano wpływ metody na skuteczność zabiegu, a zarazem na efekt zabiegu ablacji poprzez liczbę i czas aplikacji RF.

5.4. Wpływ stosowania systemu EnSite™ na czas zabiegu

W pierwszych zabiegach ablacji z zastosowaniem systemów elektroanatomicznych celem ograniczenia lub wyeliminowania fluoroskopii kwalifikowano wyłącznie pacjentów z prawostronną formą zaburzeń rytmu (częstoskurcze węzłowe, drogi dodatkowe prawostronne oraz trzepotanie przedsionków). We wspomnianej już pracy Drago i wsp. wykorzystując system CARO wykonał zabieg ablacji prawostronnych dróg dodatkowych u 21 pacjentów [36]. Czas mapowania wnosił 71 ± 50 minut. Nie podano czasu trwania procedury. Papagiannis i wsp. wykonali zabieg ablacji prawostronnych zaburzeń rytmu (AVNRT i dodatkowe drogi o prawostronnej lokalizacji) u 80 pacjentów < 19. roku życia, z których 40 miało zabieg pod kontrolą fluoroskopii, a pozostali – zabieg z wykorzystaniem EnSite™ [37]. Czas procedury był istotnie krótszy niż dla zabiegu fluoroskopowego (170 ± 68 minut vs 218 ± 69 minut, $p < 0,001$). Alvarez i wsp. u dorosłych pacjentów wykonali zabieg ablacji AVNRT [71]. Czasy zabiegu były dla techniki fluoroskopowej i bezfluoroskopowej porównywalne (około 150 minut). Znacznie mniej jest prac, w których pacjenci z drogami dodatkowymi o lewostronnej lokalizacji byli kierowani do zabiegu ablacji z ograniczeniem fluoroskopii. W badaniu Clarka i wsp. starano się wykonać zabieg ablacji RF dróg lewostronnych z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii u 10 pacjentów [41]. W tym badaniu nakłucie transseptalne było wykonywane pod kontrolą echokardiografii przezprzelykowej. Wszystkie zabiegi udało się skutecznie wykonać bez stosowania fluoroskopii, jednakże średni czas zabiegu wynosił 4,4 godziny. Warto tu zaznaczyć, że wszystkie zabiegi musiały być wykonywane w znieczuleniu ogólnym z dotchawiczą intubacją i prowadzeniem oddechu zastępczego, co nie jest w tej pracy wyraźnie zaznaczone. Miyake i wsp. w cytowanej wcześniej pracy stosowali echokardiografię wewnątrzsercową (ICE) oraz EnSite™ celem wspomaganie wykonania zabiegu ablacji [42]. W tej grupie 1/3 pacjentów miało drogę dodatkową zlokalizowaną po stronie lewej i zabieg ablacji wykonywano techniką transseptalną. W tym badaniu techniki bezfluoroskopowe miały jedynie wspomagać badanie celem ograniczenia a niekoniecznie

wyeliminowana fluoroskopii. W tym przypadku czas procedury i zabiegu wynosił odpowiednio 211 i 133 minut dla grupy EnSite™/ICE (vs 180 i 122 minut dla zabiegu fluoroskopowego). Przyczyną istotnie dłuższych czasów zabiegowych w grupie EnSite™ była konieczność przygotowania pacjenta pod system elektroanatomicznym. W badaniu Kersta i wsp. zabiegi ablacji RF z zastosowaniem EnSite™ z modułem kontroli siły nacisku były wykonywane z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii u 30 pacjentów [87]. Substrat do ablacji znajdował się po lewej stronie u 8 pacjentów, a dostęp transseptalny był wykonywany pod kontrolą echokardiografii przezprzełykowej. Średni czas zabiegu wynosił $2,8 \pm 0,9$ godziny. Scaglione i wsp. oceniali wykorzystanie systemu CARTO 3 do zabiegów ablacji dróg dodatkowych u dzieci [88]. W tej grupie 45% dzieci miało drogę dodatkową zlokalizowaną po stronie lewej. Zabieg ablacji dróg lewostronnych był wykonywany drogą transaortalną lub przez PFO. Średni czas zabiegu wynosił $94,4 \pm 4,4$ minut. Istotne skrócenie czasu zabiegów widoczne jest również w pracy Steca i wsp., w której oceniano uproszczoną technikę zabiegu ablacji z zastosowaniem systemu EnSite™ w dużej grupie pacjentów dorosłych [89]. Średni czas zabiegu (bez znieczulenia ogólnego) wynosił 63 minuty. Zabiegi ablacji dróg lewostronnych były głównie wykonywane techniką transaortalną. W pracy Fernandez-Gomez w wsp. obejmującej 328 dorosłych pacjentów z prawostronną formą arytmii czas wykonywania zabiegu skrócił się ze 121 ± 45 minut do 107 ± 34 minut ($p = 0,06$) między pierwszymi i kolejnymi 50 zabiegami. W analizie własnych zabiegów z zastosowaniem systemu EnSite™ z początkowego okresu ich wykonywania, która była przedstawiona na Kongresie EHRA w Madrycie w 2011 roku, czas zabiegów obu technikami był porównywalny (około 80 minut). Podsumowując wyniki badań w roku 2015, czasy trwania zabiegu (znieczulenia i ablacji) były już istotnie krótsze w przypadku stosowania systemu EnSite™ (odpowiednio $87,8 \pm 35$ minut i $62,7 \pm 30,9$ minut vs $97,6 \pm 36$ minut i $69,5 \pm 36,5$ minut). Porównując zabiegi EnSite™ z pierwszego okresu do ostatniego okresu bardzo wyraźnie widać skrócenie czasu trwania zabiegów znieczulenia i zabiegu ablacji (odpowiednio $97,5 \pm 41,6$ minut vs $88,4 \pm 31,1$ minut i $75,6 \pm 31,5$ minut vs $58,8 \pm 29,5$ minut w porównaniu z zabiegami fluoroskopowymi). Skrócenie czasu trwania zabiegów w dużej mierze może być spowodowane poprawą działania na etapie przygotowania pacjenta. Czas mierzony od początku zabiegu do wykonania pierwszej aplikacji jest dobrym parametrem oceniającym sprawność wykonywania badania. Czas do pierwszej aplikacji skrócił się z 31 minut do 20 minut ($p = 0,0002$) pomiędzy zabiegami z okresu początkowego i końcowego stosowania systemu EnSite™. Istotnie skrócił się czas rekonstrukcji 3D o czym pisałem wcześniej. W przypadku zabiegów fluoroskopowych czas do pierwszej aplikacji również uległ skróceniu z 30 do 23 minut. Wydaje się, że regularne stosowanie EnSite™ do wykonywania zabiegów nie wpływa negatywnie na czasy zabiegu mierzone na różnych etapach jego wykonywania, a wręcz przeciwnie, wydaje się że skraca czas trwania etapów poprzedzających wykonanie pierwszej aplikacji. Tak więc wyraźnie widać z przedstawionych własnych i cytowanych

danych, że technika bezfluoroskopowa może być stosowana bez konieczności wydłużenia czasu trwania zabiegu i to bez względu na to, czy zabieg jest wykonywany w znieczuleniu ogólnym czy też nie.

5.5. Wpływ stosowania systemu EnSite™ na czas fluoroskopii i parametry radiologiczne

Przyjmując, że efekty biologiczne promieniowania rentgenowskiego są zgodne z teorią liniową bez dawki progowej, każde narażenie na promieniowanie może zwiększać ryzyko kancerogenezy, co ma szczególne znaczenie u dzieci [28]. Główną ideą wprowadzania procedur z zastosowaniem systemów 3D była chęć zredukowania dawki promieniowania, jednakże bez zwiększania ryzyka zabiegu. Podobnie jak przedstawiłem to w części dotyczącej zabiegów fluoroskopowych, już agresywne stosowanie się do zasad ochrony radiologicznej może w istotny sposób ograniczyć narażenie pacjenta i personelu na promieniowanie rentgenowskie [29]. W badaniach z wykorzystaniem systemów 3D do ablacji tzw. prostych zaburzeń rytmu obserwuje się dwa podejścia. Pierwszym jest całkowita eliminacja promieniowania RTG („0” *fluoroscopy*). W tym przypadku stosuje się najczęściej dodatkowe metody wizualizacji elektrod i cewników, jak echokardiografia przezprzetykowa lub wewnątrzsercowa [41, 42, 90]. Drugim podejściem jest akceptacja krótkiej fluoroskopii w kluczowych momentach zabiegu („near 0” *fluoroscopy*). Oczywiście to drugie podejście nie wyklucza wykonywania zabiegów całkowicie bezfluoroskopowych, ale nie jest to naczelną zasadą wykonywania ablacji.

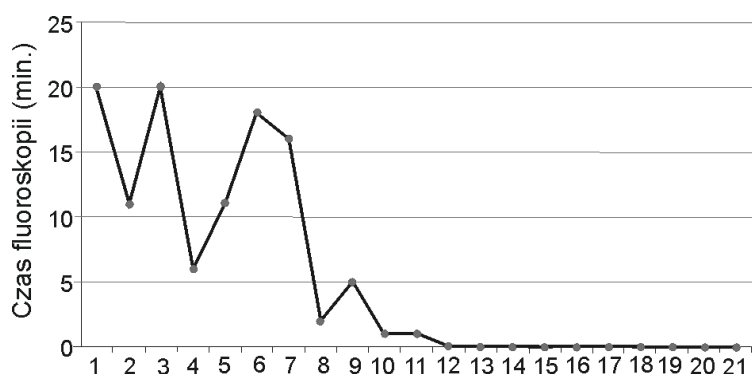
Zysk z całkowitego wyeliminowania promieniowania rentgenowskiego w ablacjach u dzieci może być zmniejszony na skutek przedłużającego się czasu zabiegu i związanego z tym czasu znieczulenia ogólnego. Stosowanie powtarzających się znieczuleń ogólnych a zarazem wydłużony czas trwania znieczulenia ogólnego, ma istotny wpływ na zaburzenia behawioralne i intelektualne u dzieci, co jest ostatnio podkreślane w literaturze anestezyjologicznej [91, 92]. Wydaje się więc konieczne zachowanie rozsądnego balansu pomiędzy czasem zabiegu ablacji w znieczuleniu ogólnym a ewentualnie sporadycznym stosowaniem fluoroskopii celem skrócenia czasu trwania zabiegu.

5.6. Zabiegi ablacji zaburzeń rytmu wywodzących się z prawej strony serca

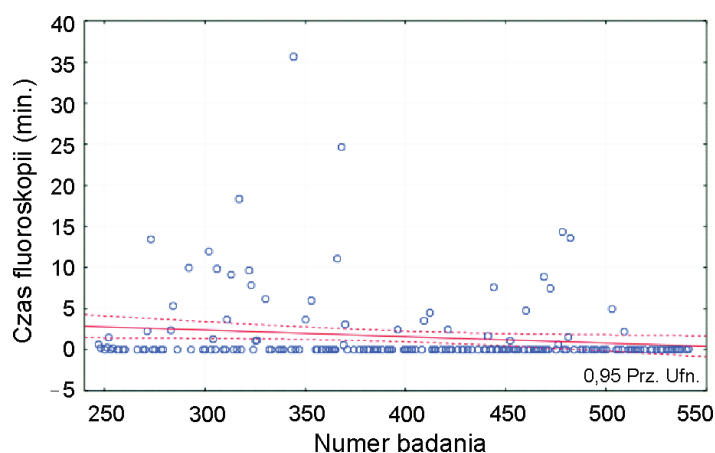
Zaburzenia rytmu wywodzące się z prawej strony to częstoskurcze węzłowe, przedsionkowe, prawostronne drogi dodatkowe, typowe trzepotanie przedsionków oraz ogniskowa arytmia z prawej komory. W przypadku tych arytmii nie ma konieczności uzyskania dostępu do lewej strony serca. Ta grupa arytmii była podstawowym celem pierwszych prób zastosowania systemów 3D w dostępnym piśmiennictwie.

W pierwszym tego rodzaju doniesieniu Drago i wsp. wykorzystali system CARTO do ablacji WPW z prawostronną drogą dodatkową w grupie 21 pacjentów (średni wiek 11 lat).

Zabieg u większości pacjentów był wykonany z zastosowaniem jednej elektrody (o ograniczeniach systemu pisałem powyżej), za pomocą której przeprowadzono mapowania elektroanatomicznego jak i ablację [36]. Ostatecznie u 12 pacjentów (57%) konieczne było zastosowanie fluoroskopii (czas fluoroskopii w tej grupie wyniósł $9,2 \pm 7,7$ minut). Wspomaganie zabiegu fluoroskopią miało miejsce jedynie w początkowym okresie stosowania metody, następnie wraz z rosnącym doświadczeniem, ale i prawdopodobnie lepiej dobierając pacjentów zabiegi można było wykonać bezfluoroskopowo (ryc. 26). Dla porównania na rycinie 27. przedstawiono własne czasy fluoroskopii w kolejnych zabiegach ablacji arytmii prawostronnych (AVNRT, drogi dodatkowe, AT).



Ryc. 26. Czas fluoroskopii w czasie zabiegów ablacji jawnego zespołu WPW. Istotne zmniejszenie czasu fluoroskopii zaobserwowano po procedurze nr 8, z całkowitym wyeliminowaniem promieniowania RTG po procedurze 13 (Drago F. i wsp. J. Cardiovasc. Electrophysiology 2002; 13: 781 [36]. Przedrukowano za zgodą Wolters Kluwer Health)



Ryc. 27. Czasy fluoroskopii w zabiegach ablacji arytmii prawostronnych wykonywanych z zastosowaniem EnSite™. Zabiegi całkowicie bezfluoroskopowe wykonano u 76,3% pacjentów (badania własne)

Od czasu publikacji Drago i wsp. system CARTO przeszedł znaczną ewolucję i w tej chwili CARTO 3 umożliwia wizualizację wszystkich podłączonych elektrod diagnostycznych, chociaż zbieranie punktów elektrycznych jest możliwe tylko za pomocą wyselekcjonowanych elektrod. Pokazuje to ostatnio opublikowane badanie Scaglione i wsp. [88]. System CARTO 3 był z powodzeniem stosowany do wykonywania ablacji (RF i krioablacji) w grupie 44 pacjentów z zespołem WPW (prawy- i lewostronny). Zabieg ablacji dróg dodatkowych był skuteczny u wszystkich pacjentów bez zastosowania fluoroskopii przy średnim czasie trwania zabiegu 94 ± 4 (89-102) minuty.

Niedawno opublikowana praca Fernandez-Gomez i wsp. obejmuje m. in. grupę 146 pacjentów z AVNRT, gdzie 100% zabiegów było wykonanych z wyeliminowaniem fluoroskopii przy 98,6% skuteczności i czasie trwania zabiegu średnio 92 ± 43 minuty. W przypadku obecności głównie prawostronnych dróg dodatkowych czas zabiegu wynosił 130 ± 53 minut czy 83% zabiegów bezfluoroskopowych i 100% skuteczności [79]. W czasie kolejnych lat stosowanie technik elektroanatomicznych do wykonywania zabiegów ablacji stało się powszechniejsze. Wyraźnie wzrósł też odsetek zabiegów wykonanych z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii. W tabeli 33 podsumowano opublikowane w ostatnim czasie prace. Badania te pokazują, że aktualnie, dzięki rozwojowi techniki, zabiegi ablacji arytmii prawostronnych mogą być wykonane praktycznie z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii. Jednakże, w większości prac do zabiegów bezfluoroskopowych włączono dorosłych pacjentów. Jedynie cytowana wcześniej praca Drago i wsp. Scaglione i wsp. oraz moja obejmowały wyłącznie pacjentów w wieku ≤ 18 lat. Stąd też prawdopodobnie w tej grupie obserwuje się wyższy odsetek stosowania krótkotrwałej fluoroskopii w kluczowych momentach ablacji.

W moim badaniu, u pacjentów z AVNRT 80% zabiegów ablacji było wykonanych bezfluoroskopowo, natomiast w przypadku dróg prawostronnych było to 75%. Stosowanie fluoroskopii było podyktowane trudnością intubacji zatoki wieńcowej, koniecznością wykonania angiografii uchyłka CS, weryfikacji położenia elektrody oraz w kilku przypadkach niestabilność systemu EnSite™ wymagała weryfikacji położenia elektrody (problem zniknął od czasu wprowadzenia wersji Velocity). Zastosowanie systemu EnSite™ w badanej przez mnie grupie u pacjentów z AVNRT skróciło czas fluoroskopii z $10,5 \pm 6,8$ min do $1,0 \pm 3,0$ minut oraz dawkę promieniowania z 37 ± 48 mGy do $3,6 \pm 9,5$ mGy bez wpływu na czas trwania zabiegu (58 ± 20 minut vs 55 ± 30 minut), choć skróceniu uległ czas znieczulenia (82 ± 23 minut vs 72 ± 28 minut). W przypadku dróg o prawostronnej lokalizacji stosowanie techniki bezfluoroskopowej wiązało się ze skróceniem czasu fluoroskopii z 17 ± 11 minut do $2,5 \pm 6,5$ minut oraz zmniejszeniem dawki z 55 ± 62 mGy do $9,4 \pm 26$ mGy przy porównywalnym czasie znieczulenia i zabiegu (odpowiednio 104 ± 39 minut vs 99 ± 35 minut i 76 ± 38 minut vs 72 ± 40 minut). Jak wynika z moich obserwacji, stosowanie systemu umożliwiającego zabiegi z ograniczeniem lub wyeliminowaniem fluoroskopii zmniejsza ekspozycję na promieniowanie RTG prawie 10-krotnie.

Tabela 33. Zabiegi ablacji z wykorzystaniem systemów elektroanatomicznych. Z badań wydzielono pacjentów z prawostronnymi formami arytmii

Autor	Rok	<i>n</i>	Arytmia prawostronna (%)	Technika 3D	„0” fluoro (%)	Czas znieczulenia/zabiegu
Casella i wsp. [78]	2011	50	100	EnSite™	76	113 ± 37 min
Kerst i wsp. [87]	2012	30	73	EnSite™	100	2,8 ± 0,9 godz.
Fernandez-Gomez i wsp. [79]	2014	328	100	EnSite™	94,7	110 ± 52 min
Stec i wsp. [89]	2014	188	89	EnSite™	95	64 ± 23 min
Scaglione i wsp. [88]	2015	44	55	Carto	100	94 ± 4,4 min
Baszko	2015	268	67	EnSite™	76	93 ± 31/68 ± 32 min

5.7. Zabiegi ablacji arytmii lewostronnych

Głównymi rodzajami lewostronnych zaburzeń rytmu poddawanych zabiegom ablacji u dzieci są drogi dodatkowe oraz częstoskurcze przedsionkowe. Zabieg ablacji RF drogi dodatkowej o lewostronnym położeniu można wykonać wykorzystując dostęp transaortalny oraz transseptalny. W przypadku obecności przetrwałego otworu owalnego (PFO) sytuacja jest prosta, gdyż połączenie pomiędzy prawą i lewą stroną serca jest ułatwione. W pozostałych przypadkach konieczne jest nakłucie tętnicy udowej i wprowadzenie elektrody ablacyjnej przez zastawkę aortalną lub wykonanie nakłucia transseptalnego. Technika transseptalna w elektrofizjologii dziecięcej jest stosowana od ponad 20 lat. Technika transaortalna jest technicznie łatwiejsza, jednakże w większości badań oceniających ryzyko metody obserwowano zwiększone ryzyko powikłań oraz dłuższy czas fluoroskopii. W badaniu Minicha i wsp. obserwowano niedomykalność zastawki aortalnej u 30% pacjentów po ablacji lewostronnej drogi dodatkowej techniką transaortalną [93]. Stwierdzono zależność wystąpienia niedomykalności zastawki od czasu, w którym elektroda ablacyjna znajdowała się w zastawce aortalnej. Potwierdzeniem tego jest praca Lau i wsp., w której u żadnego pacjenta nie wystąpiła dysfunkcja zastawki aortalnej po ablacji techniką transseptalną (94). W badaniu Law i wsp. analizowali prospektywnie zabiegi ablacji wykonywane techniką transaortalną (w pierwszym okresie wykonywania zabiegów) z techniką transseptalną (zabiegi wykonywane w późniejszym okresie) w grupie 136 pacjentów w wieku średnio 12 lat [94]. Ablacja była wykonana techniką transaortalną u 30 i transseptalną u 106 pacjentów. Autorzy składowali, że ryzyko powikłań pomiędzy obu grupami było porównywalne, jednakże bliższa analiza tego materiału powinna skłonić do odmiennych wniosków. Do najważniejszych poważnych powikłań metody transaortalnej należały: ostre zamknięcie tętnicy udowej u 1 pacjenta, który w późniejszym terminie wymagał leczenia operacyjnego z powodu chromania przestankowego. W grupie transseptalnej do poważnych powikłań

należały: perforacja tylnej ściany przedsionka (3 pacjentów, u 1 wymagana była perikardiocenteza), przejściowe niedokrwienie mózgu, które wystąpiło po tygodniu od zabiegu (1), pneumothorax po nakłuciu żyły podobojczykowej (1), uszkodzenie zastawki mitralnej (1) wymagające następnie naprawczego zabiegu kardiochirurgicznego, zator tętnicy środkowej mózgu (1). Do drobnych komplikacji autorzy zaliczyli w grupie transseptalnej przejściowy całkowity blok przedsionkowo-komorowy (1), zator powietrzny prawej tętnicy wieńcowej (2) oraz krwiak miejsca wkłucia (1). W grupie transaortalnej obserwowano zanik pulsu (1) oraz niedomykalność zastawki aortalnej (3). Trudno jednak się zgodzić ze stwierdzeniem, że powyższe powikłania są lekkie. Zupełnie inne wyniki dotyczące bezpieczeństwa zabiegu ablacji techniką transseptalną przedstawił von Alvensleben i wsp. [95]. Retrospektywną analizą objęto 321 procedury transseptalne wykonane u pacjentów poniżej 18. roku życia (średnia wieku 13 lat) wykonane w okresie 1999-2011 roku. Nie obserwowano istotnych poważnych powikłań, natomiast drobne powikłania wystąpiły u kilku pacjentów. Było to nakłucie tylnej ściany przedsionka igłą, bez konieczności przerywania procedury (1 pacjent), umiarkowana niedomykalność zastawki mitralnej (1), prawdopodobna skrzeplina (*mobile mass*) na płątku zastawki mitralnej, która zniknęła po 6 tygodniach obserwacji (1). Brak istotnych powikłań zabiegu transseptalnego jest również zgodny z naszymi obserwacjami. Na 80 zabiegów z nakłuciem transseptalnym (74 zespół WPW i 6 częstoskurcz przedsionkowy) – 1 zabieg nakłucia był nieskuteczny, w 2 przypadkach nakłucie transseptalne wymagało kontroli echokardiografii przezprzełykowej z powodu trudności z wprowadzeniem cewnika transseptalnego po wcześniejszym nakłuciu przegrody międzyprzedsionkowej, w 2 przypadkach doszło do nakłucia tylnej ściany przedsionka igłą transseptalną, bez dalszych konsekwencji i bez konieczności przerwania zabiegu. Jedną z istotnych przyczyn powikłań wynikających ze stosowania techniki może być liczba takich zabiegów wykonywana przez operatora. W cytowanych badaniach nie ma na ten temat informacji, natomiast można obliczyć, że w pracy Law i wsp. wykonywano średnio 13 nakłuć transseptalnych w ciągu roku, natomiast w pracy von Alvenslebena i wsp. wykonywano około 27 zabiegów transseptalnych rocznie. Moje doświadczenie wykonywania nakłuć bazuje na zabiegach u dzieci (80 zabiegów transseptalnych w ciągu 5 lat, tj. około 16 zabiegów rocznie) oraz u dorosłych (ponad 100 zabiegów rocznie). Doświadczenie zdobyte w tak dużej grupie pacjentów umożliwiło mi również opracowanie i skuteczne wykonanie zabiegu ablacji migotania przedsionków przez nakłucie transseptalne wykonane przez żyłę podobojczykową u pacjentki z przerwaniem ciągłości żyły głównej dolnej, co było pierwszym takim doniesieniem w dostępnej literaturze [96].

Z wcześniejszych analiz porównujących ablacje wykonane metodą transseptalną i transaortalną wynika, że czas zabiegu jak i fluoroskopii były krótsze w przypadku tej pierwszej techniki. Podobnie w tej grupie skuteczny zabieg ablacji osiągnięto mniejszą liczbą aplikacji RF. W pracy Katritsis i wsp. porównano obie techniki ablacji u 44 pacjentów z WPW. Czas zabiegu, czas fluoroskopii oraz liczba aplikacji była istotnie mniejsza w technice

transseptalnej (odpowiednio 156 ± 58 minut vs 119 ± 39 minut, 37 ± 25 minut vs 22 ± 21 minut oraz 10 vs 6 aplikacji). W badaniu Manolisa i wsp. obejmującym 73 dorosłych pacjentów z jawną (61) i utajoną (14) lewostronną drogą dodatkową technika transseptalna ($n = 28$) wiązała się z krótszym czasem fluoroskopii w porównaniu z zabiegiem transaortalnym (81 ± 57 minut vs 121 ± 81 minut, $p < 0,005$) przy porównywalnej skuteczności (odpowiednio 86% vs 87%) [97]. Zastosowanie długiej koszulki stabilizującej poprawiło skuteczność zabiegu transseptalnego do 96%. Zmiana techniki transseptalnej na transaortalną była konieczna u 1 pacjenta, z PFO do transaortalnej u 3, natomiast u 5 pacjentów w grupie transaortalnej konieczne było wykonanie kolejnego zabiegu transseptalnego w kolejnej sesji. Zastosowanie technik elektroanatomicznych z wykluczeniem fluoroskopii nie jest powszechne, ale jest możliwe w przypadku zastosowania echokardiografii przezprzełykowej lub wewnątrzsercowej. Innym podejściem jest wykonywanie zabiegów techniką transaortalną po wcześniejszej rekonstrukcji 3D części wstępującej aorty. Większość badaczy nie włączała pacjentów z drogami lewostronnymi do analizy, koncentrując się wyłącznie na arytmiiach prawostronnych. Clark i wsp. w jednym z pierwszych badań wykrył badanie TEE do wykonania nakłucia transseptalnego, co umożliwiło skuteczny zabieg ablacji u 10 dzieci wyłącznie z wykorzystaniem EnSite™. Jednakże średni czas zabiegu wynosił 4,4 godziny [41]. W pozostałych badaniach z wykorzystaniem technik 3D pacjenci z lewostronnymi stanowili zdecydowaną mniejszość i zabiegi były wykonywane przez zastawkę aortalną (Casella i wsp., [78]), przez PFO lub transaortalnie (Scaglione i wsp. [88]). W pracy Steca i wsp. lewostronna droga dodatkowa występowała u 30 pacjentów [89]. Ablacja była wykonana przez PFO lub transaortalnie u dominującej większości pacjentów, jedynie w 3 przypadkach konieczne było wykonanie nakłucia transseptalnego pod kontrolą fluoroskopii. Papagianis i wsp. w swoim badaniu zezwalał na stosowanie krótkiej fluoroskopii do wprowadzenia elektrod diagnostycznych, a zabieg ablacji lewostronnych dróg był wykonany u 12 pacjentów bez podania techniki. Czas trwania zabiegów lewostronnych nie był szczegółowo analizowany.

Przedstawione przeze mnie badanie jest pierwszą prospektywną analizą, która porównuje 4 techniki wykonywania zabiegów ablacji lewostronnych dróg dodatkowych u dzieci w erze technik 3D. Generalnie, zabiegi ablacji dróg lewostronnych były dłuższe niż dróg prawostronnych. Zastosowanie techniki EnSite™ w obu przypadkach istotnie skracało czas znieczulenia oraz czas ablacji. Przy wykorzystaniu techniki transseptalnej i EnSite™ czas znieczulenia i zabiegu był najkrótszy, najkrótszy był czas fluoroskopii oraz skuteczny zabieg został osiągnięty mniejszą liczbą aplikacji. Podobnie, skuteczność zabiegu transseptalnego była wyższa niż techniki transaortalnej, szczególnie jeśli ocenimy skuteczność odległą. Dla techniki transseptalnej z Enite wynosiła 92%, a około 71% dla techniki transaortalnej z fluoroskopią lub EnSite™.

5.8. Wpływ stosowania systemu elektroanatomicznego na skuteczność ablacji

Po ponad 10-letnim okresie stosowania systemów elektroanatomicznych do zabiegów ablacji tzw. prostych form zaburzeń rytmu należałoby posumować dotychczasowe wyniki pod względem wpływu na skuteczność zabiegu. Wyniki przedstawionych badań wskazują jednoznacznie, że systemy elektroanatomiczne znacznie zmniejszają narażenie na promieniowanie rentgenowskie, a także są w stanie praktycznie całkowicie lub prawie całkowicie wyeliminować promieniowanie rentgenowskie w zabiegach ablacji u dorosłych i u dzieci. Z drugiej strony obserwuje się wyraźny trend w kierunku skracania czasu trwania zabiegów, co szczególnie jest ważne w przypadku zabiegów w znieczuleniu ogólnym.

Przeprowadzone przeze mnie badania wskazują, że skuteczność zabiegów ablacji z wykorzystaniem systemu Enite wskazuje na jego przewagę nad klasycznym systemem fluoroskopowym i ta przewaga rośnie w miarę stosowania metody.

Po pierwsze, analiza czasu od rozpoczęcia procedury poprzez badanie elektrofizjologiczne do wykonania pierwszej i ostatniej aplikacji we wszystkich grupach wykazała, że uległ on skróceniu. Co więcej, czas ten uległ dalszemu skróceniu w przypadku systematycznego stosowania systemu elektroanatomicznego, na co wskazuje analiza zabiegów z początkowego i końcowego stosowania tej techniki.

Kolejnym ważnym punktem jest ocena liczby i czasu trwania aplikacji RF koniecznych do osiągnięcia skutecznej ablacji. W większości badań problem ten nie jest szczególnie analizowany. W jednym z pierwszych badań Papagiannis i wsp. opisują skuteczność zabiegów ablacji u dzieci uzyskaną po średnio $9,2 \pm 10$ aplikacjach RF w przypadku systemu EnSite™ i $10,3 \pm 9,5$ w przypadku fluoroskopii [37]. W badaniu Alvareza u pacjentów z AVNRT zarówno liczba aplikacji RF, jak i czas ich trwania był porównywalny pomiędzy grupą z EnSite™ i grupą fluoroskopową (odpowiednio: liczba aplikacji $5,2 \pm 4,2$ vs $6 \pm 5,4$ oraz czas aplikacji $4,7 \pm 3,7$ vs $5,4 \pm 5,1$ min) przy praktycznie jednakowym czasie trwania procedury (152 ± 35 vs 150 ± 41 min) i takiej samej skuteczności [71]. W badaniu Caselli i wsp. nie rozdzielono poszczególnych grup arytmii poddawanych ablacji [78]. Generalnie liczba aplikacji RF w grupie EnSite™ wynosiła $10,1 \pm 7,1$ ze średnim czasem trwania aplikacji $8,4 \pm 5,6$ minut [78] przy 76% zabiegów wykonanych bezfluoroskopowo. Bardziej szczegółowa analiza była wykonana w dużym badaniu Fernandez-Gomez i wsp. obejmujących głównie pacjentów z prawostronnymi formami zaburzeń rytmu [79]. Analizując 146 pacjentów z AVNRT stwierdzono, że 100% ablacji było wykonanych bezfluoroskopowo, a skuteczny zabieg osiągnięto wykonując średnio $12,20 \pm 10,8$ aplikacji RF oraz przy sumarycznym czasie aplikacji $5,4 \pm 5,4$ minut. W przypadku dróg dodatkowych liczba aplikacji wynosiła $11,3 \pm 9,1$, a średni czas aplikacji RF $5,2 \pm 5,9$ minut. W przypadku dróg dodatkowych 82% zabiegów było wykonanych bezfluoroskopowo.

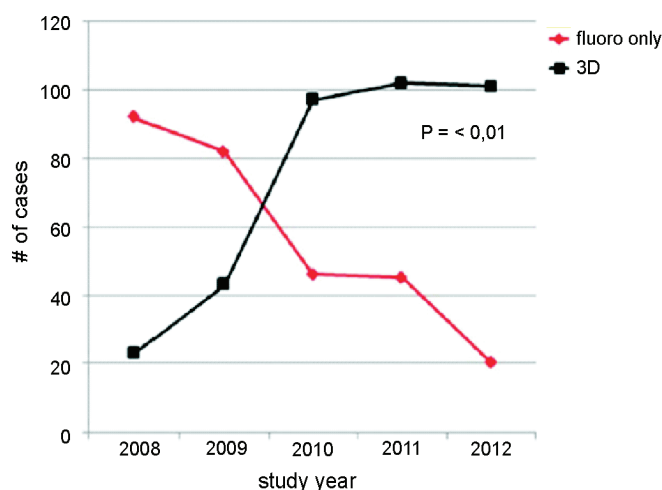
W moim badaniu zarysowuje się tendencja do lepszego efektu ablacji przy stosowaniu systemu elektroanatomicznego. W przypadku częstoskurczów węzłowych zastosowanie

systemu EnSite™ skracало czas do pierwszej aplikacji (21 ± 13 minut vs 24 ± 7 minut) oraz liczbę aplikacji RF i ich czas ($8,9 \pm 8,2$ vs $8,0 \pm 7,9$ i 192 ± 136 sekund vs 178 ± 15 sekund), choć różnice nie osiągnęły istotności statystycznej. W przypadku prawostronnych dróg dodatkowych nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy grupami. Natomiast w grupie dróg lewostronnych obserwuje się największe różnice uzależnione od stosowanej techniki. Wykonanie zabiegu ablacji techniką transseptalną charakteryzowało się pod każdym względem lepszymi parametrami. Czas do pierwszej i ostatniej aplikacji oraz liczba i czas aplikacji jest wyraźnie na korzyść dostępu transseptalnego, bez względu na to, czy jest stosowany system elektroanatomiczny czy też nie. Natomiast jeżeli oceniamy skuteczność metody, to była ona zdecydowanie najwyższa (92%) przy stosowaniu techniki transseptalnej z systemem EnSite™ w porównaniu z pozostałymi technikami. Analiza wykorzystania systemu EnSite™ w okresie początkowym i końcowym wskazuje na dodatkowe korzyści. O ile w badanej grupie pacjentów w zakresie techniki ablacji z wykorzystaniem fluoroskopii nie obserwowano istotnych zmian, o tyle w przypadku systemu EnSite™ kilka istotnych zmian się pojawia. Otóż nie tylko skrócił się czas zabiegu z 75 ± 31 minut do 59 ± 29 minut oraz czas fluoroskopii z $6,1 \pm 10$ minut do $1,3 \pm 10$ minut, to istotnemu zmniejszeniu uległa ogólna liczba aplikacji RF z $8,9 \pm 7,7$ do $6,2 \pm 5,7$. Wskazuje to na fakt, że stosowanie systemu elektroanatomicznego w dłuższym czasie może wiązać się z dalszą poprawą wyników ablacji w grupie pacjentów ≤ 18 roku życia.

Po zakończeniu moich badań pojawiła się ważna publikacja wieloośrodkowa analizująca wykonywanie zabiegów ablacji u pacjentów < 21 . roku życia z zespołem WPW [98]. W grupie 651 pacjentów (średni wiek 13 ± 4 lat) wykonywano zabieg metodą klasyczną (fluoroscopia, $n = 285$) lub z zastosowaniem systemu 3D (EnSite™ lub CARTO, $n = 366$). Analiza była wykonywana retrospektywnie, a stosowanie fluoroskopii lub systemu 3D było uzależnione od preferencji wykonującego zabieg. Stwierdzono, że ablacja z systemem 3D charakteryzowała się wyższą okołozabiegową skutecznością (97% vs 91%, $< 0,01$) oraz nieznacznie mniejszym ryzykiem nawrotu (5% vs 9%, $p = 0,09$) w czasie $1,4 \pm 1,2$ obserwacji. Analizując preferencje elektrofizjologów stwierdzono, że chęć do stosowania systemu elektroanatomicznego do wspomaganiania zabiegów wzrosła istotnie na przestrzeni 4 lat prowadzenia badania, co pokazuje rycina 28.

5.9. Zabiegi krioablacji zaburzeń rytmu zlokalizowanych w pobliżu układu bódźcoprzewodzącego

Pierwsze zastosowanie krioablacji do leczenia zespołu WPW u dzieci zostało opisane przez Gaitę i wsp. w 2004 roku [99]. U czwórki dzieci z nawrotnych częstoskurczem w łączu (PJRT) uzyskali oni 100% skuteczność. Jest to dość szczególna postać wolnoprzewodzącej wstecznie drogi dodatkowej zlokalizowana przy ujściu zatoki wieńcowej dość dobrze reagująca na leczenie zabiegowe.



Ryc. 28. Trend stosowania mapowania 3D vs fluoroskopia w zabiegach ablacji. Wykres pokazuje trend w wykonywaniu zabiegów ablacji z zastosowaniem systemów 3D i wyłącznie fluoroskopii w badanym okresie. Zmniejszenie wykorzystania fluoroskopii i wzrost stosowania systemów 3D w ciągu lat jest istotnie statystycznie ($p < 0,001$) (Ceresnak S.R. i wsp, J. Cardiovasc Electrophysiol 2015; 26: 412-416, przedrukowano za zgodą John Wiley and Sons)

W kolejnych badaniach zastosowanie tej techniki do leczenia innych rodzajów częstoskurczów zależnych od drogi dodatkowej zaprezentowano rok później, opisując skuteczność 62-92%, niestety z dość wysokim odsetkiem nawrotów w czasie dłuższej obserwacji (7-29%) [100-102]. Wyniki tych analiz wpłynęły na zmianę techniki wykonywania zabiegów krioablacji poprzez stosowanie elektrody z dłuższą, 6 mm lub nawet 8 mm końcówką, wydłużenie czasu krioaplikacji oraz wykonanie drugiego chłodzenia (tzw. aplikacja „bonusowa”) [103, 104]. Zaczęto również zwracać większą uwagę na „czas do efektu” w czasie wykonywania kriomapy, podobnie jak jest to praktykowane w zabiegach z wykorzystaniem energii RF [105]. Wszystkie badania z wykorzystaniem krioablacji wskazywały na duże bezpieczeństwo tej techniki, tak więc zaczęto ją stosować do wykonywania zabiegów ablacji arytmii zlokalizowanych w okolicy łącza przedsionkowo-komorowego [106, 107]. W jednym z największych badań obejmujących 1303 zabiegi krioablacji u dorosłych, u których wykonano zabieg krioablacji, w pobliżu układu bódźcoprzewodzącego nie stwierdzono żadnego przypadku trwałego bloku przedsionkowo-komorowego, mimo iż w trakcie krioaplikacji w 12% zabiegów obserwowano przejściowy blok przedsionkowo-komorowy [108].

Stosowanie techniki elektroanatomicznej w zabiegach krioablacji było również przedmiotem kilku badań. W przypadku systemu EnSite™ podłączenie elektrody do krioablacji nie stanowi żadnego problemu i można nią wykonywać zarówno mapowanie, jak i krioaplikację (108). W przypadku systemu CARTO sytuacja jest bardziej skomplikowana,

kosztochłonna, ale możliwa. Do mapowania wykorzystuje się najczęściej elektrodę ablacyjną Navistar. Po zakończonej mapie elektroanatomicznej elektrodę do kriabłacji można podłączyć jako elektrodę diagnostyczną celem oceny potencjałów, a następnie przed wykonaniem krioaplikacji należy ją odłączyć, wykonując krioabłację bez kontroli jej położenia. Technika ta była już z powodzeniem stosowana w pojedynczych badaniach [88, 109]. Mimo tych badań, stosowanie podejścia bezfluoroskopowego do wykonywania zabiegów krioabłacji substratu, znajdującego się w pobliżu układu bódźcprzewodzącego u pacjentów < 18. roku życia nie jest rozpowszechnione.

W badaniu własnym zabieg krioabłacji w pobliżu układu bódźcprzewodzącego został wykonany u 51 dzieci (średni wiek 13 lat), głównie z jawnym lub utajonym zespołem WPW ($n = 40$), AVNRT ($n = 8$) i AT ($n = 2$). System EnSite™ został wykorzystany u 29 pacjentów i blisko 90% zabiegów było wykonanych z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii. Zastosowanie systemu elektroanatomicznego wiązało się z ponad 10-krotnym skróceniem czasu fluoroskopii ($17,4 \pm 13,3$ vs $1,5 \pm 4,8$ minut, $p < 0,001$) i dawki promieniowania (50 ± 50 vs $6,9 \pm 18,9$ mGy, $p < 0,001$) przy zachowanym trendzie do krótszego czasu trwania zabiegu (102 ± 41 vs 119 ± 33 minuty, $p = ns$). Nie zaobserwowano różnic w liczbie krioaplikacji i łącznego czasu stosowanie krioenergii dla podejścia fluoroskopowego i z systemem EnSite™. Skuteczność okołozabiegowa była również porównywalna w obu grupach (83% vs 79%). W 7 przypadkach ze względu na nieskuteczność krioabłacji konieczna była zmiana na abłację RF i w 5 przypadkach uzyskano skuteczny efekt. Bezpieczeństwo i skuteczność wykonywania zabiegu abłacji RF w obszarze układu bódźcprzewodzącego była wcześniej opisana przez mnie u pacjenta z nawracającymi częstoskurczami zależnymi od zespołu WPW, u którego zabieg krioabłacji był nieskuteczny, a abłacja RF od strony zastawki aortalnej okazała się bezpieczna i skuteczna [110].

Skuteczność krioabłacji jest niższa w porównaniu z abłacją RF, co jest nie tylko obserwacją wynikającą z prezentowanej pracy, ale była również opisywana w innych publikacjach [100, 106]. Przyczyną niższej skuteczności może być wielkość blizny tworzonej przez krioenergię, która zależy od czasu aplikacji oraz osiągniętej temperatury. Opiszanych jest wiele czynników wpływających na efektywność tworzenia się blizny, takich jak wielkość elektrody, kontakt z tkanką, temperatura elektrody oraz ogrzewanie konwekcyjne [111, 112]. Poprawę efektu można było osiągnąć poprzez zmianę wielkości elektrody stosowanej do krioabłacji (np. z 4 do 6 lub 8 mm) lub wydłużenie czasu aplikacji, o czym pisano powyżej. Innym sposobem ominięcia problemów z uzyskaniem efektywnej krioabłacji było pominięcie kriomapy wykonywanej zamrażaniem tkanki do -30°C i rozpoczęcie zabiegu od razu od stosowania krioaplikacji z temperaturą około -80°C z oceną czasu do efektu (25 sekund). To podejście zostało udokumentowane jako bezpieczne i skuteczne w grupie 25 pacjentów (średni wiek 13 lat) z prawostronną drogą dodatkową zlokalizowaną w okolicy przegrodowej [113]. Liczba i czas krioaplikacji w opisanym badaniu Kalmana i wsp. była podobna jak w omawianym badaniu ($7,4 \pm 4,5$ aplikacji z śred-

nim czasem aplikacji 593 ± 316 sekund). Strategia przyjęta w mojej pracy była nieznacznie odmienna. W kilku wcześniejszych zabiegach stwierdzono, że wykonywanie kriomapy, a nawet krótkiej krioablacji (< 30 sekund) było nieskuteczne, a po upewnieniu się, że nie obserwowano żadnego negatywnego wpływu na przewodzenie przedsionkowo-komorowe w czasie krioaplikacji wykonano zabieg z wykorzystaniem energii RF. W prezentacji na Konferencji EHRA w Madrycie w 2011 roku wykazano, że efekt ablacji był widoczny po średnio $2,7 \pm 2,3$ aplikacjach RF bez żadnych skutków ubocznych [114]. Co więcej, w tej grupie praktycznie nie obserwowano nawrotu arytmii. Skuteczność zabiegu krioablacji w dużym wcześniej cytowanym badaniu wynosiła 98% dla AVNRT, 88-90% dla dróg dodatkowych zlokalizowanych w okolicy przegrodowej i przednio-przegrodowej [108].

Z przedstawionych badań własnych oraz piśmiennictwa wynika, że zabiegi z zastosowaniem krioablacji u dzieci z ogniskami arytmii zlokalizowanymi w okolicy układu bodźco-przewodzącego są bezpieczne, chociaż skuteczność pozostaje niższa w porównaniu z techniką RF. Wykorzystanie systemu elektroanatomicznego pozwala praktycznie na całkowite wyeliminowanie fluoroskopii bez niekorzystnego wpływu na skuteczność, z korzystnym trendem w kierunku krótszego czasu trwania zabiegu. W przypadku nieskutecznego zabiegu krioablacji można w wybranych przypadkach bezpiecznie wykonać ablację RF, co znacznie poprawia skuteczność zabiegu bez wzrostu ryzyka wystąpienia powikłań.

6. WNIOSKI

- 1) Zastosowanie systemu elektroanatomicznego w zabiegach ablacji znacznie zmniejsza narażenie pacjentów na promieniowanie rentgenowskie. W wybranych zaburzeniach rytmu, najczęściej zlokalizowanych po prawej stronie serca, pozwala praktycznie całkowicie lub prawie całkowicie wyeliminować promieniowanie rentgenowskie.
- 2) Stosowanie systemu elektroanatomicznego celem ograniczenia lub wyeliminowania promieniowania rentgenowskiego jest bezpieczne na każdym etapie wykonywania zabiegu, gdyż pozwala precyzyjnie monitorować położenie wszystkich elektrod od momentu ich wprowadzania do układu naczyniowego, poprzez pozycjonowanie w sercu do wykonywania ablacji dowolną techniką.
- 3) Regularne wykorzystywanie systemu elektroanatomicznego skraca czas znieczulenia ogólnego oraz czas trwania zabiegu ablacji.
- 4) Zastosowanie systemu elektroanatomicznego w zabiegach ablacji zmniejsza liczbę i czas aplikacji RF w poszczególnych formach zaburzeń rytmu i wskazuje na trend w kierunku wyższej skuteczności. Ze względu na wyraźny efekt uczenia, dalsze stosowanie tej techniki pozwala oczekiwać jeszcze lepszych wyników.
- 5) Skuteczność ablacji dróg dodatkowych zlokalizowanych po lewej stronie zależy od stosowanej techniki. Zastosowanie techniki transseptalnej w porównaniu do transaortalnej charakteryzuje się uzyskiwaniem skutecznej ablacji przy najniższej liczbie aplikacji oraz z najmniejszym narażeniem pacjenta na promieniowanie rentgenowskie. Dodatkowe wykorzystanie systemu elektroanatomicznego wpływa korzystnie na skuteczność zabiegów ablacji dodatkowych dróg lewostronnych.
- 6) Zabiegi krioablacji u dzieci z ogniskami arytmii zlokalizowanymi w okolicy układu bódźoprzewodzącego są bezpieczne, chociaż skuteczność pozostaje niższa w porównaniu z techniką RF. Wykorzystanie systemu elektroanatomicznego pozwala praktycznie na całkowite wyeliminowanie fluoroskopii bez niekorzystnego wpływu na skuteczność, z korzystnym trendem w kierunku krótszego czasu trwania zabiegu. W przypadku nieskutecznego zabiegu krioablacji można w wybranych przypadkach bezpiecznie wykonać ablację RF, co znacznie poprawia skuteczność zabiegu bez wzrostu ryzyka wystąpienia powikłań.

Streszczenie

W ostatnich latach dokonał się ogromny postęp w technikach wykonywania zabiegów ablacji zaburzeń rytmu. Jedną z głównych przyczyn tego rozwoju było wprowadzenie do zabiegów technik elektroanatomicznych umożliwiających uzyskanie trójwymiarowej rekonstrukcji serca z przyporządkowanymi potencjałami. Początkowo metody te były wykorzystywane do wspomagania ablacji u pacjentów ze złożonymi zaburzeniami rytmu (często-skurcze komorowe w strukturalnej chorobie serca lub migotaniu przedsionków) poprawiając w tej grupie skuteczność zabiegów. Równoległe zaczęto wykorzystywać te techniki celem ograniczenia, a nawet wyeliminowania promieniowania rentgenowskiego, co jest szczególnie istotne u dzieci i młodzieży, ze względu na znaną i udokumentowaną zależność pomiędzy dawką promieniowania a ryzykiem zachorowania na niektóre nowotwory. Zabiegi ablacji u dzieci zawsze były dość długimi procedurami oraz były obciążone dość dużą dawką promieniowania rentgenowskiego. Opisywane ryzyko powikłań było większe, a skuteczność zabiegów niższa w populacji pediatrycznej w porównaniu z zabiegami u dorosłych. Stąd też techniki zabiegów bezfluoroskopowych nie były początkowo chętnie stosowane u dzieci, a analiza pojedynczych prac ograniczała się do oceny korzystnego wpływu na skrócenie czasu fluoroskopii i dawki promieniowania, co najczęściej było okupione bardzo znacznym wydłużeniem czasu zabiegu.

Cel. Celem niniejszej pracy była analiza wpływu stosowanie systemu elektroanatomicznego w zabiegach ablacji u dzieci i młodzieży z zaburzeniami rytmu. Prospektywnej analizie poddano grupę pacjentów zakwalifikowanych do zabiegowego leczenia zaburzeń rytmu, u których wykonano zabieg ablacji RF lub krioablacji z wykorzystaniem fluoroskopii, a następnie systemu elektroanatomicznego EnSite™.

Metodyka. Opracowano technikę wykonywania zabiegów ablacji z wykorzystaniem diagnostycznej elektrody 4-polarnej oraz sterowalnej 10-polarnej, za pomocą których tworzą geometrię prawego przedsionka, zaznaczano ważne struktury takie jak pęczek Hisa, zatokę wieńcową, przetrwały otwór owalny oraz zatokę wieńcową. Badanie elektrofizjologiczne i zabieg ablacji wykonywano wg standardowych zaleceń dla poszczególnych grup arytmii. Zabiegi arytmii lewostronnych w pierwszym okresie wykonywano głównie techniką tansaortalną, a następnie transseptalną. Zaburzenia rytmu sąsiadujące z układem bódźcoprzewodzącym kwalifikowano do zabiegu krioablacji.

Analizie poddano parametry wiążące się z zabiegiem (czas znieczulenia, czas zabiegu, czas poszczególnych etapów procedury i rekonstrukcji serca z systemem elektroanatomicznym oraz czas badania elektrofizjologicznego), narażeniem pacjenta na promieniowanie rentgenowskie (czas fluoroskopii, dawka promieniowania), parametrami ablacji (czas do pierwszej i ostatniej aplikacji, liczba aplikacji RF, czas aplikacji RF) oraz skuteczność okołozabiegową, szpitalną i odległą. Analizę przeprowadzono dla całej populacji pacjentów oraz dla poszczególnych grup zaburzeń rytmu. Dodatkowo przeanalizowano

różne strategie wykonywania zabiegów ablacji dróg dodatkowych o lewostronnej lokalizacji oraz dla grupy krioablacji.

Wyniki. Do badania włączono 465 pacjentów, u których wykonano w sumie 542 zabiegi ablacji (średnia wieku $12,8 \pm 3,8$ lat). Z analizy wyłączono pacjentów z wrodzonymi wadami serca po korekcji kardiochirurgicznej. Ostatecznie zabieg ablacji częstoskurczu węzłowego (AVNRT) wykonano u 135 (25%) pacjentów, drogi dodatkowej u 300 (59%), częstoskurczu przedsionkowego u 26 (9%). Technikę RF wykorzystano w 438 przypadkach, a krioablację w 49, natomiast oba źródła energii (krioablację i ablacje RF) zastosowano u 14 pacjentów. W 258 przypadkach zastosowano system elektroanatomiczny (EnSite™).

Zastosowanie systemu elektroanatomicznego wiązało się ze znacznym zredukowaniem czasu fluoroskopii ($3,5 \pm 7,3$ minut vs $16,4 \pm 12,3$ minut, $p < 0,001$) i dawki promieniowania ($12,0 \pm 27,7$ mGy vs $55,0 \pm 90,2$ mGy, $p < 0,001$) w porównaniu z zabiegami z wykorzystaniem wyłącznie fluoroskopii. Stwierdzono, że użycie systemu elektroanatomicznego wpłynęło korzystnie na czas znieczulenia ($87,8 \pm 35,9$ minut vs $97,6 \pm 36,9$ minut, $p = 0,003$) i czas zabiegu ($62,7 \pm 30,9$ minut vs $69,5 \pm 36,3$ minut, $p = 0,03$). Narażenie na promieniowanie rentgenowskie przekraczające 100 mGy obserwowano u 35 pacjentów w grupie fluoroskopowej (17%) oraz tylko u 3 w grupie EnSite (0,01%), ($p < 0,001$).

Wspomaganie ablacji systemem elektroanatomicznym skróciło czas pierwszej aplikacji RF (z $26,6 \pm 17,8$ minut do $23,4 \pm 16,5$ minut, $p = 0,02$) pomimo konieczności wykonania mapy przedsionka. W całej grupie badanych nie zaobserwowano istotnych różnic w liczbie i czasie aplikacji RF pomiędzy grupą fluoroskopową i EnSite™.

W przypadku stosowania systemu elektroanatomicznego (EnSite™) zaobserwowano istotny wpływ „krzywej uczenia” na wszystkie parametry zabiegu porównując pierwsze i ostatnie 100 zabiegów. W przypadku zabiegów fluoroskopowych nie obserwowano takich różnic. W zabiegach ablacji z systemem EnSite™ znaczną redukcję zaobserwowano zarówno dla czasu trwania zabiegu (z $75,6 \pm 31,5$ minut do $58,8 \pm 29,5$ minut, $p < 0,001$), jak i czasu fluoroskopii (z $6,1 \pm 10$ minut do $1,3 \pm 10,0$ minut, $p < 0,001$) oraz dawki promieniowania rentgenowskiego (z $17,3 \pm 230,3$ mGy do $5,3 \pm 3,3$ mGy $p < 0,001$) oraz liczby aplikacji RF (z $8,9 \pm 7,7$ do $6,3 \pm 5,7$, $p = 0,02$). Skuteczność ablacji wzrosła również z 90% do 95%, choć różnica nie osiągnęła istotności statystycznej.

Zabieg ablacji częstoskurczów węzłowych (AVNRT). Zabieg ablacji AVNRT wykonano u 58 pacjentów w oparciu o system fluoroskopowy, a u 65 z systemem EnSite™. Skuteczność zabiegu była porównywalna dla obu technik (97%) przy znacznym skróceniu czasu fluoroskopii ($10,5 \pm 6,8$ minut vs $1,0 \pm 3,0$ minut, $p < 0,001$) i dawki promieniowania ($37,1 \pm 48,3$ mGy vs $3,6 \pm 9,5$ mGy, $p < 0,001$) przy zastosowaniu EnSite™. Liczba aplikacji RF i czas aplikacji były porównywalne pomiędzy grupami, a 80% zabiegów było wykonanych z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii.

Zabieg ablacji jawnych i utajonych dróg dodatkowych. Zastosowanie systemu EnSite™ ($n = 126$) do zabiegów ablacji dróg dodatkowych charakteryzowało się znacznym skróceniem czasu fluoroskopii ($17,2 \pm 11,3$ minut vs $3,7 \pm 7,0$ minut, $p < 0,001$) oraz zmniej-

szeniem dawki promieniowania rentgenowskiego ($60,2 \pm 10$ mGy vs $15,5 \pm 34,1$ mGy, $p < 0,001$) w porównaniu z zabiegami fluoroskopowymi ($n = 118$). Wyniki były lepsze zarówno w przypadku dróg lewostronnych, jak i prawostronnych. Zabieg ablacji drogi dodatkowej z całkowitym wyeliminowaniem fluoroskopii wykonano u 42% pacjentów; u 11% z drogą lewostronną oraz u 76% z drogą prawostronną. Wykorzystanie systemu EnSite™ do ablacji dróg dodatkowych wiązało się z trendem do wyższej skuteczności okołozabiegowej (89% vs 94%), choć skuteczność oceniania przy wypisie ze szpitala była identyczna (86%).

Porównanie technik ablacji lewostronnych dróg dodatkowych. W przypadku ablacji dróg dodatkowych o lewostronnej lokalizacji stosowano cztery techniki wykonywania zabiegu: dostęp transaortalny i transseptalny z systemem fluoroskopowym lub EnSite™. W badanej podgrupie stwierdzono, że zabieg transseptalny charakteryzuje się najkrótszym czasem ablacji, najkrótszym czasem fluoroskopii i najniższą dawką promieniowania i to zarówno w przypadku stosowania fluoroskopii, jak i EnSite™ w stosunku do grupy zabiegów transaortalnych. Dostęp transseptalny pozwolił na uzyskanie skutecznej ablacji zmiennie mniejszą liczbą ($9,7 \pm 8,8$ vs $5,5 \pm 6,9$, $p = 0,003$) oraz czasem aplikacji RF (247 ± 174 sekund vs 184 ± 132 sekund, $p < 0,03$). Najwyższą skuteczność zabiegu stwierdzono również dla zabiegu transseptalnego z zastosowaniem systemu elektroanatomicznego i to zarówno przy wypisie ze szpitala (98%), jak i w ocenie odległej (92%).

Zabieg krioablacji. Zabieg krioablacji punktowej wykonano u 51 pacjentów z drogą dodatkową okołoprzegrodową, częstoskurczem węzłowym lub przedsionkowym. U 12 pacjentów był to zabieg wykonany po wcześniejszym nieskutecznym zabiegu metodą RF (u 10 drugi, u 2 trzeci). U 22 pacjentów zabieg był wykonany metodą fluoroskopową, a u 29 z systemem EnSite™. Zabieg z „0” fluoroskopią wykonano u 90% pacjentów. System elektroanatomiczny wpływał istotnie na skrócenie czasu fluoroskopii ($17,4 \pm 13,3$ minut vs $1,5 \pm 3,8$ minut, $p < 0,001$) oraz dawki promieniowania ($50,3 \pm 49,8$ mGy vs $6,9 \pm 18,9$ mGy, $p < 0,001$). Skuteczność obu technik była porównywalna (83% vs 79%) przy stosowaniu wyłącznie krioablacji. W 7 przypadkach konieczne było zastosowanie obu metod (RF i krioablacji) poprawiające skuteczność zabiegu do 94% i 89% odpowiednio dla fluoroskopii i EnSite™.

Wnioski. Zabieg ablacji RF u dzieci i młodzieży z zaburzeniami rytmu charakteryzuje się wysoką skutecznością i bezpieczeństwem. Zastosowanie techniki elektroanatomicznej pozwala na bardzo radykalne zmniejszenie lub wyeliminowanie promieniowania rentgenowskiego, przy korzystnym wpływie na skrócenie czasu znieczulenia ogólnego i czasu zabiegu. W poszczególnych przypadkach, jak ablacja drogi dodatkowej lewostronnej techniką transseptalną, pozwala na uzyskanie znacznej redukcji liczby i czasu aplikacji RF przy bardzo korzystnym wpływie na skuteczność okołozabiegową i odległą. Podobne wyniki są obserwowane zarówno dla ablacji wykonywanych techniką RF, jak i krioablacji. Stosowanie techniki z ograniczeniem fluoroskopii charakteryzowało się istotnym efektem „krzywej uczenia”, co pozwala oczekiwać dalszego korzystnego wpływu na uzyskiwane wyniki zabiegów z wykorzystaniem techniki elektroanatomicznej.

Summary

Recently, spectacular advancements have been made in the ablation techniques for the treatment of arrhythmias. One of the most important factors was the introduction and development of electroanatomical systems that enabled a three dimensional (3D) reconstruction of the heart with super-imposed electrical potentials on its surface. Initially, it has been used to perform complex arrhythmia ablation, leading to increased success rates in patients with ventricular tachycardia related to structural heart disease or in subjects with atrial fibrillation. In addition, electroanatomical methods have been also used to reduce or even exclude radiation during the ablation. It is particularly important in children and adolescents as there are well documented and generally accepted relations between the exposition to X-rays and the risk of developing several types of cancer.

Arrhythmia ablation in children has been generally a lengthy procedure with significant radiation exposure from X-ray imaging. The risk of an ablation is generally higher and the success rate is lower in paediatric population than in adults. Therefore, electroanatomical procedures were rarely used for children to reduce X-ray exposition during ablation. In the majority of cases “0” fluoroscopic approach was related to significant increase in the procedure duration and most of scientific analyses were focused on X-ray reduction.

Aim. Due to increased recognition of potentially harmful effects of radiation exposure in paediatric patients, which could be reduced by non-fluoroscopic methods, the aim of this study is to assess the clinical value of electroanatomical system implementation in the ablation of arrhythmias in children and adolescents.

A detailed prospective analysis of ablation procedures in consecutive paediatric patients referred for interventional treatment of arrhythmia has been performed. Ablations were performed initially with standard fluoroscopic method and later using the EnSite™ system.

Methods. A technique to perform ablation with the use of two diagnostic electrodes has been developed, including a 4 pole and a steerable 10 pole electrode, allowing creation of precise anatomical map of the right atrium with marked vital points: the Bundle of His, tricuspid valve and coronary sinus. The electrophysiological study (EPS) and ablation were performed in a generally accepted manner. Earlier, most of the left-sided arrhythmias were treated using the retrograde, trans-aortic technique; more recently, the trans-septal approach is being used. Arrhythmic substrates located close to the conductive system are qualified for cryoablation rather than radiofrequency (RF) ablation.

Several procedural variables were analysed, including the time of general anaesthesia, total procedural time, the duration of consecutive procedural steps, 3-D heart reconstruction with electroanatomical system, duration of pre-ablation EPS, X-ray exposure

(duration of fluoroscopy and the X-ray dosage), ablation parameters (time to first and last application, number and duration of RF applications), and the efficacy of the ablation for various arrhythmia subsets. A separate analysis was dedicated to left sided accessory pathway ablation and cryoablation.

Results. A total of 465 consecutive patients were included, and 542 ablations were performed (mean age: 12.8 ± 3.8 years). Patients with significant congenital defects after surgical correction were excluded from analysis. RF ablation of atrio-ventricular re-entrant tachycardia (AVNRT) was performed in 135 (25%), accessory pathway (AP) in 300 (59%) and atrial tachycardia in 26 (9%) subjects. RF energy ablation was performed in 438 cases while cryoablation was applied in 49 patients. Both methods were used in 14 patients. In 258 cases, the EnSite™ was used during ablation.

The usage of electroanatomical system was related to significant reduction in fluoroscopy time: 3.5 ± 7.3 minutes vs. 16.4 ± 12.3 minutes, $p < 0.001$ with X-ray dosages of 12.0 ± 27.7 mGy vs. 55.0 ± 90.2 mGy, $p < 0.001$ in comparison with fluoroscopic ablation. The usage of EnSite™ decreased the general anaesthesia time (87.8 ± 35.9 minutes vs. 97.6 ± 36.9 minutes, $p = 0.003$) and procedure duration (62.7 ± 30.9 minutes vs. 69.5 ± 36.3 minutes, $p = 0.03$). The radiation exposition exceeding 100 mGy was observed in 35 patients (17%) with fluoroscopic approach in compared to 3 (0.01%) when EnSite™ was used ($p < 0.001$).

The use of EnSite™ during ablation reduced time to the first RF application (23.4 ± 16.5 minutes vs. 26.6 ± 17.8 minutes, $p = 0.02$) despite the time necessary to make the 3D reconstruction of the right atrium. However, there were no differences in the number and duration of RF applications between the two groups.

There was a significant impact of learning curve on most of ablation parameters, as assessed by comparison of the first and last 100 cases. In fluoroscopic ablations, there were no differences between the initial and final 100 cases. In EnSite™ ablations, the reduction was observed for duration of ablation (75.6 ± 31.5 minutes vs. 58.8 ± 29.5 minutes, $p < 0.001$), fluoroscopic time (6.1 ± 10 minutes vs. 1.3 ± 10 minutes, $p < 0.001$), X-ray dose (17.3 ± 23.3 mGy vs. 5.3 ± 3.3 mGy $p < 0.001$) and the number of RF application (8.9 ± 7.7 vs. 6.3 ± 5.7 , $p = 0.02$). The success rate increased from 90% to 95%, however the difference did not reached statistical significance.

The ablation of AVNRT. The ablation of AVNRT was performed in 58 patients using fluoroscopy only and in 65 with EnSite™. The success rate was identical in both methods (97%), however the X-ray dose was reduced (3.6 ± 9.5 mGy vs. 37.1 ± 48.3 mGy, $p < 0.001$) along with the fluoroscopy time reduction (1.0 ± 3.0 minutes vs. 10.5 ± 6.8 minutes, $p < 0.001$) in EnSite™ group. The number and duration of RF application were similar in both groups. In EnSite™ group, 80% of cases were performed with “0” fluoroscopy.

The ablation of accessory pathways. The EnSite™ ($n = 126$) reduced total fluoroscopy time (3.7 ± 7.0 minutes vs. 17.2 ± 11.3 minutes, $p < 0.001$) and X-ray dose (15.5 ± 34.1 mGy vs. 60.2 ± 10 mGy, $p < 0.001$) in comparison with fluoroscopic approach ($n = 118$). This was similar for right and left sided pathways, “0” fluoroscopy ablation was achieved in 42% of patients; 11% of left-sided pathways and 76% with right sided pathways. The use

of EnSite™ for accessory pathway ablation was related to slightly better outcome assessed at the end of procedure (89% vs. 94%), but at the discharge the success rate was identical for both approaches (86%).

The ablation of left sided accessory pathways. In the case of left sided pathways, four procedural techniques were analysed: transaortic vs. transseptal with fluoroscopic or EnSite™ approach. The transseptal approach resulted in shorter ablation time, shorter fluoroscopy time and lower X-ray exposure for both fluoroscopic and EnSite™ technique in comparison to the transaortic approach. In addition, procedures performed via transseptal approach had a significantly lower number of RF applications (5.5 ± 6.9 vs. 9.7 ± 8.8 , $p = 0.003$) and RF time (184 ± 132 seconds vs. 247 ± 174 seconds, $p < 0.03$), in comparison to transaortic cases. The highest success rate was observed in cases performed with transseptal approach and use of EnSite™, both peri-procedurally (98%) and during follow up (92%).

Cryoablation. Cryoablation was performed in 51 patients with paraseptal AP, AVNRT or atrial tachycardia. In 12 patients, it was performed as a repeated procedure (in 10 second, in 2 third ablation) after failed RF ablation due to high risk of atrioventricular block. In 22 patients, cryoablation was performed with the use of fluoroscopy only and in 29 patients with EnSite™. “0” fluoroscopy ablation was achieved in 90% of patients. The electroanatomical system reduced fluoroscopic time from 17.4 ± 13.3 minutes to 1.5 ± 3.8 minutes, $p < 0.001$, and the X-ray dose from 50.3 ± 49.8 mGy to 6.9 ± 18.9 mGy, $p < 0.001$. The success ratio of both approaches was similar (83% for fluoroscopy and 79% for EnSite™) when cryoablation only was used. In 7 cases of failed cryoablation, RF ablation was also used increasing the success rate to 94% and 89%, respectively.

Conclusion. The ablation of arrhythmia in children and adolescents is generally safe and has a high success rate. The use of electroanatomic technology significantly reduces the X-ray exposure with positive effect on general anaesthesia time and procedure duration. In select cases such as left sided accessory pathway ablation, EnSite™ decreased the number and the duration of RF applications required to obtain peri-procedural and late ablation success. These similar effects were observed for RF ablation and cryoablation. Nevertheless, the usage of electroanatomical techniques show significant effect of learning curve, operator dependent and therefore further improvement in success rate could be expected as clinical experience increases.

Bibliografia

- [1] Friedman R.A., Walsh E.P., Silka M.J., Calkins H., Stevenson W.G., Rhodes L.A. et al. *NASPE Expert Consensus Conference: Radiofrequency catheter ablation in children with and without congenital heart disease. Report of the writing committee.* North American Society of Pacing and Electrophysiology. Pacing Clin. Electrophysiol. PACE. 2002 Jun; 25(6): 1000-17.
- [2] Deanfield J., Camm J., Macartney F., Cartwright T., Douglas J., Drew J. et al. *Arrhythmia and late mortality after Mustard and Senning operation for transposition of the great arteries. An eight-year prospective study.* J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 1988 Oct; 96(4): 569-76.
- [3] Hayes C.J., Gersony W.M. *Arrhythmias after the Mustard operation for transposition of the great arteries: a long-term study.* J. Am. Coll. Cardiol. 1986 Jan; 7(1): 133-7.
- [4] Fishberger S.B., Wernovsky G., Gentles T.L., Gauvreau K., Burnett J., Mayer J.E. et al. *Factors that influence the development of atrial flutter after the Fontan operation.* J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 1997 Jan; 113(1): 80-6.
- [5] Sinclair A.J., Fox C.K., Ichord R.N., Almond C.S., Bernard T.J., Beslow L.A. et al. *Stroke in Children With Cardiac Disease: Report From the International Pediatric Stroke Study Group Symposium.* Pediatr. Neurol. 2015 Jan; 52(1): 5-15.
- [6] Silka M.J., Bar-Cohen Y. *A Contemporary Assessment of the Risk for Sudden Cardiac Death in Patients With Congenital Heart Disease.* Pediatr. Cardiol. 2012 Mar 1; 33(3): 452-60.
- [7] Berul C.I., Hill S.L., Geggel R.L., Hijazi Z.M., Marx G.R., Rhodes J. et al. *Electrocardiographic markers of late sudden death risk in postoperative tetralogy of Fallot children.* J. Cardiovasc. Electrophysiol. 1997 Dec; 8(12): 1349-56.
- [8] Blomström-Lundqvist C., Scheinman M.M., Aliot E.M., Alpert J.S., Calkins H., Camm A.J. et al. *ACC/AHA/ESC guidelines for the management of patients with supraventricular arrhythmias – executive summary. A report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines and the European society of cardiology committee for practice guidelines (writing committee to develop guidelines for the management of patients with supraventricular arrhythmias) developed in collaboration with NASPE-Heart Rhythm Society.* J. Am. Coll. Cardiol. 2003 Oct 15; 42(8): 1493-531.
- [9] Kugler J.D., Danford D.A., Deal B.J., Gillette P.C., Perry J.C., Silka M.J. et al. *Radiofrequency Catheter Ablation for Tachyarrhythmias in Children and Adolescents.* N. Engl. J. Med. 1994 May 26; 330(21): 1481-7.
- [10] Lewis T., Rothschild M.A. *The excitatory process in the dog's heart, II: the ventricles.* Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1915; 206: 181-226.
- [11] Josephson Mark E. *Electrophysiologic Investigation: General Concepts. In: Clinical cardiac electrophysiology Techniques and interpretations.* Malvern, Pennsylvania, USA: Lea and Febiger; 1993. p. 22-70.
- [12] de Bakker J.M., Janse M.J., Van Capelle F.J., Durrer D. *Endocardial mapping by simultaneous recording of endocardial electrograms during cardiac surgery for ventricular aneurysm.* J. Am. Coll. Cardiol. 1983 Nov; 2(5): 947-53.
- [13] Scanavacca M.I., Sternick E.B., Pisani C., Lara S., Hardy C., d'Ávila A. et al. *Accessory Atrio-ventricular Pathways Refractory to Catheter Ablation: The Role of Percutaneous Epicardial Approach.* Circ. Arrhythm. Electrophysiol. 2014 Dec 19.

- [14] Baszko A., Gwizdała A., Hulak W., Perek B., Grajek S., Szyszka A. *Radiofrequency ablation of electrical storm using an epicardial approach in a patient with ischaemic cardiomyopathy*. *Kardiol. Pol.* 2011; 69(8): 863-6.
- [15] Morady F., Kadish A., Rosenheck S., Calkins H., Kou W.H., De Buitreir M. et al. *Concealed entrainment as a guide for catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with prior myocardial infarction*. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1991 Mar 1; 17(3): 678-89.
- [16] Knight B.P., Ebinger M., Oral H., Kim M.H., Sticherling C., Pelosi F. et al. *Diagnostic value of tachycardia features and pacing maneuvers during paroxysmal supraventricular tachycardia*. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000 Aug; 36(2): 574-82.
- [17] Simon R.D.B., Rinaldi C.A., Baszko A., Gill J.S. *Electroanatomic mapping of the right atrium with a right atrial basket catheter and three-dimensional intracardiac echocardiography*. *Pacing Clin. Electrophysiol. PACE.* 2004 Mar; 27(3): 318-26.
- [18] Gepstein L., Hayam G., Ben-Haim S.A. *A novel method for nonfluoroscopic catheter-based electroanatomical mapping of the heart. In vitro and in vivo accuracy results*. *Circulation.* 1997 Mar 18; 95(6): 1611-22.
- [19] Bourrier F., Fahrig R., Wang P., Santangeli P., Kurzidim K., Strobel N. et al. *Accuracy assessment of catheter guidance technology in electrophysiology procedures: a comparison of a new 3D-based fluoroscopy navigation system to current electroanatomic mapping systems*. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2014 Jan; 25(1): 74-83.
- [20] Wittkamp F.H.M., Wever E.F.D., Derksen R., Wilde A.A.M., Ramanna H., Hauer R.N.W. et al. *LocaLisa New Technique for Real-Time 3-Dimensional Localization of Regular Intracardiac Electrodes*. *Circulation.* 1999 Mar 16; 99(10): 1312-7.
- [21] Friedman P.A. *Novel mapping techniques for cardiac electrophysiology*. *Heart.* 2002 Jun; 87(6): 575-82.
- [22] Sternick E.B. *Loss of pace capture on the ablation line: the quest for a more reliable endpoint for pulmonary vein isolation*. *Heart Rhythm off J. Heart Rhythm Soc.* 2010 Mar; 7(3): 331-2.
- [23] Eitel C., Hindricks G., Dargès N., Sommer P., Piorkowski C. *EnSite™ Velocity cardiac mapping system: a new platform for 3D mapping of cardiac arrhythmias*. *Expert. Rev. Med. Devices.* 2010 Mar; 7(2): 185-92.
- [24] Krum D., Goel A., Hauck J., Schweitzer J., Hare J., Attari M. et al. *Catheter location, tracking, cardiac chamber geometry creation, and ablation using cutaneous patches*. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2005; 12(1): 17-22.
- [25] Rosenthal L.S., Mahesh M., Beck T.J., Saul J.P., Miller J.M., Kay N. et al. *Predictors of fluoroscopy time and estimated radiation exposure during radiofrequency catheter ablation procedures*. *Am. J. Cardiol.* 1998; 82(4): 451-8.
- [26] Hall E.J. *Radiobiology for the Radiologist*. Philadelphia: JB Lippincott; 1994. 334-336 p.
- [27] Kugler J.D., Danford D.A., Houston K.A., Felix G., *Pediatric Radiofrequency Ablation Registry of the Pediatric Radiofrequency Ablation Registry of the Pediatric Electrophysiology Society*. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2002 Apr; 13(4): 336-41.
- [28] Committee to Assess Health Risk from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation; Nuclear and Radiation Studies Board DoEaLS, National Research Council of the National Academies. *Health risk from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VV 2*. The National Academies Press; 2006.
- [29] Gellis L.A., Ceresnak S.R., Gates G.J., Nappo L., Pass R.H. *Reducing Patient Radiation Dosage during Pediatric SVT Ablations Using an 'ALARA' Radiation Reduction Protocol in the Modern Fluoroscopic Era*. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2013; 36(6): 688-94.

- [30] Calkins H., Niklason L., Sousa J., el-Atassi R., Langberg J., Morady F. *Radiation exposure during radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular connections*. *Circulation*. 1991 Dec 1; 84(6): 2376-82.
- [31] Lindsay B.D., Eichling J.O., Ambos H.D., Cain M.E. *Radiation exposure to patients and medical personnel during radiofrequency catheter ablation for supraventricular tachycardia*. *Am. J. Cardiol*. 1992 Jul 15; 70(2): 218-23.
- [32] Park T.H., Eichling J.O., Schechtman K.B., Bromberg B.I., Smith J.M., Lindsay B.D. *Risk of radiation induced skin injuries from arrhythmia ablation procedures*. *Pacing Clin. Electrophysiol. PACE*. 1996 Sep; 19(9): 1363-9.
- [33] McFadden S.L., Mooney R.B., Shepherd P.H. *X-ray dose and associated risks from radiofrequency catheter ablation procedures*. *Br. J. Radiol*. 2002 Mar; 75(891): 253-65.
- [34] Brody A.S., Frush D.P., Huda W., Brent R.L. *Radiation Risk to Children From Computed Tomography*. *Pediatrics*. 2007 Sep 1; 120(3): 677-82.
- [35] Beels L., Bacher K., De Wolf D., Werbrouck J., Thierens H. *γ -H2AX foci as a biomarker for patient X-ray exposure in pediatric cardiac catheterization: Are we underestimating radiation risks?* *Circulation*. 2009; 120(19): 1903-9.
- [36] Drago F., Silvetti M.S., Di Pino A., Grutter G., Bevilacqua M., Leibovich S. *Exclusion of fluoroscopy during ablation treatment of right accessory pathway in children*. *J. Cardiovasc. Electrophysiol*. 2002 Aug; 13(8): 778-82.
- [37] Papagiannis J., Tsoutsinos A., Kirvassilis G., Sofianidou I., Koussi T., Laskari C. et al. *Non-fluoroscopic Catheter Navigation for Radiofrequency Catheter Ablation of Supraventricular Tachycardia in Children*. *Pacing Clin. Electrophysiol*. 2006; 29(9): 971-8.
- [38] Tuzcu V. *A Nonfluoroscopic Approach for Electrophysiology and Catheter Ablation Procedures Using a Three-Dimensional Navigation System*. *Pacing Clin. Electrophysiol*. 2007; 30(4): 519-25.
- [39] Smith G., Clark J.M. *Elimination of Fluoroscopy Use in a Pediatric Electrophysiology Laboratory Utilizing Three-Dimensional Mapping*. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2007; 30(4): 510-8.
- [40] Papez A.L., al-Ahdab M., Ii M.D., Fischbach P.S. *Impact of a computer assisted navigation system on radiation exposure during pediatric ablation procedures*. *J. Interv. Card. Electrophysiol*. 2007 Aug 1; 19(2): 121-7.
- [41] Clark J., Bockoven J. r., Lane J., Patel C.R., Smith G. *Use of Three-Dimensional Catheter Guidance and Trans-Esophageal Echocardiography to Eliminate Fluoroscopy in Catheter Ablation of Left-Sided Accessory Pathways*. *Pacing Clin. Electrophysiol*. 2008; 31(3): 283-9.
- [42] Miyake C.Y., Mah D.Y., Atallah J., Oikle H.P., Melgar M.L., Alexander M.E. et al. *Nonfluoroscopic imaging systems reduce radiation exposure in children undergoing ablation of supraventricular tachycardia*. *Heart Rhythm*. 2011 Apr; 8(4): 519-25.
- [43] Lavoie J., Walsh E.P., Burrows F.A., Laussen P., Lulu J.A., Hansen D.D. *Effects of propofol or isoflurane anesthesia on cardiac conduction in children undergoing radiofrequency catheter ablation for tachydysrhythmias*. *Anesthesiology*. 1995 Apr; 82(4): 884-7.
- [44] Joung B., Lee M., Sung J.-H., Kim J.-Y., Ahn S., Kim S. *Pediatric radiofrequency catheter ablation: sedation methods and success, complication and recurrence rates*. *Circ. J. off J. Jpn. Circ. Soc*. 2006 Mar; 70(3): 278-84.
- [45] Lai L.P., Lin J.L., Wu M.H., Wang M.J., Huang C.H., Yeh H.M. et al. *Usefulness of intravenous propofol anesthesia for radiofrequency catheter ablation in patients with tachyarrhythmias: infeasibility for pediatric patients with ectopic atrial tachycardia*. *Pacing Clin. Electrophysiol. PACE*. 1999 Sep; 22(9): 1358-64.

- [46] Fujii K., Iranami H., Nakamura Y., Hatano Y. *Fentanyl added to propofol anesthesia elongates sinus node recovery time in pediatric patients with paroxysmal supraventricular tachycardia.* Anesth. Analg. 2009 Feb; 108(2): 456-60.
- [47] Warpechowski P., Lima G.G., Medeiros C.M., Santos A.T.L., Kruse M., Migloransa M.H. et al. *Randomized study of propofol effect on electrophysiological properties of the atrioventricular node in patients with nodal reentrant tachycardia.* Pacing Clin. Electrophysiol. PACE. 2006 Dec; 29(12): 1375-82.
- [48] Wutzler A., Huemer M., Boldt L.-H., Parwani A.S., Attanasio P., Tscholl V. et al. *Effects of deep sedation on cardiac electrophysiology in patients undergoing radiofrequency ablation of supraventricular tachycardia: impact of propofol and ketamine.* Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol. 2013 Jul; 15(7): 1019-24.
- [49] Klemm H.U., Steven D., Johnsen C., Ventura R., Rostock T., Lutomsky B. et al. *Catheter motion during atrial ablation due to the beating heart and respiration: impact on accuracy and spatial referencing in three-dimensional mapping.* Heart Rhythm off J. Heart Rhythm Soc. 2007 May; 4(5): 587-92.
- [50] Nakagawa H., Jackman W.M. *Para-Hisian pacing: Useful clinical technique to differentiate retrograde conduction between accessory atrioventricular pathways and atrioventricular nodal pathways.* Heart Rhythm. 2005 Jun; 2(6): 667-72.
- [51] Gallagher J.J., Pritchett E.L., Sealy W.C., Kasell J., Wallace A.G. *The preexcitation syndromes.* Prog. Cardiovasc. Dis. 1978 Feb; 20(4): 285-327.
- [52] Brockenbrough E.C., Braunwald E., Ross Jr. J. *Transseptal left heart catheterization. A review of 450 studies and description of an improved technic.* Circulation. 1962; 25: 15-21.
- [53] Ponti R.D., Zardini M., Storti C., Longobardi M., Salerno-Uriarte J.A. *Trans-septal catheterization for radiofrequency catheter ablation of cardiac arrhythmias.* Eur. Heart J. 1998 Jun 1; 19(6): 943-50.
- [54] Jackman W.M., Wang X., Friday K.J., Roman C.A., Moulton K.P., Beckman K.J. et al. *Catheter Ablation of Accessory Atrioventricular Pathways (Wolff-Parkinson-White Syndrome) by Radiofrequency Current.* N. Engl. J. Med. 1991 Jun 6; 324(23): 1605-11.
- [55] Chen X., Borggreffe M., Shenasa M., Haverkamp W., Hindricks G., Breithardt G. *Characteristics of local electrogram predicting successful transcatheter radiofrequency ablation of left-sided accessory pathways.* J. Am. Coll. Cardiol. 1992 Sep; 20(3): 656-65.
- [56] Walsh E.P., Saul J.P., Hulse J.E., Rhodes L.A., Hordof A.J., Mayer J.E. et al. *Transcatheter ablation of ectopic atrial tachycardia in young patients using radiofrequency current.* Circulation. 1992 Oct 1; 86(4): 1138-46.
- [57] Ouyang F., Fotuhi P., Ho S.Y., Hebe J., Volkmer M., Goya M. et al. *Repetitive monomorphic ventricular tachycardia originating from the aortic sinus cusp: electrocardiographic characterization for guiding catheter ablation.* J. Am. Coll. Cardiol. 2002 Feb 6; 39(3): 500-8.
- [58] Coggins D.L., Lee R.J., Sweeney J., Chein W.W., Van Hare G., Epstein L. et al. *Radiofrequency catheter ablation as a cure for idiopathic tachycardia of both left and right ventricular origin.* J. Am. Coll. Cardiol. 1994 May; 23(6): 1333-41.
- [59] Jackman W.M., Beckman K.J., McClelland J.H., Wang X., Friday K.J., Roman C.A. et al. *Treatment of Supraventricular Tachycardia Due to Atrioventricular Nodal Reentry by Radiofrequency Catheter Ablation of Slow-Pathway Conduction.* N. Engl. J. Med. 1992 Jul 30; 327(5): 313-8.
- [60] Haissaguerre M., Gaita F., Fischer B., Commenges D., Montserrat P., d'Ivernois C. et al. *Elimination of atrioventricular nodal reentrant tachycardia using discrete slow potentials to guide application of radiofrequency energy.* Circulation. 1992 Jun 1; 85(6): 2162-75.

- [61] Friedman P.L., Dubuc M., Green M.S., Jackman W.M., Keane D.T.J., Marinchak R.A. et al. *Catheter cryoablation of supraventricular tachycardia: results of the multicenter prospective 'frosty' trial.* Heart Rhythm off J. Heart Rhythm Soc. 2004 Jul; 1(2): 129-38.
- [62] Schwagten B., Van Belle Y., Jordaens L. *Cryoablation: how to improve results in atrioventricular nodal reentrant tachycardia ablation?* Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol. 2010 Nov; 12(11): 1522-5.
- [63] Brugada J., Blom N., Sarquella-Brugada G., Blomstrom-Lundqvist C., Deanfield J., Janousek J. et al. *Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEPC-Arrhythmia Working Group joint consensus statement.* Europace. 2013 Sep 1; 15(9): 1337-82.
- [64] Locati E.T., Vecchi A.M., Vargiu S., Cattafi G., Lunati M. *Role of extended external loop recorders for the diagnosis of unexplained syncope, pre-syncope, and sustained palpitations.* Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card. Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol. 2014 Jun; 16(6): 914-22.
- [65] Weindling S.N., Saul J.P., Walsh E.P. *Efficacy and risks of medical therapy for supraventricular tachycardia in neonates and infants.* Am. Heart J. 1996 Jan; 131(1): 66-72.
- [66] Lemler M.S., Schaffer M.S. *Neonatal supraventricular tachycardia: predictors of successful treatment withdrawal.* Am. Heart J. 1997 Jan; 133(1): 130-1.
- [67] Blaufox A.D., Paul T., Saul J.P. *Radiofrequency catheter ablation in small children: relationship of complications to application dose.* Pacing Clin. Electrophysiol. PACE. 2004 Feb; 27(2): 224-9.
- [68] Baszko A., Bobkowski W., Pawelec-Wojtalik M., Czyż K., Bartkowska-Śniatkowska A., Siwińska A. et al. *Incessant atrioventricular tachycardia in an infant with poster-septal accessory pathway and coronary sinus diverticulum.* [In:] *Incessant atrioventricular tachycardia in an infant with poster-septal accessory pathway and coronary sinus diverticulum.* Cairns, Australia: Cardiol. Young; 2009. p. 134.
- [69] Price J.F., Kertesz N.J., Snyder C.S., Friedman R.A., Fenrich A.L. *Flecainide and sotalol: a new combination therapy for refractory supraventricular tachycardia in children < 1 year of age.* J. Am. Coll. Cardiol. 2002 Feb 6; 39(3): 517-20.
- [70] Nielsen J.C., Kottkamp H., Piorkowski C., Gerds-Li J.-H., Tanner H., Hindricks G. *Radiofrequency ablation in children and adolescents: results in 154 consecutive patients.* Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card. Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol. 2006 May; 8(5): 323-9.
- [71] Alvarez M., Tercedor L., Almansa I., Ros N., Galdeano R.S., Burillo F. et al. *Safety and feasibility of catheter ablation for atrioventricular nodal re-entrant tachycardia without fluoroscopic guidance.* Heart Rhythm off J. Heart Rhythm Soc. 2009 Dec; 6(12): 1714-20.
- [72] Lee P.-C., Hwang B., Chen S.-A., Tai C.G.-T., Chen Y.-J., Chiang C.-E. et al. *The results of radiofrequency catheter ablation of supraventricular tachycardia in children.* Pacing Clin. Electrophysiol. PACE. 2007 May; 30(5): 655-61.
- [73] Drago F., Grutter G., Silvetti M.S., De Santis A., Di Ciommo V. *Atrioventricular nodal re-entrant tachycardia in children.* Pediatr. Cardiol. 2006 Aug; 27(4): 454-9.
- [74] Krause U., Backhoff D., Klehs S., Kriebel T., Paul T., Schneider H.E. *Catheter ablation of pediatric AV nodal reentrant tachycardia: results in small children.* Clin. Res. Cardiol. off J. Ger. Card. Soc. 2015 May 17;
- [75] Blaufox A.D., Saul J.P. *Acute Coronary Artery Stenosis During Slow Pathway Ablation for Atrioventricular Nodal Reentrant Tachycardia in a Child.* J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2004 Jan 1; 15(1): 97-100.

- [76] Orczykowski M., Walczak F., Derejko P., Bodalski R., Urbanek P., Zakrzewska-Koperska J. et al. *Ventricular fibrillation risk factors in over one thousand patients with accessory pathways*. Int. J. Cardiol. 2013 Jul 31; 167(2): 525-30.
- [77] Di Mambro C., Russo M.S., Righi D., Placidi S., Palmieri R., Silvetti M.S. et al. *Ventricular pre-excitation: symptomatic and asymptomatic children have the same potential risk of sudden cardiac death*. Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card. Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol. 2015 Apr; 17(4): 617-21.
- [78] Casella M., Pelargonio G., Russo A.D., Riva S., Bartoletti S., Santangeli P. et al. *'Near-zero' fluoroscopic exposure in supraventricular arrhythmia ablation using the EnSite™ NavXTM mapping system: personal experience and review of the literature*. J. Interv. Card. Electrophysiol. 2011 Aug 1; 31(2): 109-18.
- [79] Fernández-Gómez J.M., Moriña-Vázquez P., Morales E.D.R., Venegas-Gamero J., Barba-Pichardo R., Carranza M.H. *Exclusion of fluoroscopy use in catheter ablation procedures: six years of experience at a single center*. J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2014 Jun; 25(6): 638-44.
- [80] Baszko A., Czyż K., Surmacz R., Bobkowski W. *Transbaffle radiofrequency ablation of re-entrant atrial tachycardia in a child with hypoplastic left heart syndrome after Fontan correction*. Kardiol. Pol. 2015; 73(7): 572.
- [81] Pappone C., Rosanio S., Oreto G., Tocchi M., Gugliotta F., Vicedomini G. et al. *Circumferential Radiofrequency Ablation of Pulmonary Vein Ostia A New Anatomic Approach for Curing Atrial Fibrillation*. Circulation. 2000 Nov 21; 102(21): 2619-28.
- [82] Marchlinski F.E., Callans D.J., Gottlieb C.D., Zado E. *Linear Ablation Lesions for Control of Unmappable Ventricular Tachycardia in Patients With Ischemic and Nonischemic Cardiomyopathy*. Circulation. 2000 Mar 21; 101(11): 1288-96.
- [83] Kalarus Z., Kowalski O., Lenarczyk R., Pruszkowska-Skrzep P., Pluta S., Zeifert B., et al. *Radiofrequency ablation of arrhythmias following congenital heart surgery*. Kardiol. Pol. 2006 Dec; 64(12): 1343-8; discussion 1349.
- [84] Van Hare G.F., Javitz H., Carmelli D., Saul J.P., Tanel R.E., Fischbach P.S. et al. *Prospective Assessment after Pediatric Cardiac Ablation*. J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2004 Jul 1; 15(7): 759-70.
- [85] Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., McHugh K., Lee C., Kim K.P. et al. *Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study*. The Lancet. 2012 Aug 10; 380(9840): 499-505.
- [86] Bubolz B., Case C.L., McKay C.A., O'Connor B.K., Knick B.J., Gillette P.C. *Learning curve for radiofrequency catheter ablation in pediatrics at a single institution*. Am. Heart J. 1996 May; 131(5): 956-60.
- [87] Kerst G., Weig H.-J., Weretka S., Seizer P., Hofbeck M., Gawaz M. et al. *Contact force-controlled zero-fluoroscopy catheter ablation of right-sided and left atrial arrhythmia substrates*. Heart Rhythm off J. Heart Rhythm Soc. 2012 May; 9(5): 709-14.
- [88] Scaglione M., Ebrille E., Caponi D., Siboldi A., Bertero G., Di Donna P. et al. *Zero-Fluoroscopy Ablation of Accessory Pathways in Children and Adolescents: CARTO3 Electroanatomic Mapping Combined with RF and Cryoenergy*. Pacing Clin. Electrophysiol. 2015 Jun 1; 38(6): 675-81.
- [89] Stec S., Sledź J., Mazij M., Raś M., Ludwik B., Chrabąszcz M. et al. *Feasibility of implementation of a 'simplified, No-X-Ray, no-lead apron, two-catheter approach' for ablation of supraventricular arrhythmias in children and adults*. J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2014 Aug; 25(8): 866-74.

- [90] Kerst G., Parade U., Weig H.-J., Hofbeck M., Gawaz M., Schreieck J. *A novel technique for zero-fluoroscopy catheter ablation used to manage Wolff-Parkinson-White syndrome with a left-sided accessory pathway*. *Pediatr. Cardiol.* 2012 Jun; 33(5): 820-3.
- [91] Wilder R.T., Flick R.P., Sprung J., Katusic S.K., Barbaresi W.J., Mickelson C. et al. *Early exposure to anesthesia and learning disabilities in a population-based birth cohort*. *Anesthesiology*. 2009 Apr; 110(4): 796-804.
- [92] Chemaly M., El-Rajab M.A., Ziade F.M., Naja Z.M. *Effect of one anesthetic exposure on long-term behavioral changes in children*. *J. Clin. Anesth.* 2014 Nov; 26(7): 551-6.
- [93] Minich L.L., Snider A.R., Dick M. *Doppler detection of valvular regurgitation after radiofrequency ablation of accessory connections*. *Am. J. Cardiol.* 1992 Jul 1; 70(1): 116-7.
- [94] Law I.H., Fischbach P.S., LeRoy S., Lloyd T.R., Rocchini A.P., Dick M. *Access to the left atrium for delivery of radiofrequency ablation in young patients: retrograde aortic vs transseptal approach*. *Pediatr. Cardiol.* 2001 Jun; 22(3): 204-9.
- [95] von Alvensleben J.C., Dick M., Bradley D.J., LaPage M.J. *Transseptal access in pediatric and congenital electrophysiology procedures: defining risk*. *J. Interv. Card Electrophysiol. Int. J. Arrhythm Pacing*. 2014 Dec; 41(3): 273-7.
- [96] Baszko A., Kalmucki P., Dankowski R., Łanocha M., Siminiak T., Szyszka A. *Transseptal puncture from the jugular vein and balloon cryoablation for atrial fibrillation in a patient with azygos continuation of an interrupted inferior vena cava*. *Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card. Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol.* 2015 Jul; 17(7): 1153-6.
- [97] Manolis A.S., Wang P.J., Estes N.A. *Radiofrequency ablation of left-sided accessory pathways: transaortic versus transseptal approach*. *Am. Heart J.* 1994 Nov; 128(5): 896-902.
- [98] Ceresnak S.R., Dubin A.M., Kim J.J., Valdes S.O., Fishberger S.B., Shetty I. et al. *Success Rates in Pediatric WPW Ablation Are Improved with 3-Dimensional Mapping Systems Compared with Fluoroscopy Alone: A Multicenter Study*. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2015 Apr 1; 26(4): 412-6.
- [99] Gaita F., Montefusco A., Riccardi R., Giustetto C., Grossi S., Caruzzo E. et al. *Cryoenergy catheter ablation: a new technique for treatment of permanent junctional reciprocating tachycardia in children*. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004 Mar; 15(3): 263-8.
- [100] Kirsh J.A., Gross G.J., O'Connor S., Hamilton R.M., *Cryocath International Patient Registry. Transcatheter cryoablation of tachyarrhythmias in children: initial experience from an international registry*. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005 Jan 4; 45(1): 133-6.
- [101] Kriebel T., Broistedt C., Kroll M., Sigler M., Paul T. *Efficacy and safety of cryoenergy in the ablation of atrioventricular reentrant tachycardia substrates in children and adolescents*. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2005 Sep; 16(9): 960-6.
- [102] Drago F., De Santis A., Grutter G., Silvetti M.S. *Transvenous cryothermal catheter ablation of re-entry circuit located near the atrioventricular junction in pediatric patients: Efficacy, safety, and midterm follow-up*. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005 Apr 5; 45(7): 1096-103.
- [103] Drago F., Silvetti M.S., De Santis A., Grutter G., Andrew P. *Lengthier cryoablation and a bonus cryoapplication is associated with improved efficacy for cryothermal catheter ablation of supraventricular tachycardias in children*. *J. Interv. Card. Electrophysiol. Int. J. Arrhythm. Pacing*. 2006 Sep; 16(3): 191-8.
- [104] Rivard L., Dubuc M., Guerra P.G., Novak P., Roy D., Macle L. et al. *Cryoablation outcomes for AV nodal reentrant tachycardia comparing 4-mm versus 6-mm electrode-tip catheters*. *Heart Rhythm*. 2008 Feb; 5(2): 230-4.

- [105] Drago F., Russo M.S., Silvetti M.S., De Santis A., Onofrio M.T.N. *'Time to effect' during cryomapping: a parameter related to the long-term success of accessory pathways cryoablation in children.* Eur. Eur. Pacing Arrhythm. Card. Electrophysiol. J. Work Groups Card. Pacing Arrhythm. Card. Cell Electrophysiol. Eur. Soc. Cardiol. 2009 May; 11(5): 630-4.
- [106] Bar-Cohen Y., Cecchin F., Alexander M.E., Berul C.I., Triedman J.K., Walsh E.P. *Cryoablation for accessory pathways located near normal conduction tissues or within the coronary venous system in children and young adults.* Heart Rhythm off J. Heart Rhythm Soc. 2006 Mar; 3(3): 253-8.
- [107] Drago F., Righi D., Placidi S., Russo M.S., Mambro C.D., Silvetti M.S. et al. *Cryoablation of right-sided accessory pathways in children: report of efficacy and safety after 10-year experience and follow-up.* Europace. 2013 Nov 1; 15(11): 1651-6.
- [108] Insulander P., Bastani H., Braunschweig F., Drca N., Gudmundsson K., Kennebäck G. et al. *Cryoablation of substrates adjacent to the atrioventricular node: acute and long-term safety of 1303 ablation procedures.* Europace. 2014 Feb 1; 16(2): 271-6.
- [109] Ceresnak S.R., Nappo L., Janson C.M., Pass R.H. *Tricking CARTO: Cryoablation of Supraventricular Tachycardia in Children with Minimal Radiation Exposure Using the CARTO3 System.* Pacing Clin. Electrophysiol. PACE. 2015 Sep 28;
- [110] Baszko A., Bobkowski W., Surmacz R., Siwińska A. *Radiofrequency ablation of accessory pathway from noncoronary cusp of aorta after failed cryoablation.* Kardiol. Pol. 2011; 69(7): 739-42.
- [111] Wood M.A., Parvez B., Ellenbogen A.L., Shaffer K.M., Goldberg S.M., Gaspar M.P. et al. *Determinants of lesion sizes and tissue temperatures during catheter cryoablation.* Pacing Clin. Electrophysiol. PACE. 2007 May; 30(5): 644-54.
- [112] Parvez B., Goldberg S.M., Pathak V., Schubert C.M., Wood M.A. *Time to Electrode Rewarming After Cryoablation Predicts Lesion Size.* J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2007 Aug 1; 18(8): 845-8.
- [113] Kaltman J.R., Tanel R.E., Wegrzynowicz B., Kozodoy E., Wieand T., Ennis J. et al. *Time and temperature profile of catheter cryoablation of right septal and free wall accessory pathways in children.* J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2008 Apr; 19(4): 343-7.
- [114] Baszko A., Krzyżanowski K., Bobkowski W., Surmacz R., Zinka E., Siwinska A. et al. *Radiofrequency ablation touch-up after unsuccessful cryoablation in septal pathways.* In Madrid, Spain: Europace Journal; 2011. p. P1011.