

Pedijatrijska elektrofiziologija

Nikola Krmek*

Elektrofiziologija se u zadnja tri desetljeća nametnula kao važna dijagnostička i terapijska metoda, često i prvi izbor u liječenju aritmija. Kod ove metode upotrebom kateterskih elektroda ulazi se u srce kroz centralne vene ili arterije kako bi se odredio točan aritmološki supstrat te često i prekinulo njegovu aktivnost ablacijom.

Najveći iskorak u smanjenju količine ionizirajućeg zračenja kod ovih zahvata je nastao uvođenjem 3D sustava za mapiranje. Ovi sustavi omogućuju prostorno smještanje katetera te stvaranje mape anatomije srca i električne aktivnosti. Intrakardijalni elektrogram se sprema te se vrijeme aktivacije može uspoređivati s nekom referentnom točkom. Omogućuje stvaranje aktivacijske mape koja pokazuje način širenja signala kroz srce što povećava preciznost rada u odnosu na zahvata učinjene isključivo pomoću rendgenskog zračenja. Ovo i značajno smanjuje ozračenje pacijenata što nam je posebno važno u dječjoj dobi.

Godišnje se u Hrvatskoj napravi > 2000 elektrofizioloških postupaka kod svih dobnih skupina, a u Europi skoro 300000. Kod djece se u Hrvatskoj 2024. godine učinilo nešto više od 100 elektrofizioloških postupaka.

Ovakvim načinom liječenja postiže se trajno izlječenje aritmije što je najveća prednost ove metode u odnosu na jedinu drugu opciju, a to je medikamentozno liječenje. Ne postoji lijek koji može definitivno zbrinuti neku aritmiju, već se njegov učinak vidi jedino dok ga osoba redovito uzima. Budući je potrebno dugogodišnje uzimanje lijekova koji imaju svoje nezanemarive nuspojave, jasno je zašto se elektrofiziologija, unatoč svojim rizicima, sve više i više koristi i to kao prva razina liječenja.

Ključne riječi: ELEKTROFIZIOLOGIJA; SRCE; DIJETE; ARITMIJE, SRČANE

UVOD

Srčane aritmije u dječjoj dobi predstavljaju izazov u dijagnosticiranju kao i u liječenju. Klinički se dijele na hemodinamski stabilne i hemodinamski nestabilne. Kod hemodinamski nestabilnih simptomi se javljaju brzo i lakše su prepoznatljivi, poput lošeg općeg stanja, bljedila, sinkope, izbjegnute srčane smrti. Kod ovih aritmija liječenje zahtjeva brzu reakciju. Kod hemodinamski stabilnih aritmija, koje su puno češće u dječjoj dobi, anamneza i sam izgled djeteta, pogotovo kod dojenčadi, ne

moraju odmah upućivati na aritmiju. Tako da djeca ponekad ostavljaju dojam da imaju sepsu ili loše napreduju na težini, a zapravo im je osnovni problem srčana aritmija.

Ono što je pozitivno, aritmije se u dječjoj dobi najčešće mogu dobro kontrolirati i izliječiti, ali ipak nose svoje rizike koji nisu zanemarivi. *Clausen i sur.* prikazuju da od djece primljene kroz hitni prijem zbog aritmije njih 3 % je umrlo u bolnici (1). *Gilljam*

*KBC Sestre milosrdnice, Vinogradska 29, Zagreb

i sur. (2) prikazuju seriju 109 dojenčadi sa supraventrikularnom tahikardijom (SVT) od kojih je pet umrlo zbog srčanog zatajenja. Zato je važno aritmije dobro poznavati i diferencijalno dijagnostički razmišljati o njima kod pregledavanja pacijenata.

Obrada pacijenata sa sumnjom na poremećaj ritma

Anamnestički podaci koji se dobivaju od roditelja, odnosno skrbnika te od djeteta ovise o dobi djeteta (3). Kod dojenčeta radi se o epizodama bljedila ili znojenja, nenapredovanje na tjelesnoj težini. Kod nešto veće djece osjećaj straha, prekordijalne boli, bljedoća, pojačano znojenje, nemir, dispneja (3). Kod adolescenata se već kao i kod odraslih dobiva podatak o palpitacijama, eventualno vrtoglavici, bolima u prsištu (3). U svim uzrastima može se javiti sinkopa pa i uz konvulzivne elemente. Konvulzije su u ovakvim prilikama posljedica ishemije mozga uslijed slabe hemodinamske opskrbe mozga.

Uz anamnezu i klinički pregled u obradi djeteta kod kojeg postoji sumnja na aritmiju zlatni standard je elektrokardiogram (EKG). Ponekad, zbog kraćeg trajanja aritmije nije ga moguće učiniti za vrijeme simptoma pa se onda radi 24 h/48 h EKG po holteru. Kod puno rjeđeg javljanja aritmije koja je simptomatska ponekad postoji indikacija za ugradnju implantabilnog „looprecordera“. Također, aritmije koje se javljaju u naporu često se mogu dijagnosticirati testom opterećenja – ergometrijom (4). Ponekad, unatoč i jako širokoj obradi, EKG se u aritmiji ne uspije snimiti. Uz jasnu anamnezu naglog nastanka i prestanka simptoma („on/off“ fenomen) i izmjerenu visoku srčanu frekvenciju u više navrata, može se indicirati i dijagnostički elektrofiziološki postupak koji se u slučaju izazivanja tahikardije izravno nastavlja u terapijski postupak, odnosno učini se ablacija.

Poremećaji ritma koji se mogu liječiti elektrofiziološkim postupkom

Poremećaji ritma ili aritmije koje je moguće elektrofiziološki zbrinjavati prema mehanizmu nastanka dijeli se na supraventrikularne i ventrikularne.

Supraventrikularne aritmije obuhvaćaju supraventrikularne ekstrasistole, atrijsku tahikardiju

(AT) u užem smislu, atrijsku undulaciju, atrijsku fibrilaciju, atrioventrikularnu kružnu tahikardiju, atrioventrikularnu nodalnu kružnu tahikardiju, junkcijsku ektopičnu tahikardiju i permanentnu junkcijsku recipročnu tahikardiju.

U ventrikularne aritmije koje se u pedijatrijskoj dobi liječe i elektrofiziološkom ablacijom ubrajaju se ventrikularne ekstrasistole (VES), akcelerirani idioventrikularni ritam, fascikularna ventrikularna tahikardija (VT), VT iz izlaznog trakta.

Druge ventrikularne aritmije se također mogu elektrofiziološki zbrinjavati i u dječjoj dobi, ali su izuzetno rijetke te postoje na razini prikaza nekoliko slučajeva u literaturi. Na primjer, VT kod ishemijske kardiomiopatije koja je u odrasloj dobi česta nakon infarkta miokarda, u dječjoj se izuzetno rijetko susreće, a i tada najčešće postoperativno.

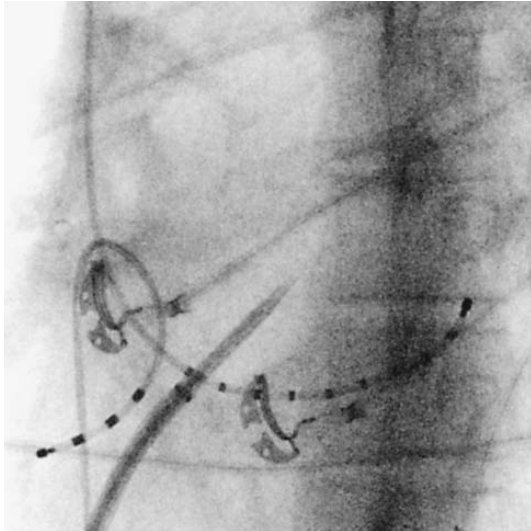
Elektrofiziološki postupci na srcu

Elektrofiziologija se u zadnja tri desetljeća nametnula kao važna dijagnostička i terapijska metoda, često i prvi izbor u liječenju aritmija. Prve elektrofiziološke studije su zabilježene u 60-im godinama prošlog stoljeća (5, 6). Kod ove metode upotrebom kateterskih elektroda ulazi se u srce kroz centralne vene ili arterije kako bi se odredio točan aritmološki supstrat te često i prekinulo njegovu aktivnost ablacijom.

Postupak se radi u posebno opremljenoj elektrofiziološkoj sali. S obzirom na pristup centralnim venama i arterijama, cijeli postupak se mora obavljati u aseptičnim uvjetima.

U krvne žile ulazi se metodom po Seldingeru, odnosno prvo se radi punkcija iglom preko koje se plasira žica u krvnu žilu. Preko žice se stavlja uvodnica s dilatatorom koji se potom vadi van. Svaka uvodnica se mora aspirirati i proprati kako bi se odstranili eventualni mjehurići zraka i spriječila zračna embolija. Klasično se postavljaju ukupno četiri uvodnice, u femoralnu i jugularnu venu. Ponekad, kod retrogradnog pristupa u lijevu klijetku punktira se i femoralna arterija. U posljednje vrijeme retrogradni pristup je većinom zamijenjen transeptalnim pristupom lijevoj strani srca (Slika 1.) jer se tada izbjegava manipulacija preko aortalne valvule koja se time može oštetiti (7).

Kroz uvodnice se plasiraju elektrode u područje desnog ventrikula, koronarnog sinusa, Hisa i gor-



Slika 1. Primjer transeptalne punkcije s prikazom katetera pomoću rendgenskog zračenja

njeg desnog atrija. Kod djece, kako bi se izbjeglo stavljanje jedne uvodnice zbog veličine krvnih žila, za His i gornji desni atrij stavlja se jedan kateter kojem se zatim mijenja pozicija ovisno o očekivanoj patologiji te fazi elektrofiziološke studije. Umjesto te elektrode se nakon studije plasira ablacijski kateter. Po potrebi, u srce se može postaviti i sonda ultrazvučnog uređaja (ICE, engl. *intracardiac echocardiography*) koji omogućuje gledanje struktura i provjeru smjera i položaja katetera iz blizine u stvarnom vremenu. Negativnost ove metode je, uz cijenu, i debljina sonde koja se kreće od 9 - 11 frencha što, za posebno manju djecu, podiže mogućnost nastanka vaskularne ozljede.

Elektrofiziološka sala za vrijeme pedijatrijskog postupka prikazana je na slici 2, gdje se vidi sterilno pokriveno dijete s uvodnicama jugularno i femoralno, uz monitoring vitalnih funkcija i elektrofiziološke sustave za mapiranje. Rendgenski uređaj nije standardno u upotrebi, nego ga se dovodi po potrebi. U slučaju nekih elektrofizioloških postupaka koji se provode korištenjem 3D navigacijskog sustava moguće je izbjeći korištenje rendgenskog zračenja (8–10).

Elektrofiziološka studija počinje inkrementalnom stimulacijom ventrikla i određivanjem Wenckebacha retrogradno, AV čvora, AP-a ili ventrikla. Potom slijedi programirana stimulacija ventrikla i određivanje efektivnog refraktornog perioda retrogradno. Nakon toga se radi inkrementalna stimulacija pretklijetki i određivanje Wenckebacha



Slika 2. Prikaz elektrofiziološke sale za vrijeme postupka kod djeteta

anterogradno te programiranom stimulacijom određivanje anterogradnog efektivnog refraktornog perioda.

Ako se za vrijeme studije uspije izazvati aritmija, onda se nju posebno analizira. Promatra se sekvencija aktivacije intrakardijalnih elektroda te se izvode elektrofiziološki manevri poput „*entrainment*“, His refraktorne VES i tako dalje.

Jednom kad je dokazan mehanizam aritmije, u srce se plasira ablacijski kateter.

Ablacija se može raditi radiofrekventnom energijom (RF), odnosno zagrijavanjem ili krioablacijom odnosno zamrzavanjem (11). Druge metode ablacije npr. laserska, su značajno manje zastupljene ili su tek u fazi ispitivanja (12). Koja god metoda se koristila cilj ablacije je, u osnovi, stvaranje manjeg ožiljka, koji je vezivno tkivo te nema elektrofiziološku aktivnost.

Prednost radiofrekventne ablacije je kraće vrijeme nastanka lezije, dublja lezija te manji broj recidiva (13), dok su nedostaci šire područje lezije, mogućnost termalne ozljede okolnih struktura – na primjer AV čvora ili koronarnih arterija, mogućnost stvaranja mjehurića zraka, „pop“, kao posljedica lokalnog vrenja krvi i potom razaranja okolnih struktura (12, 14, 15).

Najvažnija prednost krioablacije je kriomapiranje gdje se temperatura katetera i zatim tkiva spušta na oko $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, na kojoj prestaje električna aktivnost tkiva, ali ne nastaju trajna oštećenja. Ta mogućnost koristi se kod ablacije AP-ova u blizini normalnog provodnog sustava. Ukoliko se na toj

temperaturi primijeti prestanak aktivnosti AV čvora, kriomapiranje se prekida, a funkcija tkiva se vraća na normalnu. Ako dođe do nestanka pre-ekscitacije kao znak zamrzavanja AP-a, uz uredan PR interval kao dokaz uredne funkcije AV čvora, nastavlja se s krioablacijom. Tada se temperatura spušta na oko -70°C što dovodi do trajnog oštećenja AP-a uz očuvanu funkciju AV čvora. Druga velika prednost je što se zamrzavanjem ovi kateteri fiksiraju uz tkivo pa nema mogućnosti pomicanja katetera u tijeku ablacije, kao što je moguće kod radiofrekventnih ablacijskih katetera. Zbog toga je područje ozljede tkiva manje i oštrije ograničeno.

Nakon ablacije slijedi period čekanja kako bi se vidjelo hoće li neposredno nakon ablacije doći do recidiva, a dok su svi kateteri još na mjestu te je jednostavno ponoviti ablaciju. Ovo vrijeme se razlikuje između elektrofizioloških centara, a obično je između 10 i 30 minuta.

Ukoliko nakon završetka čekanja aritmološki supstrat i dalje ne pokazuje aktivnost, odstranjuju se kateteri i uvodnice te se učini kompresijska hemostaza. Dijete se potom smješta na odjel uz praćenje vitalnih funkcija. Otpust doma slijedi prvi ili drugi dan od postupka.

Sustavi za 3D mapiranje srčane anatomije i aritmija

U pedijatrijskoj elektrofiziologiji najveći iskorak u smanjenju količine ionizirajućeg zračenja je nastao uvođenjem 3D sustava za mapiranje. Ovi sustavi omogućuju prostorno smještanje katetera te stvaranje mape anatomije srca i električne aktivnosti. Intrakardijalni elektrogram se sprema te se vrijeme aktivacije može uspoređivati s nekom referentnom točkom. Omogućuje stvaranje aktivacijske mape koja pokazuje način širenja signala kroz srce. Tako se dolazi do zaključka o fokalnom obrascu širenja signala odnosno većem ili manjem kružnom kretanju tahikardije. Kod kružnih aritmija lakše se određuje gdje se nalazi istmus tahikardije koji će potom biti ciljno mjesto za ablaciju. Sustavi mogu prikazati i napon pojedinih regija miokarda iz čega je moguće donositi zaključke o zdravlju podležeg miokarda. Kod djece ovo posebno dolazi do izražaja kod operiranih srčanih grešaka jer liječniku omogućuje „vidjeti“ gdje su postoperacijski ožiljci koji su vrlo često uzrok nastanka aritmije. Ablacijskim povezivanjem ožiljka

s električki neutralnim strukturama u srcu moguće je izlječenje.

Treba imati na umu da, iako moćni, ovi sustavi i dalje ne mogu dati definitivnu dijagnozu ili sami odrediti mjesto za ablaciju. I dalje operater odlučuje koji su signali prihvatljivi, kad počinje signal od interesa i na kojem kateteru, koji je prozor interesa. S ovim odlukama operater zapravo crta mapu koja će mu omogućiti izolaciju ispravnog mjesta za ablaciju.

Dva najzastupljenija 3D sustava za mapiranje su „Ensite NavX“ sustav tvrtke Abbott te „Carto“ sustav tvrtke Johnson&Johnson. Razlikuju se po načinu prikaza katetera te tehnologiji kojom to uspijevaju.

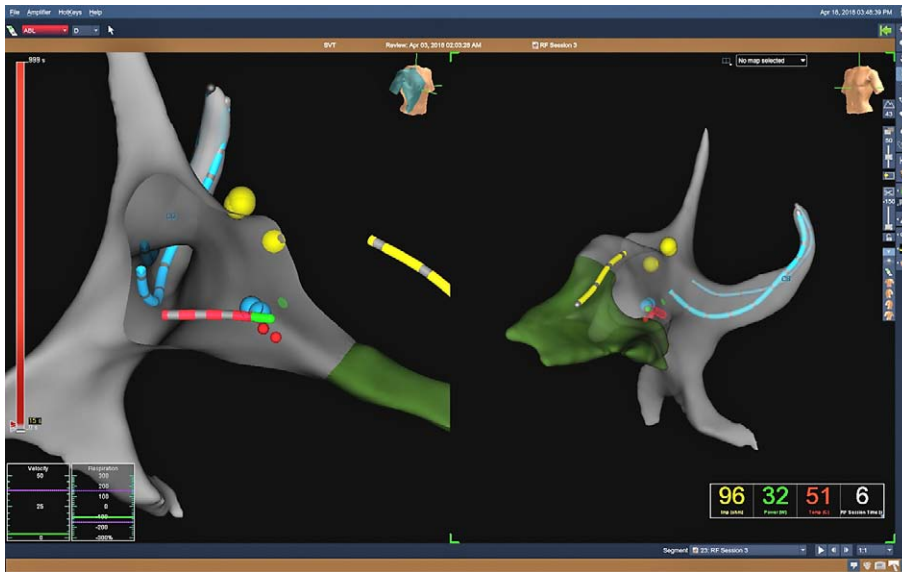
Ensite NavX sustav tvrtke Abbott

Kod djece se najčešće koristi NavX sustav tvrtke Abbott koji omogućuje prikaz svih katetera (Slika 3.) uz pomoć tri para referentnih elektroda zalijepljenih na površinu kože u različitim ravninama. Električni signal isporučuje se naizmjenično kroz svaki par elektroda, stvarajući gradijent napona duž osi između njih. Koristeći zabilježene napone u elektrodi na vršku katetera, u usporedbi s gradijentom napona na sve tri osi, sustav izračunava 3D položaj katetera. Zadnja verzija ovog sustava koristi promjene impedancije umjesto napona. Zbog visoke frekvencije koju koristi (204 Hz), sustav može u stvarnom vremenu prikazivati 132 elektrode.

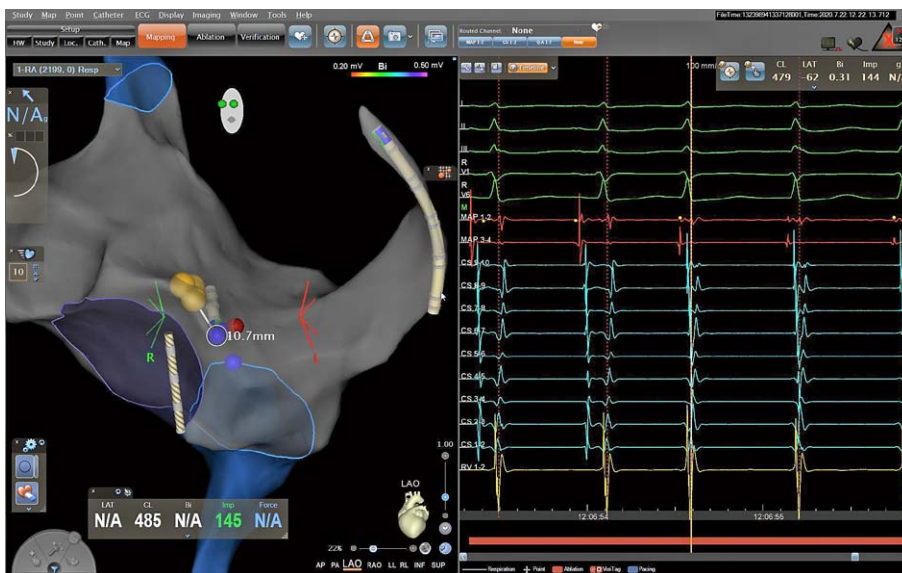
S obzirom na to da u kateteru nisu potrebni dodatni senzorski sustavi osim mjerenja napona, na ovaj sustav se mogu priključiti svi kateteri. Ovo posebno dolazi do izražaja kod djece jer je moguće koristiti manje katetere i dalje ih vidjeti na 3D sustavu bez korištenja rendgenskoga zračenja. Također, ovaj sustav prikazuje i fokalne krioablacijske katetere.

Carto sustav tvrtke Johnson&Johnson

Drugi 3D sustav za mapiranje je Carto, tvrtke Johnson&Johnson (Slika 4.), koji koristi magnetsko polje za lokalizaciju katetera. Kod ovog sustava zavojnice se smještaju ispod pacijenta, one stvaraju magnetsko polje slabe snage na temelju kojeg kateter sa senzorom magnetskog polja može slati te podatke računalu, koje potom izračunava smještaj katetera u prostoru (16). Budući da ovaj sustav ne može prikazivati sve katetere,



Slika 3. Prikaz anatomije srca i elektrofizioloških katetera pomoću NavX sustava tvrtke Abbott



Slika 4. Ablacija AVNRT-a prikazana Carto 3D sustavom za mapiranje tvrtke Johnson&Johnson

kao na primjer 5F ablacijske katetere često korištene kod manje djece, on se znatno manje koristi u pedijatrijskim postupcima. Prednost ovog sustava je veća preciznost smještaja katetera u prostoru, tako da ga se češće koristi kod kompleksnijih aritmija, odnosno dužeg trajanja postupka kako bi se smanjili pomaci slike i distorzije koje mogu s vremenom nastati kod sustava temeljenih na impedanciji.

ZAKLJUČAK

Godišnje se u Hrvatskoj napravi > 2000 elektrofizioloških postupaka kod svih dobnih skupina, a u Europi skoro 300000 (17). Kod djece se u Hrvatskoj 2024. godine učinilo nešto više od 100 elektrofizioloških postupaka.

Ovakvim načinom liječenja postiže se trajno izlječenje aritmije što je najveća prednost ove metode u odnosu na jedinu drugu opciju, a to je medikamentozno liječenje. Ne postoji lijek koji može definitivno zbrinuti neku aritmiju, već se njegov učinak vidi jedino dok ga osoba redovito uzima. Budući da je potrebno dugogodišnje uzimanje lijekova koji imaju svoje nezanemarive nuspojave, jasno je zašto se elektrofiziologija, unatoč svojim rizicima, sve više i više koristi i to kao prva razina liječenja.

LITERATURA

1. Clausen H, Theophilos T, Jachno K, Babl F. Arrhythmias of children in the emergency department: incidence, management and outcome. Arch Dis Child. 2010;95(Suppl 1): A42-A42. doi: 10.1136/adc.2009.172703.

2. Gilljam T, Jaeggi E, Gow RM. Neonatal supraventricular tachycardia: outcomes over a 27-year period at a single institution. *Acta Paediatr.* 2008;97(8):1035–9. doi: 10.1111/j.1651-2227.2008.00899.x.
3. Massin MM, Benatar A, Rondia G. Epidemiology and outcome of tachyarrhythmias in tertiary pediatric cardiac centers. *Cardiology.* 2008;111(3):191–6. doi: 10.1159/000112724.
4. Ghosh RM, Gates GJ, Walsh CA, Schiller MS, Pass RH, Ceresnak SR. The prevalence of arrhythmias, predictors for arrhythmias, and safety of exercise stress testing in children. *Pediatr Cardiol.* 2015;36(3):584–90. doi: 10.1007/s00246-015-1093-z.
5. Durrer D, Schoo L, Schuilenburg RM, Wellens HJ. The role of premature beats in the initiation and the termination of supraventricular tachycardia in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation.* 1967;36(5):644–62. doi: 10.1161/01.CIR.36.5.644.
6. Wellens HJ. Value and limitations of programmed electrical stimulation of the heart in the study and treatment of tachycardias. *Circulation.* 1978;57(5):845–53. doi: 10.1161/01.CIR.57.5.845.
7. Olsson A, Darpö B, Bergfeldt L, Rosenqvist M. Frequency and long term follow up of valvar insufficiency caused by retrograde aortic radiofrequency catheter ablation procedures. *Heart.* 1999;81(3):292–6. doi: 10.1136/heart.81.3.292.
8. Clark J, Bockoven JR, Lane J, Patel CR, 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. doi: 10.1111/j.1540-8159.2007.01019.x.
9. Bigelow AM, Smith G, Clark JM. Catheter ablation without fluoroscopy: current techniques and future direction. *J Atr Fibrillation.* 2014;6(6):1066. doi: 10.4022/jafib.1066.
10. Jan M, Žižek D, Rupar K, et al. Fluoroless catheter ablation of various right and left sided supra-ventricular tachycardias in children and adolescents. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2016;32(11):1609–16. doi: 10.1007/s10554-016-0997-7.
11. Miyamoto K, Kapa S, Mulpuru SK, et al. Outcome of combined cryo- and radiofrequency-catheter ablation in patients with supraventricular tachycardias. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2019;30(10):1960–6. doi: 10.1111/jce.14127.
12. Nakagawa H, Ikeda A, Yokoyama K, et al. Improvement in lesion formation with radiofrequency energy and utilization of alternate energy sources (cryoablation and pulsed field ablation) for ventricular arrhythmia ablation. *Card Electrophysiol Clin.* 2022;14(4):757–67. doi: 10.1016/j.ccep.2022.08.004.
13. Noten AME, Kammeraad JAE, Ramdat Misier NL, et al. Remote magnetic navigation shows superior long-term outcomes in pediatric atrioventricular (nodal) tachycardia ablation compared to manual radiofrequency and cryoablation. *Int J Cardiol Heart Vasc.* 2021;37:100881. doi: 10.1016/j.ijcha.2021.100881.
14. Katritsis DG. Catheter ablation of atrioventricular nodal re-entrant tachycardia: facts and fiction. *Arrhythm Electrophysiol Rev.* 2018;7(4):230. doi: 10.15420/aer.2018.21.
15. Joseph JP, Rajappan K. Radiofrequency ablation of cardiac arrhythmias: past, present and future. *QJM.* 2012;105(4):303–14. doi: 10.1093/qjmed/hcr202.
16. Del Carpio Munoz F, Buescher TL, Asirvatham SJ. Three-dimensional mapping of cardiac arrhythmias: what do the colors really mean? *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2010;3(6):e6–11. doi: 10.1161/CIRCEP.110.957218.
17. Raatikainen MJP, Arnar DO, Merkely B, et al. A decade of information on the use of cardiac implantable electronic devices and interventional electrophysiological procedures in the European Society of Cardiology countries: 2017 report from the European Heart Rhythm Association. *Europace.* 2017;19(suppl_2):ii1–90. doi: 10.1093/europace/eux133.

Adresa za dopisivanje:

Prim. dr. sc. **Nikola Krmek**, dr. med.
 Klinika za pedijatriju, KBC Sestre milosrdnice
 Vinogradska cesta 29, 10000 Zagreb
 E-mail: nikola.krmek@kbcsm.hr

S U M M A R Y

Pediatric electrophysiology

Nikola Krmek

Electrophysiology has emerged as an important diagnostic and therapeutic method in the last three decades, often the first choice in the treatment of arrhythmias. In this procedure, catheter electrodes are used to enter the heart through central veins or arteries to determine the exact arrhythmogenic substrate and often to interrupt its activity by ablation.

The greatest step forward in reducing the amount of ionizing radiation in these procedures was the introduction of 3D mapping systems. These systems allow for the spatial placement of the catheter and the creation of a map of the heart's anatomy and electrical activity. The intracardiac electrogram is saved and the activation time can be compared with a reference point. It allows for the creation of an activation map that shows the way the signal propagates through the heart, which increases the precision of the work compared to procedures performed exclusively using X-ray radiation. This significantly reduces the patient's radiation exposure, which is especially important in childhood.

In Croatia, more than 2000 electrophysiological procedures are performed annually in all age groups, and almost 300.000 in Europe. In children, there were slightly more than 100 electrophysiological procedures performed in 2024. in our country.

This method of treatment achieves a permanent cure for arrhythmia, which is its greatest advantage compared to the only other option, drug treatment. While the effects of drugs are seen when patients take them regularly, there are no drugs that can definitively cure an arrhythmia. Since long-term use of drugs that have significant side effects is required, it is clear why electrophysiology, despite its risks, is increasingly used as the first line of treatment.

Key words: ELECTROPHYSIOLOGY; HEART; CHILD; ARRHYTHMIAS, CARDIAC