

Endovaszkuláris robotabláció

Gagy Rita Beáta^{1,2}, Vámos Máté¹, Nemes Attila¹, Szili-Török Tamás¹

¹Szegedi Tudományegyetem, Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Kar,
Belgyógyászati Klinika, Kardiológiai Centrum, Szeged

²Erasmus Medical Center, Rotterdam, Hollandia



Szerzői video-összefoglaló

Levelezési cím:

Dr. Szili-Török Tamás, PhD, med. habil., Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ, Kardiológiai Centrum,
6725 Szeged, Semmelweis utca 8. e-mail: szili-torok.tamas@med.u-szeged.hu

A robottechnológia az egyik legdinamikusabban fejlődő ágazat a medicinában. A technológiai fejlődés mellett az emberi hibákat megelőző automatizált funkciók iránti kereslet folyamatosan nő. A robottechnológiák alkalmazása a kardiológiában, különösen az elektrofiziológiában, egyre elterjedtebbé válik, mivel a robotok lehetővé teszik a precízebb és biztonságosabb beavatkozások elvégzését, áthidalva a manuális módszerek limitációit. Jelen összefoglaló a kardiológiai robottechnikák közül jelenleg legszélesebb körben elérhető robotizált mágneses navigációs rendszer (RMN) ismertetésére fókuszál. Az RMN számos előnyt kínál a katéterablációs beavatkozások során, beleértve a röntgensugárzás csökkentését úgy a beteg, mint az operatőr számára, a komplikációk előfordulásának csökkenését és az akut és hosszú távú sikerarányok növekedését. Az RMN értékes eszköz a komplex ritmuszavarok kezelésében, valamint a veszélyes szívhibával élő vagy korábbi sebészeti beavatkozáson átesett betegek esetében. Rendkívüli képintegrációs képességei és precíz katéternavigációja biztonságos és hatékony megoldást nyújtanak az elektrofiziológia területén.

Kulcsszavak: robotizált mágneses navigáció, katéterabláció, elektrofiziológia, ritmuszavarok

Endovascular robotic ablation

Robotic technology is one of the most dynamically evolving fields in medicine. Alongside technological advancement, there is a growing demand for automated functions aimed at preventing human errors. The application of robotic technologies in cardiology, especially in electrophysiology, is becoming increasingly widespread. Robots enable more precise and safer interventions, overcoming the limitations of manual methods. This review primarily focuses on describing the most widely available cardiac robotic technology at present, the robotic magnetic navigation system (RMN). The RMN system offers numerous advantages during catheter ablation procedures, including reduced fluoroscopy exposure, decreased incidence of complications, and improved acute and long-term success rates. RMN is a valuable tool in the treatment of complex arrhythmias, as well as in patients with congenital heart defects or those who have undergone previous surgical interventions. Its exceptional image integration capabilities and precise catheter navigation offer a safe and effective solution in the field of electrophysiology.

Keywords: robotic magnetic navigation, catheter ablation, electrophysiology, arrhythmias

Bevezető

A robotok használata a medicinában több mint 50 éve jelent meg ötletként, de tényleges alkalmazása csak a nyolcvanas évek végén kezdődött (1). Mára a robottechnológia és annak fejlesztése, valamint ezen tech-

nológiák gyártása az egyik legdinamikusabban növekvő ágazat lett. Tőzsdei adatok alapján például jelenleg több mint 200 robottechnológiát gyártó cég létezik. A piacnövekedés fő motorja kétségkívül a technológia fejlődése, de fontos kiemelni az automata funkciók utáni kereslet növekedését is. Orvosi szempontból mégis a

legfontosabb ok talán az emberi tényezőtől fakadó hibák csökkentésének lehetősége robotok használatával.

Az orvosi robotok alkalmazásának története

Az első, medicinában használt robot a Robodoc volt, amelyet ortopédiai sebész beavatkozások során használtak (2). Ezzel egy időben fejlesztették ki az első, urológiai sebészetben használt robotot is (3). A ma már széles körben használt Da Vinci urológiai robotrendszer őse, a „Lenny” (mint Leonardo becézése) 1995-ben jelent meg (1). A gyors ütemű technológiai fejlesztések sorozatának köszönhetően az urológiai robotrendszereket ma már több mint 12 millió beavatkozás során használták a világon (4). Ez az évente elvégzett urológiai műtétek kb. 80%-át teszi ki. A többi belső szervünkkel ellentétben a szív egy mozgó szerv, ezért a kardiológiai robotrendszerek fejlődése valamivel lassúbb tendenciát mutat. A mozgó szívbe vezetett katéterek robotvezérlése nagyobb kihívást jelent a mérnökök és fejlesztők számára, de az elmúlt húsz évben sok ígéretes technológia jelent meg ezen a területen.

A robottechnológiák alkalmazása a kardiológiában a 2000-es évek eleje óta indult fejlődésnek (5). Ma a robottechnológia egyre gyakrabban használt eszköz számos kardiológiai beavatkozás során, ideértve a minimálisan invazív pitvari septumdefektus zárását, a mitrális billentyű plasztikáját, a koszorúér-bypassműtétet, és az utóbbi időben az elektrofiziológiai beavatkozásokat is (6). A szív-elektrofiziológiában az utóbbi években a robotizált mágneses navigáció (RMN) vált a legelterjedtebb robottechnológiává (7). Jelen összefoglaló elsősorban a kardiológiai robottechnikák közül jelenleg legszélesebb körben elérhető RMN rendszer ismertetésére fókuszál.

Robottechnológia az elektrofiziológiában

Az elmúlt évtizedben az eszközös elektrofiziológia jelentős fejlődésen ment keresztül. A számos technológiai innováció között különösen érdekes és ígéretes új technológia az endovaszkuláris robotabláció (8, 9). Megnövekedett precizitást, megbízhatóságot és kiemelkedő műtői hatékonyságot biztosítva forradalmasíthatja a katéterablációs beavatkozások területét. A robottechnológia ötvözi a mesterséges intelligencia és a digitális technológia által nyújtott előnyöket a már jól ismert endovaszkuláris katéterterápiával (9, 10).

Valamennyi kardiológiai robotrendszer közös alapelve, hogy a katétert távolról irányítjuk a célpontként kijelölt miokardiális szövet felé, működési elvük alapján azonban a technológiákat három csoportba sorolhatjuk. Az első csoport olyan fejlett rendszereket foglal magában, amelyek lehetővé teszik a katéterek elektromechanikus irányítását mechanikus robotkarok és irányítható

sheathek segítségével. Ezek a technikák biomechanikai alapelveket alkalmaznak a térképező és ablációs katéterek irányításához az érrendszeren belül, ami így a kézzel irányított katéterek mozgását szimulálja. Ebbe a kategóriába tartozott – az azóta már kereskedelmi forgalomban nem elérhető – Hansen Sensei rendszer (Auris Health Inc., Redwood City, CA, USA) és az Amigo rendszer (ez utóbbi fejlesztése jelenleg szünetel, gyártója a Catheter Precision, Ledgewood, NJ, USA) (11, 12). A következő csoport olyan robotrendszereket tartalmaz, amelyek közvetlenül a katéter hegyét irányítják. A katéter mozgását alternatív erők, például elektromechanikai vagy mágneses erővezérlés hajtja végre. Ebből a csoportból a legismertebb a mágneses navigáció, ahol a mágnesesen vezérelt katéterhegy mágneses mezők segítségével mozog. A Niobe ES és a Genesis rendszer (Stereotaxis, St. Louis, MO, USA) a legismertebb példák erre (1. ábra). Hasonló kezdeményezés volt a svájci AEON Phocus, valamint a Magnetec (Catheter Guidance Control and Imaging rendszer vagy CGCI), amely rendszerek jelenleg már nincsenek használatban. Ezeknél a rendszereknél alapvető különbséget jelentett az, hogy a permanens mágnesekkel ellentétben elektromágneses teret használtak a katéter mozgására. Ennek előnye a flexibilisen változtatható mágneses erőter nagysága, hátránya viszont a túlmelegedés volt. A harmadik kategória olyan kombinált rendszereket foglal magában, ahol a térképezés és a terápia egy, az érrendszeren keresztül a szívbe vezetett, robotirányítású fejjel valósul meg. Ide olyan technológiák tartoznak, mint a kombinált irányított ultrahang és robotabláció (VytronUS, Sunnyvale, CA, USA), vagy valamilyenfajta külső energiabevitel (például sztereotaktikus külső sugárterápia) (13).

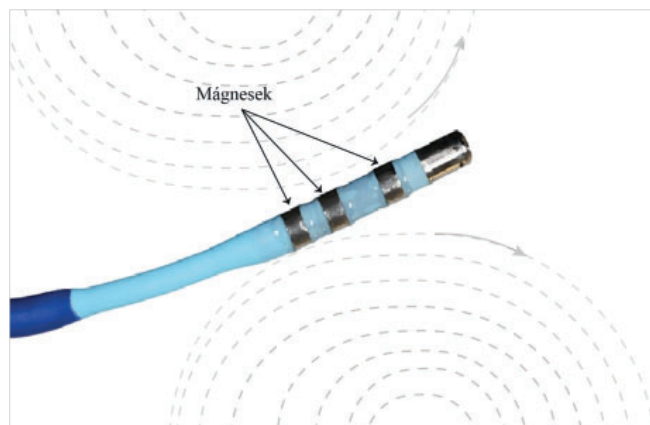
Manuális vs. robotvezérelt beavatkozások

A hagyományos manuális katéterablációs beavatkozások ugyan bizonyítottan hatékonyak a ritmuszavarok kezelésében, azonban a legtöbb beavatkozás magas szintű szakértelmet és beavatkozási ügyességet (manualitást) igényel (8). Ezenfelül a manuális beavatkozáshoz használt katéterek merevek, többnyire egy, maximum két görbület kialakítására alkalmasak ezért fizikai tulajdonságaiknál fogva bizonyos anatómiai képletek elérése nehézségekbe ütközhet (10). Jó példák erre a veleszületett szívhibával élő, szívsebészeti korrekción átesett betegek, akiknél kiterjedt kamrai vagy pitvari hegek lehetnek, illetve olyan gyermekgyógyászati esetek, akiknél a szívüregek az átlagosnál kisebbek. A robotrendszerek bevezetése többek között azt a célt szolgálja, hogy kiküszöbölje ezeket a limitációkat, és optimalizálja a katéter irányíthatóságát, illetve stabilitását (14) (2. ábra), amely által végeredményben a robottechnológia potenciálisan javítja a beavatkozások sikerarányát is.

Számos klinikai tanulmány vizsgálta az RMN hatásosságát pitvari és kamrai szívritmuszavarok kezelésében, bár a nagy, multicentrikus randomizált vizsgálatok száma csekély (15–17). A legtöbb klinikai tanulmány, amely az RMN-vezérelt pitvarfibrilláció és kamrai aritmiák ablációját vizsgálja, superior eredményeket ír le az RMN és a manuális RF (rádiófrekvenciás) abláció összehasonlítása során az akut és hosszú távú sikerarányok tekintetében (18). Ezenkívül a beavatkozás során alkalmazott röntgensugárzás is jelentősen alacsonyabb volt az RMN-vezérelt katéterabláció esetén a manuális vezérlésű katéterablációhoz képest, a komplikációs arány is alacsonyabbnak bizonyult (főként a miokardiális perforáció és a szívtamponád előfordulásának jelentős csökkenése miatt) (19). Pitvarfibrillációban ugyan a kezdeti eredmények még csak noninferioritást mutattak, az újabb technológiai fejlesztések következményeként a beavatkozások gyorsabbak, és akár jobb eredményekkel is járnak (kevesebb ritmuszavar-rekurrencia, magasabb rövid és hosszú távú sikerarány) (20).

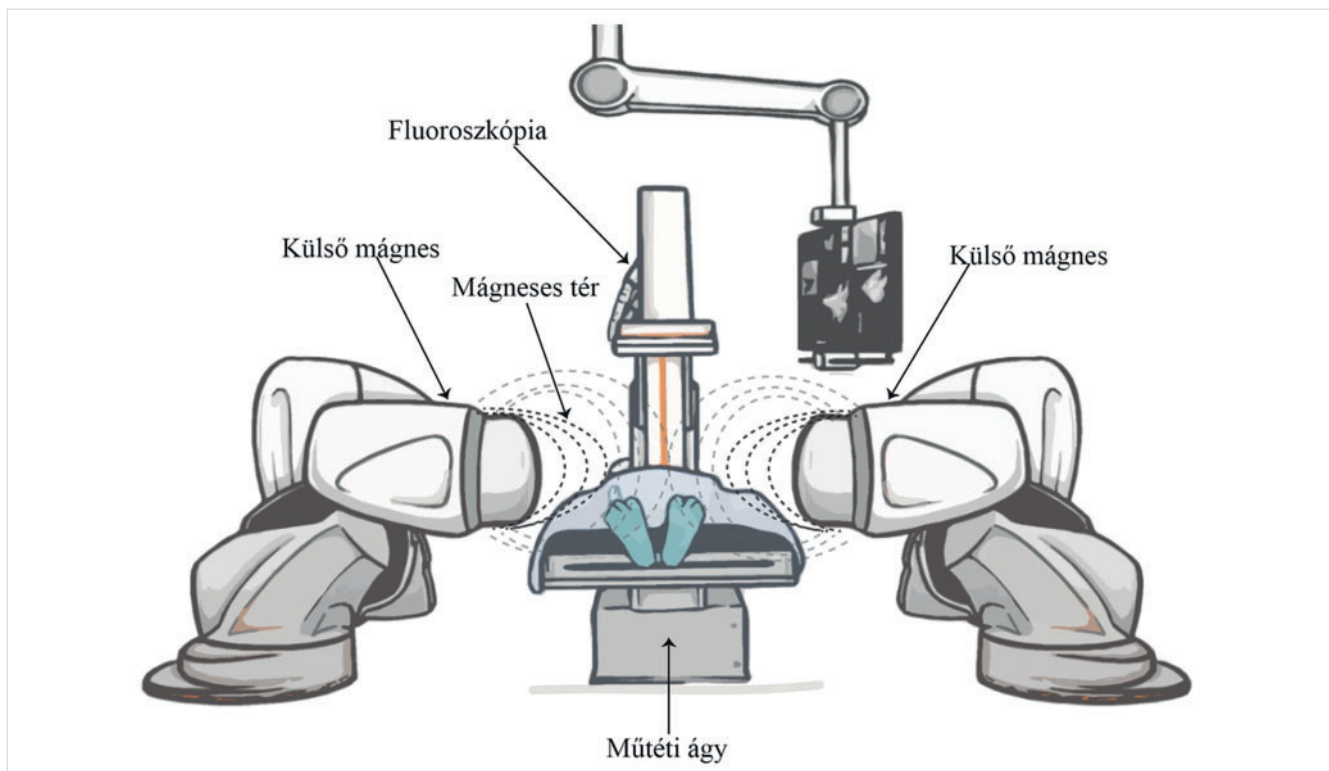
A robotizált mágneses navigációs rendszer leírása

2003-as bevezetése óta az RMN rendszer (Stereotaxis, Inc., St. Louis, MO, USA) a legelterjedtebben használt robotrendszerre vált az elektrofiziológiában (8). A rendszer két nagyméretű külső mágnesből áll, amelyek a páciens két oldalán helyezkednek el (1. ábra). A

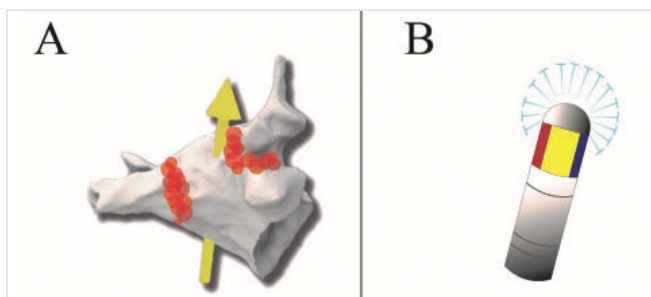


2. ÁBRA. Az RMN rendszerrel kompatibilis ablációs katéter. A katéter distalis szegmensében három kis mágnes helyezték el. A külső mágnesek által generált mágneses tér és a katéterbe épített mágneses terek interakciója segítségével valósul meg a katéter navigáció.

mágnesek 0,08–0,1 tesla erősségű mágneses mezőt generálnak a beteg mellkasában a speciálisan tervezett katéterek irányításához, amelyek hajlékony distalis végükben három apró mágneset tartalmaznak (2. ábra). A mágneses mező egy elméleti szívmodell térfogatára van optimalizálva, amelynek mérete 20×20 cm. Számítógépes rendszer segítségével a katétert a mágneses vektor változtatásával lehet irányítani. A katéter előretolását vagy visszahúzását egy számítógépes motorvezérlő rendszer irányítja (Cardiodrive; Stereotaxis, Inc.,



1. ÁBRA. A robotnavigációs rendszer felépítése. Két nagy külső permanens mágnes helyezkedik el a műteti ágy két oldalán. A rendszerhez hozzátartozik egy jó minőségű röntgen is.



3. ÁBRA. Technológiai fejlesztések az RMN rendszerben. Az A ábrán az „ablation history” funkció a rádiófrekvenciás energia leadásának helyét jelöli meg az anatómiai modellen, lehetővé téve a léziók közötti lehetséges részek azonosítását, így optimalizálva az ablációs vonalak elvégzését. A B ábrán az „e-contact module” funkció kék nyilakkal jelöli a katéter és a szívizomszövet kontaktusát, ezzel valódi vizsgálatast biztosítva a katéter helyzetéről. A kék vonalak denzitása korrelál a kontaktus minőségével, azaz minél sűrűbben helyezkednek el a kék vonalak, annál jobb a katéter kontaktusa a szövettel.

St. Louis, MO, USA) és az egér (mouse) görgetésével lehet előreoltni és visszahúzni akár 1 mm-es lépésekben is. Mindeközben a beavatkozást végző orvos a műtési szobán kívül, a konzolszobából irányítja az ablációs katétert (14, 21, 22).

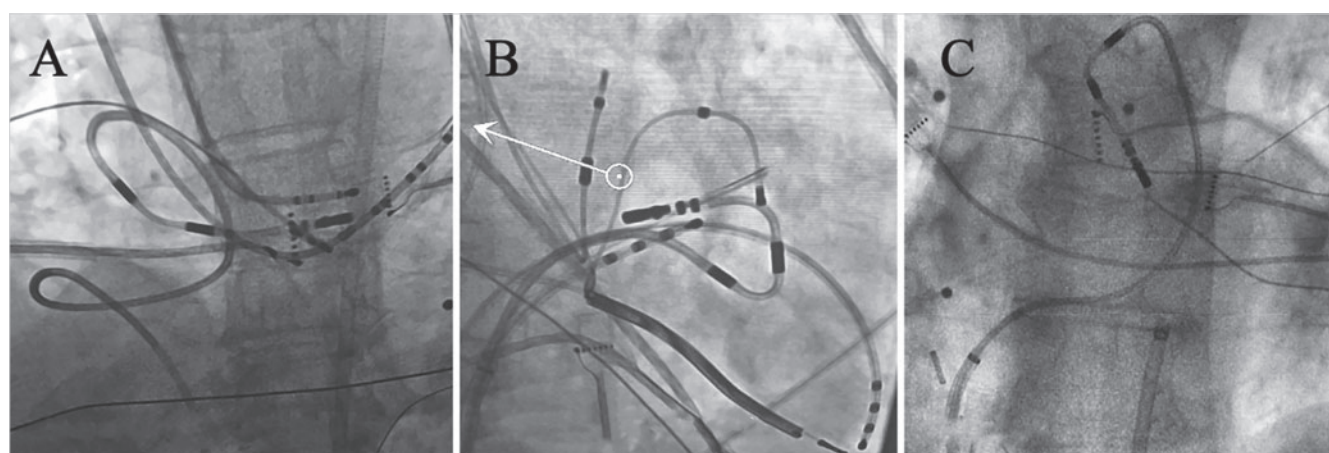
A beavatkozás során fennálló mágneses mező biztosítja, hogy a katéter hegye az endokardiális szövettel folyamatosan érintkezzen a szív ciklus teljes ideje során. Egyes felhasználók szerint az RMN rendszer egyik legfontosabb hiányossága a katéter végén keletkező nyomóerő-visszajelzés (contact force feedback) hiánya. A sheathbe vezetett RMN-katéterek esetében

15-20 g-os nyomóerő keletkezik, és ha a katéter nagyon közel van a sheath végéhez, akkor akár ez 50 g is lehet (Nakagawa, nem közölt adatok), így – az általános felfogással ellentétben – az RMN állandó contact force-t biztosít, minimálisra csökkentve a komplikációk veszélyét (23).

Az RMN rendszerben egy úgynevezett ablation history funkció is elérhető, amely lehetővé teszi a katéter által létrehozott ablációs léziók időtartamának és erősségének 3D-s vizualizációját a CARTO 3 térképen (3A ábra). Az alkalmazott energia (watt) alapján minden ablációs pontban sárgára (rövid RF alkalmazás és/vagy alacsony alkalmazott energia) vagy narancssárgára (hosszú RF alkalmazás és/vagy magas alkalmazott energia) színeződnek a markerek. A katéter-szövet érintkezés meghatározásához fejlesztették ki az ún. e-contact funkciót (e-contact module, ECM), amely 16 különböző biofizikai és biomechanikai változót elemez, beleértve az unipoláris és bipoláris impedanciaméréseket és a szív által kiváltott katétermozgást is. Az optimális katéter-szövet érintkezés esetén a katétercsúcs körül megjelenő jelzés ad információt az operatőrnek a katéter és a szövet kontaktusáról (17) (3B ábra).

Az RMN használata komplex anatómiai struktúrák megközelítése esetén

Az RMN rendszer lehetővé teszi az ablációs katéter navigálását anatómiai szempontból nagy kihívást jelentő területeken is. A veleszületett szívbetegségben szenvedő betegek esetében a rendszer megkönnyíti a célterületek elérését, amelyek manuális katétermanipulációval egyébként nehezebben lennének megközelít-



4. ÁBRA. Robotvezérelt katétergörbületek. Az ábrán található valamennyi illusztráció példa arra, hogy a mágneses katéter a fizikai jellemzőinél fogva nem limitált vagy akut vagy pedig nagyszámú görbület létrehozásában. Az illusztrációként választott képek kifejezetten olyan katéterhelyzeteket mutatnak be, amelyeket manuálisan irányított katéterrel nem lehet létrehozni. Az első felvételen (A) többszörös görbület látható egy septális pitvari tachycardia térképezése során. A második felvételen (B) olyan jobb kamrai tachycardia ablációja látható, ahol a katéter fejét a nagyon limitált rendelkezésre álló tér ellenére sikerült a jobb kamrában visszafordítani. A harmadik katéterhelyzet az úgynevezett retroflexió, amikor transseptális behatolás mellett is sikerül a katétert az aortán belül visszafordítani, és az aortabillentyűk tasakjait térképezni. Ezzel a technikával a retrográd térképezést kiválthatja a transseptális behatolás olyan betegekben, ahol az előbbi nem végezhető el biztonságosan.

hetők. Már pitvari septumdefektus korrekciója után is, de leginkább az ennél jóval komplexebb Mustard/Senning vagy Fontan-műtétek esetén a robotvezérelt katéterek több görbületet felvéve képesek biztosítani a retrográd megközelítést (4. ábra). Az RMN alkalmazható gyermekgyógyászati betegcsoportra is, ahol a pitvarok és kamrák kis mérete miatt a manuális katéternavigáció nehezített lenne, és olyan betegek kezelésére is alkalmas, akik korábban sebészeti beavatkozáson estek át (15). Olyan esetekben, amikor a transseptális vagy transbaffle hozzáférés nem kivitelezhető, a bal szívfél elérését az RMN retrográd transzaortikus megközelítés alkalmazásával teszi lehetővé (24). Fontos hangsúlyozni, hogy az RMN rendszerbe számos térképező rendszer integrálható (CARTO, EnSite elektroanatómiai térképező rendszerek), amelyek fontos szerepet játszanak a szívritmuszavarok pontos lokalizációjában és mechanizmusának felderítésében (17, 25–27).

Noten és munkatársai gyermekekben vizsgálták az RMN hatékonyságát kamrai aritmiák kezelésében. Tizennégy robotvezérelt és 16 manuálisan végzett katéterablációs beavatkozás adatait hasonlították össze ebben az unikális betegcsoportban, amelynek során azt a következtetést vonták le, hogy a robotvezérelt beavatkozások után kevesebb aritmiarekurrencia lépett fel, és az RMN hatékonyabb módszernek bizonyult, mint a konvencionális manuális módszer (28). Ugyanazon szerzők összehasonlították a krio-, a manuális, illetve a robotvezérelt beavatkozások hatékonyságát pitvar-kamrai nodális re-entry és pitvar-kamrai re-entry tachycardiák kezelésében. Összesen 108 robotvezérelt, 76 manuálisan végzett és 39 krioablációs beavatkozás adatait hasonlították össze, és azt találták, hogy a robotvezérelt abláció hosszú távú sikeraránya volt a legjobb (29). **Schwagten és munkatársai** veleszületett szívbetegségben szenvedő felnőttekben és gyerekekben elsőként vizsgálták az RMN kivitelezhetőségét, és arra a következtetésre jutottak, hogy az RMN biztonsággal használható ezeknek a komplex eseteknek a kezelésében is (15).

RMN pitvari aritmiák kezelésében

Az RMN segítségével végzett katéterablációs beavatkozások a pitvari flutter és tachycardia, a szupraventrikuláris tachycardia és a pitvarfibrilláció tekintetében hatékonyak és biztonságosnak bizonyultak (30). Általánosságban elmondható, hogy az RMN használatával végzett katéterabláció a szupraventrikuláris tachycardiák, például az atrioventrikuláris nodális reentrant tachycardia, az atrioventrikuláris re-entry tachycardia és fokális pitvari tachycardiák esetében kiváló hatékonyságot és biztonságosságot mutat a hagyományos, manuálisan végzett beavatkozásokkal végzett összehasonlításban (31–33).

A pitvarfibrilláció (PF) katéterablációja technikailag az

előzőekhez képest nagyobb kihívást jelentő beavatkozás, kedvezőtlenebb hosszú távú sikerarányával, kissé magasabb szövődmeny-kockázattal és tradicionálisan jelentősebb sugárterheléssel jár a beteg és a beavatkozást végző orvos számára egyaránt. Több retrospektív és prospektív tanulmány kimutatta, hogy a PF robotvezérelt ablációja alacsony komplikációs aránnyal jár (16, 20), és a hosszú távú ritmuszavar-mentesség szempontjából összehasonlítható eredményeket mutatott a manuális ablációval (34). Egy, **Virk és munkatársai** által végzett metaanalízis, amely 15 darab, 2002 és 2012 között közzétett tanulmányt vizsgált, nem azonosított szignifikáns különbségeket az RMN-vezérelt és a manuális abláció akut és hosszú távú sikerarányai között (35). A metaanalízis igazolta, hogy a robotvezérelt abláció során kevesebb röntgensugárzást használunk, de hosszabb teljes rádiófrekvenciás ablációs és beavatkozási idővel járt. Habár az általános komplikációs arányok nem különböztek a két csoport között, az RMN-abláció szignifikánsan alacsonyabb perforációarányal járt. **Noten és munkatársai** összehasonlították a krio-, a manuális és a robotvezérelt ablációs módszereket paroxizmális PF kezelésében. Vizsgálatukban a robotvezérelt katéterablációs beavatkozás egyéves sikeraránya több mint 90% volt, és az egy éven belüli legalacsonyabb rekurrenciaraányt a robotvezérelt beavatkozás után figyelték meg (20).

A technológia fejlődésének köszönhetően a legújabb fejlesztések használatával a beavatkozás ideje nagymértékben csökkenthető volt, ami akár így gyorsabb is lehet valamennyi konkurens ablációs technikánál (36). Nemrégiben egy új pulsed-field ablációs (PFA) technológia terjedt el az elektrofiziológia területén, amely jelentős hatással lehet a robottechnológia használatára, illetve fejlődésére. Ezen technológia optimális katéterkontaktot igényel, amelyhez az RMN által nyújtott folyamatos és megbízható kontakt tökéletes háttérrel biztosíthatna.

RMN a kamrai tachycardiák kezelésében

A kamrai tachycardiák kezelése is nagy fejlődésen ment keresztül az elmúlt évek során. Azokban az esetekben, amikor a gyógyszeres terápia nem fejt ki a kívánt terápiás hatást, a kamrai tachycardia katéteres ablációja nagy hatékonyságú, kuratív megoldás lehet. Az aritmiák eredetétől függően különböző behatolási pontokat lehet alkalmazni az abláció során: bal endokardiális, jobb endokardiális és epikardiális megközelítés. Több retrospektív és prospektív tanulmány vizsgálta az RMN hatékonyságát a kamrai tachycardiák kezelésében (18, 28, 37, 38). Ezen tanulmányok kimutatták, hogy az RMN-vezérelt, heghöz kapcsolódó kamrai tachycardiaabláció kevesebb röntgenidővel jár, a beavatkozási idő és a sikerarányok pedig hasonlóak a manuális abláció során tapasztaltakkal. A jelenleg is zajló,

prospektív MAGNETIC VT-tanulmányban olyan betegeket randomizálnak robotvezérelt vagy manuális ablációra, akiknél iszkémiás etiológiájú kamrai tachycardia és súlyos bal kamrai diszfunkció áll fent (17). A tanulmány elsődleges végpontja az 1 éves kamrai tachycardiától való mentesség lesz, az első eredmények 2024 végére várhatóak.

Több retrospektív tanulmány igazolta, hogy az RMN-vezérelt idiopátiás kamrai ritmuszavarok ablációjának sikeraránya jelentősen javult a manuális beavatkozások sikerarányokhoz képest (25, 39). Fontos megjegyezni, hogy ezek a tanulmányok is megerősítik, hogy az RMN használata szignifikánsan alacsonyabb röntgenidővel társul (25, 39). *Kawamura és munkatársai* olyan pácienseket vizsgáltak, akiknél ismételt ablációt végeztek idiopátiás kamrai tachycardia kapcsán, mert a korábban végzett manuális abláció sikertelennek bizonyult. Tanulmányukban szignifikánsan magasabb sikerarányokat közöltek a robotvezérelt redo abláció esetén a manuális beavatkozások sikerarányához képest (40).

Az RMN jövőbeli perspektívái

Habár az RMN rendszer minimalizálta a manuális műveletek elvégzését a katéterablációs beavatkozások során, a vénás vagy artériás punkció, illetve a katéterek sheathbe való felhelyezése még mindig emberi beavatkozást igényel. A közeli jövőben a technológia rohamos fejlődése lehetővé teheti majd a teljesen robotvezérelt elektrofiziológiai beavatkozások elvégzését.

Összefoglalás

A rendelkezésre álló tudományos evidenciák alapján a pitvari és kamrai szívritmuszavarok robotvezérelt ablációja a röntgensugárzás használatát kifejezetten csökkenti, és alkalmazásától a beavatkozások időtartamának és a komplikációk számának csökkentése is várható. Az RMN különösen a veleszületett szívhibával élő vagy sebészeti beavatkozáson átesett és komplex ritmuszavarban szenvedő betegek számára kínál értékes alternatívát, de előnyös lehet valamennyi ritmuszavar kezelésében. Egyedülálló képintegrációs tulajdonságával és a precíz katéternavigációval az RMN egy biztonságos és hatékony rendszernek bizonyult az elektrofiziológia területén.

Nyilatkozat

A szerzők kijelentik, hogy az eredeti közlemény megírásával kapcsolatban nem áll fenn velük szemben pénzügyi vagy egyéb lényeges összeütközés, összeférhetlenségi ok, amely befolyásolhatja a közleményben bemutatott eredményeket, az abból levont következtetéseket vagy azok értelmezését.

Irodalom

- George EI, Brand TC, LaPorta A, Marescaux J, Satava RM. Origins of Robotic Surgery: From Skepticism to Standard of Care. *JSLs* 2018; 22(4): e2018.00039. <https://doi.org/10.4293/JSLs.2018.00039>.
- Paul HA, Bargar WL, Mittlstedt B, Musits B, Taylor RH, Kazanides P, et al. Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1992; 285: 57–66.
- Harris SJ, Arambula-Cosio F, Mei Q, Hibberd RD, Davies BL, Wickham JE, et al. The Probot – An active robot for prostate resection. *Proc Inst Mech Eng H* 1997; 211(4): 317–25. <https://doi.org/10.1243/0954411971534449>
- Marchegiani F, Siragusa L, Zadoroznyj A, Laterza V, Mangano O, Schena CA, et al. New Robotic Platforms in General Surgery: What's the Current Clinical Scenario? *Medicina (Kaunas)* 2023; 59(7): 1264. <https://doi.org/10.3390/medicina59071264>
- Bonatti J, Vetrovec G, Riga C, Wazni O, Stadler P. Robotic technology in cardiovascular medicine. *Nat Rev Cardiol*. 2014; 11(5): 266–75. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2014.23>
- Koulaouzidis G, Charisopoulou D, Bomba P, Stachura J, Gasior P, Harpula J, et al. Robotic-Assisted Solutions for Invasive Cardiology, Cardiac Surgery and Routine On-Ward Tasks: A Narrative Review. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2023; 10(9): 399. <https://doi.org/10.3390/jcdd10090399>
- Aagaard P, Natale A, Briceno D, Nakagawa H, Mohanty S, Gianni C, et al. Remote Magnetic Navigation: A Focus on Catheter Ablation of Ventricular Arrhythmias. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2016; 27 Suppl 1: S38–44. <https://doi.org/10.1111/jce.12938>
- Aagaard P, Natale A, Di Biase L. Robotic navigation for catheter ablation: benefits and challenges. *Expert Rev Med Devices* 2015; 12(4): 457–69. <https://doi.org/10.1586/17434440.2015.1052406>
- Shurab M, Schilling R, Gang E, Khan EM, Crystal E. Robotics in invasive cardiac electrophysiology. *Expert Rev Med Devices* 2014; 11(4): 375–81. <https://doi.org/10.1586/17434440.2014.916207>
- Schmidt B, Chun KR, Tilz RR, Koektuerk B, Ouyang F, Kuck KH. Remote navigation systems in electrophysiology. *Europace* 2008; 10 Suppl 3: iii57–61. <https://doi.org/10.1093/europace/eun234>
- Shaikh ZA, Eilenberg MF, Cohen TJ. The Amigo Remote Catheter System: From Concept to Bedside. *J Innov Card Rhythm Manag* 2017; 8(8): 2795–802. <https://doi.org/10.19102/icrm.2017.080806>
- Bai R, L DIB, Valderrabano M, Lorgat F, Mlcochova H, Tilz R, et al. Worldwide experience with the robotic navigation system in catheter ablation of atrial fibrillation: methodology, efficacy and safety. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2012; 23(8): 820–6. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2012.02316.x>
- Turagam MK, Petru J, Neuzil P, Kakita K, Kralovec S, Harari D, et al. Automated Noncontact Ultrasound Imaging and Ablation System for the Treatment of Atrial Fibrillation: Outcomes of the First-in-Human VALUE Trial. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2020; 13(3): e007917. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.119.007917>
- Faddis MN, Blume W, Finney J, Hall A, Rauch J, Sell J, et al. Novel, magnetically guided catheter for endocardial mapping and radiofrequency catheter ablation. *Circulation* 2002; 106(23): 2980–5. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000038704.84304.6f>
- Schwagten B, Jordaens L, Witsenburg M, Duplessis F, Thornton A, van Belle Y, et al. Initial experience with catheter ablation using remote magnetic navigation in adults with complex congenital heart disease and in small children. *Pacing Clin Electrophysiol* 2009; 32 Suppl 1: S198–201. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2008.02283.x>
- Szili-Török T, Akca F. Remote magnetic navigation in atrial fibrillation. *Expert Rev Med Devices* 2012; 9(3): 249–55. <https://doi.org/10.1586/erd.12.11>
- Di Biase L, Tung R, Szili-Török T, Burkhardt JD, Weiss P, Tavernier R, et al. MAGNETIC VT study: a prospective, multicenter,

- post-market randomized controlled trial comparing VT ablation outcomes using remote magnetic navigation-guided substrate mapping and ablation versus manual approach in a low LVEF population. *J Interv Card Electrophysiol* 2017; 48(3): 237–45. <https://doi.org/10.1007/s10840-016-0217-3>
18. Akca F, Onsesveren I, Jordaens L, Szili-Török T. Safety and efficacy of the remote magnetic navigation for ablation of ventricular tachycardias – A systematic review. *J Interv Card Electrophysiol* 2012; 34(1): 65–71. <https://doi.org/10.1007/s10840-011-9645-2>
19. Jin QI, Pehrson S, Jacobsen PK, Chen XU. Efficacy and Safety of Atrial Fibrillation Ablation Using Remote Magnetic Navigation: Experience from 1,006 Procedures. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2016; 27 Suppl 1: S23–8. <https://doi.org/10.1111/jce.12929>
20. Noten AME, Romanov A, De Schouwer K, Beloborodov V, Bhagwandien R, Hoogendijk MG, et al. Robotic magnetic navigation-guided catheter ablation establishes highly effective pulmonary vein isolation in patients with paroxysmal atrial fibrillation when compared to conventional ablation techniques. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2023; 34(12): 2472–83. <https://doi.org/10.1111/jce.16081>
21. Noten AME, Geczy T, Yap SC, Kis Z, Szili-Török T. Introducing a novel catheter-tissue contact feedback feature in robotic navigated catheter ablation: Utility, feasibility, and safety. *Heart Rhythm O2* 2020; 1(2): 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.hroo.2020.04.003>
22. Da Costa A, Lafond P, Romeyer-Bouchard C, Gate-Martinet A, Bisch L, Nadrouss A, et al. Remote magnetic navigation and arrhythmia ablation. *Arch Cardiovasc Dis* 2012; 105(8–9): 446–53. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2012.02.009>
23. Bessiere F, Zikry C, Rivard L, Dyrda K, Khairy P. Contact force with magnetic-guided catheter ablation. *Europace* 2018; 20(suppl_2): ii1–ii4. <https://doi.org/10.1093/europace/euy006>
24. Ernst S, Babu-Narayan SV, Keegan J, Horduna I, Lyne J, Till J, et al. Remote-controlled magnetic navigation and ablation with 3D image integration as an alternative approach in patients with intra-atrial baffle anatomy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2012; 5(1): 131–9. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.111.962993>
25. De Torres F, Szili-Török T, Orellana FJ, Jordaens LJ. Ablation of idiopathic left ventricular tachycardia using remote magnetic navigation integrated with advanced mapping. *Rev Esp Cardiol* 2008; 61(10): 1104–7. [https://doi.org/10.1016/S1885-5857\(09\)60018-9](https://doi.org/10.1016/S1885-5857(09)60018-9)
26. Gagyi RB, Bhagwandien RE, Yap SC, Hoogendijk M, Wijchers S, Szili-Török T. Electrographic flow mapping guided catheter ablation offers advantages for patients with persistent atrial fibrillation. *Pacing Clin Electrophysiol* 2023; 46(7): 771–81. <https://doi.org/10.1111/pace.14744>
27. Gagyi RB, Yap SC, Noten AME, Wijchers S, Szili-Török T. The performance of dipole charge density mapping integrated with robotic magnetic navigation in the treatment of atrial tachycardias. *J Interv Card Electrophysiol* 2023; 66(9): 2103–11. <https://doi.org/10.1007/s10840-023-01552-6>
28. Noten AME, Ramdat Misier NL, Kammeraad JAE, Wijchers S, Van Beynum IM, Dalinghaus M, et al. The First Evaluation of Remote Magnetic Navigation-Guided Pediatric Ventricular Arrhythmia Ablation. *Pediatr Cardiol* 2022; 43(8): 1695–703. <https://doi.org/10.1007/s00246-022-02900-5>
29. Noten AME, Kammeraad JAE, Ramdat Misier NL, Wijchers S, van Beynum IM, Dalinghaus M, 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2021.100881>
30. Wood MA, Orlov M, Ramaswamy K, Haffajee C, Ellenbogen K, Stereotaxis Heart Study I. Remote magnetic versus manual catheter navigation for ablation of supraventricular tachycardias: a randomized, multicenter trial. *Pacing Clin Electrophysiol* 2008; 31(10): 1313–21. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2008.01183.x>
31. Kim SH, Oh YS, Kim DH, Choi IJ, Kim TS, Shin WS, et al. Long-term outcomes of remote magnetic navigation for ablation of supraventricular tachycardias. *J Interv Card Electrophysiol* 2015; 43(2): 187–92. <https://doi.org/10.1007/s10840-015-9991-6>
32. Liu XY, Jacobsen PK, Pehrson S, Chen X. Catheter Ablation of Focal Atrial Tachycardia Using Remote Magnetic Navigation. *J Invasive Cardiol* 2018; 30(4): 126–32.
33. Anne W, Schwagten B, Janse P, Bauernfeind T, Van Belle Y, De Groot N, et al. Flutter ablation with remote magnetic navigation: comparison between the 8-mm tip, the irrigated tip and a manual approach. *Acta Cardiol* 2011; 66(3): 287–92. <https://doi.org/10.1080/ac.66.3.2114127>
34. Elisabeth Noten AM, Kis Z, Akca F, Bhagwandien R, Wijchers S, Yap SC, et al. Robotic navigation shows superior improvement in efficiency for atrial fibrillation ablation. *J Atr Fibrillation* 2019; 11(5): 2108. <https://doi.org/10.4022/jafib.2108>
35. Virk SA, Kumar S. Remote Magnetic Versus Manual Catheter Navigation for Atrial Fibrillation Ablation: A Meta-Analysis. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019; 12(10): e007517.
36. Noten AME, Szili-Török T. A Novel, Highly Efficient and Effective Minimally-Invasive Ablation Strategy for Remote MAGnetic Navigation Guided Pulmonary Vein Isolation Journal of Atrial Fibrillation and Electrophysiology. 2022; Robotics in EP (Special Issue May 2022): 11–7.
37. Shauer A, De Vries LJ, Akca F, Palazzolo J, Shurrab M, Lashevsky I, et al. Clinical research: remote magnetic navigation vs. manually controlled catheter ablation of right ventricular outflow tract arrhythmias: a retrospective study. *Europace* 2018; 20(suppl_2): ii28–ii32. <https://doi.org/10.1093/europace/eux382>
38. Noten AME, Van Mieghem NM, Szili-Török T. Remote magnetic navigation-guided ventricular tachycardia ablation with continuous-flow mechanical circulatory support. *HeartRhythm Case Rep* 2019; 5(4): 217–20. <https://doi.org/10.1016/j.hrcr.2019.01.002>
39. De Vries LJ, Hendriks AA, Yap SC, Theuns D, van Domburg RT, Szili-Török T. Procedural and long-term outcome after catheter ablation of idiopathic outflow tract ventricular arrhythmias: comparing manual, contact force, and magnetic navigated ablation. *Europace* 2018; 20(suppl_2): ii22–ii7. <https://doi.org/10.1093/europace/euy004>
40. Kawamura M, Scheinman MM, Tseng ZH, Lee BK, Marcus GM, Badhwar N. Comparison of remote magnetic navigation ablation and manual ablation of idiopathic ventricular arrhythmia after failed manual ablation. *J Interv Card Electrophysiol* 2017; 48(1): 35–42. <https://doi.org/10.1007/s10840-016-0158-x>