

Kamrai tachycardia-abláció: indikációk, betegutak, legfrissebb tudományos eredmények

Komlósi Ferenc, Tóth Patrik, Vámosi Péter, Szakál Imre, Szegedi Nándor, Zima Endre, Salló Zoltán, Perge Péter, Osztheimer István, Nagy Klaudia Vivien*, Gellér László*



A szerző
video-összefoglalója

Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

Levelezési cím

Dr. Nagy Klaudia Vivien, 1122 Budapest, Városmajor utca 68.

A kamrai tachycardia (VT) a hirtelen szívhalál egyik leggyakoribb oka, amely mögött leggyakrabban a szívizomzat iszkémiás hegesedése áll. Kezelési stratégia alappillérei az implantálható kardioverter-defibrillátor (ICD), az antiaritmiás gyógyszerek és a katéterabláció. Míg az ICD csak a hirtelen szívhalált előzi meg, addig az antiaritmikumok hatásossága nem kielégítő és mellékhatásaik számottevők. Így a rohamosan fejlődő katéterabláció egyre előkelőbb helyet foglal el a terápiás eszköztárban. Közleményünkben a katéterabláció jelenlegi indikációjáról, és az azt megalapozó evidenciákról számolunk be. Kiemeljük, hogy a mindennapi gyakorlatban mely VT-esetek referálása javasolt katéterablációra specializált centrumnak. Bemutatunk a VT kezeléséről, jellemző betegutakról készült európai és hazai statisztikákat. Ezen kívül összegyűjtjük a terület legfrissebb tudományos eredményeit, és részletesen tárgyalunk két intenzíven kutattott kérdést. Egyrészt, hogy javíthatjuk-e katéterablációval a kamrai tachycardiás betegek túlélését, másrészt, hogy mi a VT-abláció ideális időzítése.

Kulcsszavak: kamrai tachycardia, katéterabláció, koronáriabetegség

Ventricular tachycardia ablation: indications, patient management, state of the art

Ventricular tachycardia (VT) is one of the most common causes of sudden cardiac death, its most prevalent etiology being ischemic heart disease. Cornerstones of therapy include implantable cardioverter defibrillator (ICD), antiarrhythmic drugs and catheter ablation. While ICDs only prevent sudden cardiac death, antiarrhythmics are often ineffective and have serious side effects. Therefore, the rapid evolution of catheter ablation established its important role in the therapy of VT. In our paper we present the current indications of catheter ablation in VT, discussing the supporting body of evidence. We summarize the most common cases where referral to specialized centers is recommended. Additionally, we present some of the European and Hungarian statistics regarding VT management. Furthermore, we summarize the newest scientific discoveries in the field, focusing on two questions of intensive debate: whether catheter ablation can improve survival in VT and the uncertainties around the optimal timing of catheter ablation.

Keywords: ventricular tachycardia, catheter ablation, coronary artery disease

*megosztott utolsó szerzők

A kézirat 2023. 02. 02-án érkezett a szerkesztőségbe, 2023. 04. 14-én került elfogadásra.

Bevezetés

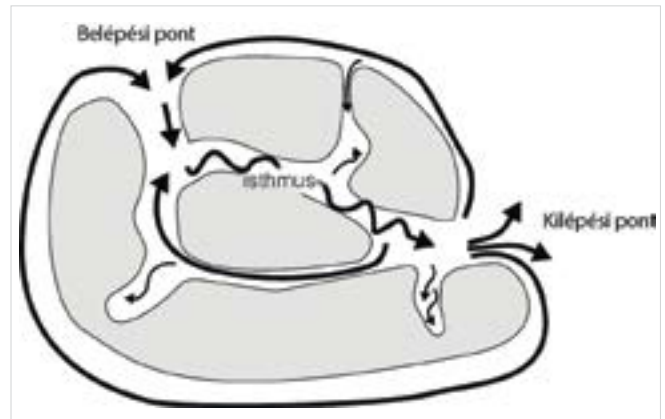
A kamrai tachycardia (VT) életet veszélyeztető ritmuszavar, a hirtelen szívhalál egyik leggyakoribb oka. A kamrai kóros ingerképzés kifejezetten gyors, inefektív szív működést eredményezhet. Ez önmagában is vezethet keringésösszeomláshoz, illetve könnyen kamrafibrillációba degenerálódhat. A társbetegségektől és a beteg kardiális státuszától függően a VT változatos tünetekkel jelentkezhet. Az egyszerű a palpitációtól a diszpnoén át az akut szívelégtelenségig, kardiogén sokkig, illetve hirtelen szívhalálig terjed a skála.

Etiológia, patomechanizmus

Etiológiáját tekintve első helyen áll az iszkémiás szívbetegség. Ezt követik egyéb strukturális szívbetegségek, mint a cardiomyopathiák. Legritkább az idiopátiás kamrai tachycardia, amely jobb prognózissal bír és jelentősen eltérő kezelési stratégiát kíván. Jelen közlemény fókuszában a strukturális szívbetegség, azon belül is elsősorban a krónikus iszkémia talaján kialakuló VT áll. Az iszkémiás kamrai tachycardia hátterében ún. reentry mechanizmus áll, amelynek szubsztrátja a hegben végbemenő kötőszövetes átépülés következtében kialakuló elektromos inhomogenitás (1. ábra). A miokardiális hegben elszórva megmaradnak még vezetőképessé szívizomterületek, amelyek azonban a károsodott szöveti szerkezet miatt csak lassú ingerületvezetésre képesek. A lassú ingerületvezetés, valamint a kamrai extraszisztólia hatására ezeken a területeken létrejövő unidirekcionális blokk teremti meg a reentry kör kialakulásának lehetőségét. A lassan vezető területet isthmusnak nevezzük, amely kritikus eleme a reentry körnek. A ritmuszavart általában egy trigger, gyakran egy kamrai extraszisztolé indítja el. Ilyenkor, mialatt az ingerület a lassú vezetőségi isthmuson áthalad, a hegből kiérve ismét depolarizálható myocardiumot talál, ezzel zárva a reentry kört (1).

Általános terápiás megfontolások

A kamrai tachycardia kezelésének sarokköve az implantálható kardioverter-defibrillátor (ICD) amely a hirtelen szívhalál megelőzésének leghatékonyabb eszköze. Napjainkban azonban bizonyítást nyert a visszatérő VT mortalitást növelő hatása. Az ICD-sokk (2), de még az anti-tachycardia ingerlés is szignifikánsan rosszabb túléléssel társul (3). Ezen felül egyértelmű, hogy a visszatérő ICD-terápiák rontják az életminőséget és jelentős pszichés terhet rónak a betegekre (4, 5). Ezeknek köszönhetően a korszerű kezelési szemlélet közepontjában az ICD-beültetésen túl az aritmia visszatérésének megelőzése is helyet kap. Kiemelt az antiaritmikumok szerepe, azonban gyakran inefektívek és használatukat számos mellékhatás korlátozza. 1983-



1. ÁBRA. Heg-reentry kör: A kamrai tachycardia keletkezésének leggyakoribb mechanizmusa

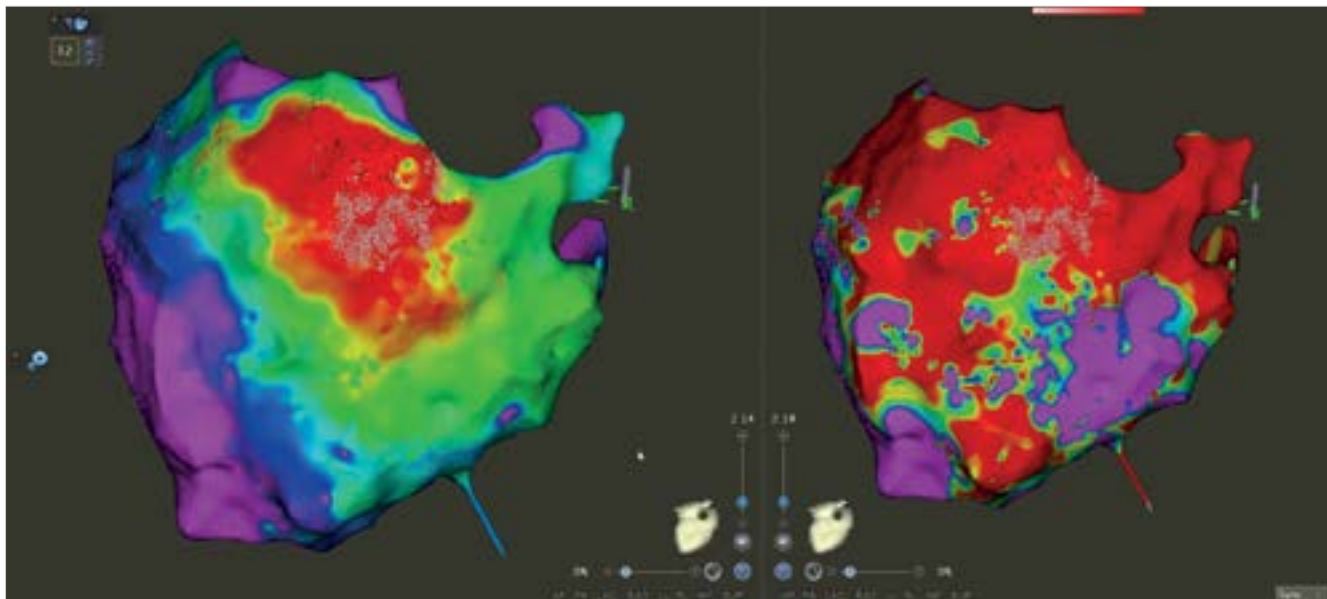
ban Hartzler és munkatársai végezték az egyik első sikeres, egyenárammal végzett VT-ablációt. Ennek során a zajló VT alatt a legkorábbi miokardiális aktiváció helyén 300 J energiát adtak le, ezzel sikeresen kezelve a terápia-refrakter kamrai tachycardiát (6). Az ezt követő évtizedek során technológiai újítások sora vezetett ahhoz, amit ma radiofrekvenciás katéterablációként ismerünk. A rapid fejlődésnek köszönhetően a friss szakmai irányelvek már számos erős ajánlást fogalmaznak meg a VT ablációs kezelésére.

Katéterabláció

A katéterabláció célja az aritmogén szubsztrát felkeresése és megszüntetése. Míg a különböző képkalkoló eljárások (echokardiográfia, szív-MR) során tájékozódhatunk a szubsztrát elhelyezkedéséről, addig a pontos lokalizációt az elektroanatómiai térképezés adja meg (2. ábra). Ennek három fő módszere ismert:

- feszültségtérképezés során alacsony lokális potenciálú, későn aktiválódó területeket keresünk, amelyek a heges myocardium még vezetőképessé részének felelnek meg.
- Az úgynevezett pace-mapping során a katéterrel különböző pontokról ingereljük a kamrai felszínt, figyelve a felszíni EKG hasonlóságát a klinikai ritmuszavarhoz, minél magasabb egyezést keresve.
- Az aktivációs térképezés során pedig tartós ritmuszavar alatt tapogatjuk le az endokardiális felszínt, rögzítve, hogy a myocardium egyes részei milyen időbeli sorrendben aktiválódnak.

A korai aktivációnak megfelelő hely a reentry kör azon része, ahol az ingerület kilép a heges területről (exit pont). A fentieket kiegészíti az entrainment mapping nevű stimulációs manőver, aminek segítségével meghatározható, hogy az endocardium mely pontjai vesznek részt a reentry körben. A modern elektroanatómiai térképezőrendszerek valós időben rögzítik a katéter pozícióját és a lokális elektrogramokat (7). Ilyen módon a beavatkozás során jól rekonstruálható és megjeleníthető a heg elhelyezkedése és az aberráns ingerképzés mechanizmusa.



2. ÁBRA. CARTO® rendszerrel VT-abláció során rögzített elektroanatómiai térkép (a Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika anyagából). Balra a ritmuszavar alatt felvett aktivációs térkép látható, a korai aktivációt a pirossal jelölt régió jelzi. Jobb oldalon a bipoláris feszültségtérkép látható, ahol piros szín jelzi a heges myocardiumot. Látható, hogy a korai aktiváció a heg széli zónájának felel meg

Mind a térképezés, mind az abláció technikája jelentős fejlődésen ment át az utóbbi évek során. Általánossá vált a nagy sűrűségű térképezés (high-density mapping), ami mind közelebb visz a heg-reentry mechanizmus pontosabb megértéséhez. Szimultán endo- és epikardiális térképezés segítségével kimutatták, hogy etiológiától függetlenül a reentry köröknek csak 17%-a helyezkedik a szívizomnak kizárólag az egyik felszínen. A miokardiális heg valójában egy háromdimenziós struktúra, amely lefedi a myocardium teljes vastagságát. Így tehát endokardiális vagy epikardiális szubsztrátról beszélni gyakran túlzó általánosítás (8). Mindemellett fontos megtervezni, hogy az endocardium felől, vagy pericardium punkción keresztül epikardiális oldalról kezdjük meg a térképezést, ugyanis ez jelentősen befolyásolja a szövődmények kockázatát (9). Szintén igazolták, hogy a ritmuszavar ciklushossza és a reentry kör fizikai méretei között laza összefüggés van, és ez inkább a szöveti vezetés sebességével függ össze (10). Mindez a szubsztrát térképezésének fontosságára hívja fel a figyelmet. Ez lényegesen pontosabban kivitelezhető egy friss vizsgálat alapján, ha nemcsak sinusritmusban, hanem a jobb és a bal kamrából ingerelve is készítünk térképet. A közlemény szerint az így pontosabban meghatározott heg ablációja 83,5%-os VT-mentes túlélést eredményezett 3,6 éves átlagos utánkövetés során (11). Manapság már nem kérdés, hogy bár a VT kiindulási (exit) pontjának ablációja akut terminálja a ritmuszavart, hosszú távon jobb eredmény érhető el a kiterjedtebb szubsztrátmodifikációval (12, 13). Ehhez pedig nem szükséges a ritmuszavar indukciója, így elkerülhetőek lennének a kardioverziók, il-

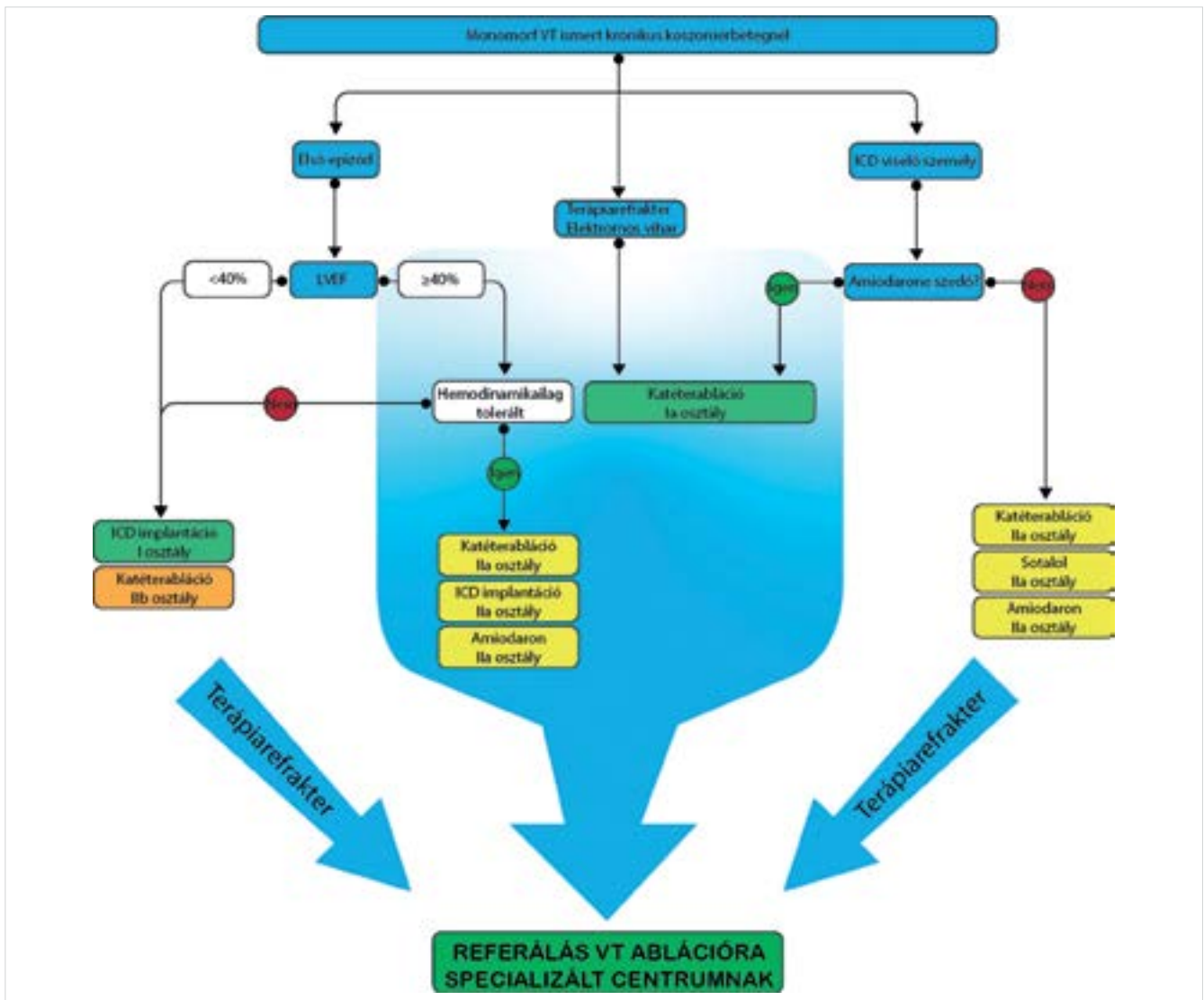
letve a potenciális keringésösszeomlás a beavatkozás során. Erre mutat rá egy nagy elemszámú vizsgálat, ahol VT-indukció és aktivációs térképezés nélkül végeztek ablációt. Itt tisztán sinusritmusban térképezve, szubsztrátalapú ablációval is kiváló eredményről számoltak be (14).

A katéterabláció indikációi, evidenciák

A VT-abláció hatékonyságát számos prospektív, randomizált vizsgálat támasztja alá.

Az elsőként megjelent SMASH-VT-vizsgálat során szekunder prevenció ICD-implantációt követően végeztek a betegek felében katéterablációt, amely sikeresen csökkentette az ICD-sokk rizikóját (15). A VTACH-vizsgálat hemodinamikailag stabil VT-t vizsgált szekunder prevenció ICD-implantációt követően, a betegek felét ablációs kezelésre randomizálva (16). Az ablációs csoportban hosszabb VT-mentes túlélést, kevesebb ICD-sokkot és kevesebb kardiális ok miatti hospitalizációt regisztráltak. Ezzel szemben az SMS-vizsgálatban instabil ritmuszavarral rendelkező populációt vizsgáltak, ahol bár a rekurrenciáig eltelt idő nem különbözött szignifikánsan, az összesen regisztrált ICD-sokk számát lényegesen csökkentette az ablációs kezelés (17). Fontos limitációja ennek a vizsgálatnak a feltehető heterogenitás mind az index ritmuszavar természetében (közös nevező a csak a hemodinamikai instabilitás volt), mind pedig az ablációs stratégiában.

A legnagyobb elemszámú VANISH-vizsgálatban a profilaktikus szemlélettel szemben kizárólag antiaritmiikumokra refrakter VT esetén végeztek ablációt. A betegeket ablációra, vagy az antiaritmiás kezelés további



3. ÁBRA. A katéterabláció szerepe az iszkémiás kamrai tachycardia kezelésében. Módosított ábra. Forrás: 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death (24)

eszkálációjára randomizálták (18). Egyértelmű előnye volt az ablációnak a halálozás, az elektromos vihar és az adekvát ICD-sokk kompozit végpontjára nézve; kiemelendő, hogy a különbségért az utóbbi két esemény volt felelős. A PAUSE-SCD-vizsgálatban hasonló eredmények születtek profilaktikus (ICD-implantációt követően elvégzett) abláció esetén; míg kevesebb ICD-sokkot és VT-rekurrenciát regisztráltak az ablációs csoportban, addig a mortalitásban nem volt különbség (19).

A relatíve frissen közölt PARTITA-vizsgálatban a betegek az ICD-implantációt követő első adekvát sokk után kerültek ablációs vagy követéses ágra (20). Kiemelendő, hogy ebben a vizsgálatban sikerült eddig egyedül kimutatni a katéterabláció mortalitást csökkentő hatását, noha kompozitvégpont részeként.

A fenti vizsgálatokról az utóbbi évben két metaanalízis is megjelent (21, 22). Ezek alapján a VT miatt végzett

katéterablációt követően kevesebb volt a VT-epizód, az adekvát (appropriate) ICD-terápia, az elektromos vihar és kevesebb kardiovaszkuláris hospitalizációt regisztráltak (3. ábra). Néhány kérdés azonban továbbra is megválaszolatlan. Kevés adat áll rendelkezésre például a nemi különbségek tekintetében (23). Emellett élelénk kutatás tárgya, hogy csökkenthető-e a halálozás katéterablációval, illetve, hogy milyen időzítéssel érdemes a beavatkozást elvégezni.

VT-abláció és mortalitás

A katéterabláció kétségkívül csökkenti a kamrai tachycardia-epizódok és ICD-terápiák számát, amelyek pedig ismertén rosszabb túléléssel társulnak (25). Kézenfekvő tehát a feltételezés, hogy az ablációval csökkenthető a mortalitás. A PARTITA-vizsgálat eredményein túl az is erre mutat, hogy egy metaanalízisben 35%-os ejekciós frakció alatt jobb túlélést észleltek ka-

téterablációt követően (22). Egyelőre azonban a mortalitásbeli előnyt a nagy randomizált vizsgálatok nem támasztják konzisztensen alá; ennek számos okát feltételezik (26). Egyrészt, egy korábbi vizsgálat sem rendelkezett megfelelő statisztikai erővel, hogy a mortalitást megfelelően vizsgálhassa; a halálozás jellemzően valamely kompozit végpont részeként szerepel. Ennek ellenére megjegyzendő, hogy még a napjainkig folytatott legmagasabb elemszámú VANISH-vizsgálat sem tudott mortalitásbeli előnyt kimutatni (18). Másrészt, lehetséges, hogy a magasabb mortalitási kockázatú betegek, például akik elektromos viharral jelentkeztek, kisebb eséllyel kerültek beválasztásra a randomizált vizsgálatokba. Harmadikként megfontolandó, hogy bár a katéterabláció technikája dinamikusan fejlődik, hatásossága nem tökéletes. Így az is lehetséges, hogy a kevesebb VT-epizód, illetve ICD-sokk mortalitásra gyakorolt hatása nem szignifikáns ebben a társbetegségekkel terhelt populációban. Végül, nem elképzelhetetlen, hogy az ablációnak valóban nincs hatása a túlélésre; lehetséges, hogy az ICD korszerű alkalmazása megelőzi az aritmia okozta halálozások legnagyobb hányadát. Továbbá, bár az ICD-terápiák magasabb mortalitással járnak, az ok-okozati összefüggés még kérdéses; lehetséges, hogy a ritmuszavar ismétlődése csak az előrehaladott kardiális betegség velejárója, de nem a halálozás közvetlen oka (27).

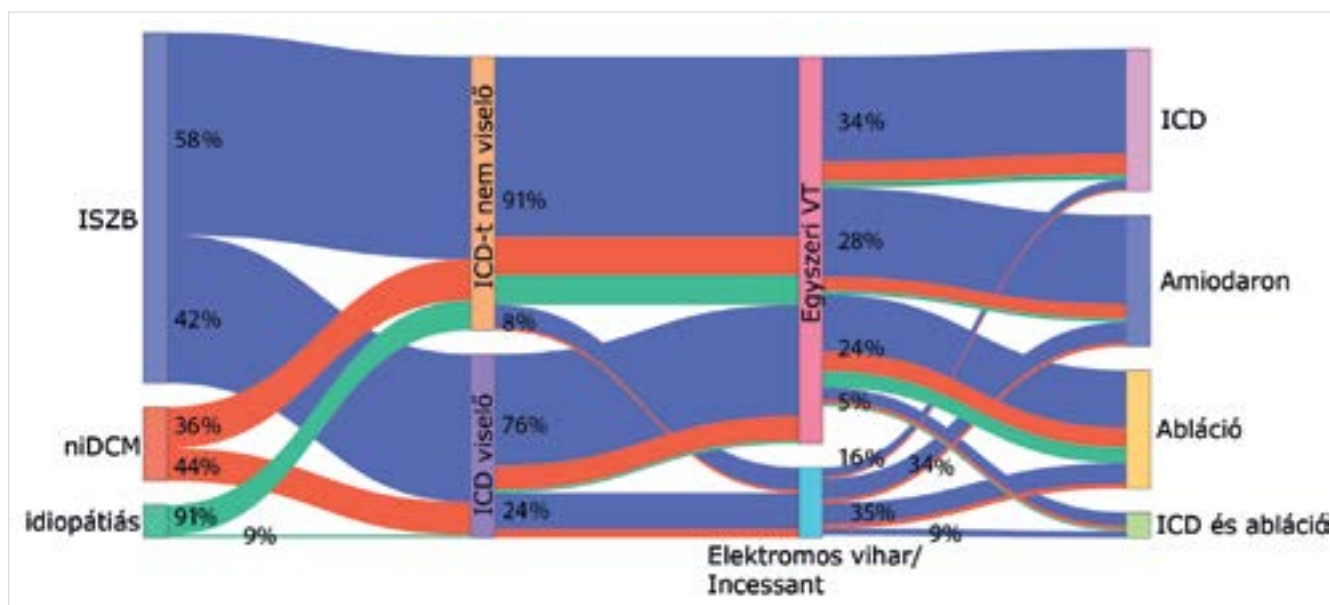
A VT-abláció időzítése

Gyógyszerrefrakter elektromos vihar, illetve incessant VT esetén a katéterabláció az akut kezelés részét képezi (Ia ajánlás). Emellett az aktuális irányelvek strukturális szívbetegség esetén különböző szintű ajánlásokat fogalmaznak meg. Iszkémiás szívbetegségben a katéterabláció indikációja jelenleg a visszatérő, amiodaron-

refrakter VT esetén a legerősebb (Ia ajánlás). Amennyiben a ritmuszavar béta-blokkoló, illetve sotalolkezelés mellett tér vissza, akkor az ajánlás már csak IIa szintű. Az ICD-implantáció körül történő profilaktikus VT-ablációra pedig már csak IIb ajánlás van. Külön érdekesség a nem súlyosan csökkent balkamra-funkció mellett jelentkező, hemodinamikailag jól tolerált VT esete. Ilyenkor ugyanis, a kisebb rizikónak megfelelően, az ICD-implantációra vonatkozó ajánlás csak IIa szintű. Mi több, ebben a betegcsoportban a korai abláció első vonalban is megfontolandó; sikeres beavatkozás esetén az abláció az ICD-implantációt kiválthatja (24).

A bővülő indikációt a valós statisztikai adatok is követik, érdekes módon talán meg is előzik. Az Európai Aritmológiai Társaság (EHRA) 2015-ben közzétett felmérése szerint a centrumok 13,3%-ában már az első ICD-sokkot követően ablációhoz folyamodnak iszkémiás szívbetegéknél (28). Egy újabb, 2017-ben folytatott vizsgálatban már 62%-ban végeztek VT-ablációt a béta-blokkoló mellett először jelentkező, hemodinamikailag tolerált kamrai tachycardia esetén (29). Természetesen ezen számok kivetíthetőségét befolyásolja, hogy milyen arányban és mennyi időn belül referálják centrumoknak a VT-eseteket, illetve, hogy egyáltalán milyen gyakran kerül időben felismerésre a kórkép. Ez utóbbi pedig jelentősen függ a területi ellátás szervezettségétől. A Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinikán az elmúlt 10 évben kamrai tachycardia miatt ellátott betegek jellemző betegútja a 4. ábrán látható; a diagram közel 500 eset retrospektív elemzésével készült.

A profilaktikus VT-abláció körüli bizonytalanság a korábbi vizsgálatok fényében érthető meg. Kilenc jelentős randomizált vizsgálat közül öt vizsgálta a profilaktikus abláció hatását a konzervatív terápiával összehasonlítva (SMASH-VT, VTACH, SMS, BERLIN VT, PAUSE-



4. ÁBRA. Betegutak a Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinikán 2012–2022 között VT miatt ellátott páciensek elektronikus aktáinak elemzése alapján

SCD, PARTITA), míg három (CALYPSO, VANISH, SURVIVE-VT) esetében visszatérő ritmuszavar miatt, tehát inkább reaktív szemlélettel végeztek ablációt.

Bár mind a profilaktikus, mind a reaktívabb, első adekvát ICD-sokkot követő ablációs szemlélet számos fontos végpont tekintetében szignifikáns eredményeket hozott, addig a korai és a halasztott abláció direkt összehasonlítása sokáig nem történt meg. Ezt a kérdést célozva született, hazai részvétellel, a BERLIN-VT-vizsgálat. Itt az első VT után történt ICD-implantációt követően végzett azonnali, illetve a harmadik adekvát sokkot követő ablációs stratégiát hasonlították össze. Itt azonban nem sikerült kimutatni a korai abláció előnyét a mortalitás és a kardiális okú rehospitalizáció kompozit primer végpontra nézve, noha a tartós VT-k, illetve adekvát ICD-terápiák száma kevesebb volt a korai abláció esetén. Megjegyzendő, hogy a vizsgálat elsősorban a korai ablációs ág magas mortalitása miatt félbeszakadt; noha ezek a halálozások nagyjából sem a beavatkozáshoz, sem a ritmuszavarokhoz nem köthetők közvetlenül.

A VANISH-vizsgálat primer végpontja (halálozás, 3 egymást követő VT-epizód, adekvát ICD-sokk) még az antiaritmikum-refrakter ritmuszavarokon belül is csak azon betegeknél lett szignifikáns, akik korábban amiodaront kaptak (18). Egy egészen friss metaanalízis szerzői célzottan az antiaritmikumok feltitrálásával hasonlították össze a katéterablációt. Itt, bár katéterabláció esetén kevesebb adverz eseményt regisztráltak, a két stratégia között nem volt különbség az adekvát ICD-sokkok előfordulásában. Így továbbra is kérdéses, hogy a gyógyszeres terápiát kiválthatja-e a profilaktikus katéterabláció.

Egyre inkább külön entitásként kezelik a már említett, az enyhén csökkent ejekciós frakcióval (>40%), illetve a jó szisztolés balkamra-funkcióval rendelkező betegek jelentkező, hemodinamikailag jól tolerált VT esetét. Itt a korai, adott esetben ICD-implantáció helyett végzett abláció indikációját több vizsgálat látszik alátámasztani. Két retrospektív vizsgálat is azt mutatta, hogy a sikeres ablációt követő ICD-implantáció nem változtatott a mortalitáson (30, 31).

A fentiekből kitűnik, hogy élénken tárgyalt kérdés a kamrai tachycardia-abláció megfelelő időzítése. Valószínű, hogy a sokadik epizóddal jelentkező, illetve antiaritmikumokra nem reagáló ritmuszavarok esetén jelentősebb az abláció hozzáadott értéke. Azonban ennek a határnak a pontos meghúzásához további, randomizált vizsgálatok szükségesek.

Következtetések

Az elmúlt öt évtized során a katéterabláció bámulatos fejlődésen ment keresztül, aminek köszönhetően elfoglalta méltó helyét a kamrai ritmuszavarok terápiás eszköztárában. A korszerű térképezési módszerek megje-

lenésével fény derült a kamrai tachycardia mögött rejlő elektrofiziológiai mechanizmusokra, a modern ablációs eszközök segítségével pedig hatékonyan kezelhetjük a szubsztrátot. Metaanalízisek sora támasztja alá a katéterabláció indikációját visszatérő, illetve antiaritmikumokra refrakter VT esetén. Ebben a kifejezetten fragilis populációban a pontos betegszelekció továbbra is kiemelt jelentőséggel bír; így az abláció időzítése, illetve a túlélésre gyakorolt hatásával kapcsolatban még számos kérdés nyitva áll. Továbbá, fontos a VT-ablációra kerülő betegek esetében azon klinikai, illetve procedurális paraméterek meghatározása, amelyek befolyásolhatják ezen, multimorbid, sokszor fragilis betegcsoport kimenetelét. Az élénk, hazai részvétellel is folyó kutatásoknak köszönhetően ezekre is bizonyára hamarosan választ kaphatunk.

Nyilatkozat

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

Irodalom

- Wellens HJ, Düren DR, Lie KI. Observations on mechanisms of ventricular tachycardia in man. *Circulation* [Internet] 1976; 54(2): 237–44. <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.54.2.237>
- Poole JE, Johnson GW, Hellkamp AS, et al. Prognostic importance of defibrillator shocks in patients with heart failure. *N Engl J Med* [Internet] 2008; 359(10): 1009–17. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa071098>
- Strickberger SA, Canby R, Cooper J, et al. Association of Anti-tachycardia Pacing or Shocks With Survival in 69,000 Patients With an Implantable Defibrillator. *J Cardiovasc Electrophysiol* [Internet] 2017; 28(4): 416–22. <http://dx.doi.org/10.1111/jce.13170>
- Schron EB, Exner DV, Yao Q, et al. Quality of life in the antiarrhythmics versus implantable defibrillators trial: impact of therapy and influence of adverse symptoms and defibrillator shocks. *Circulation* [Internet] 2002; 105(5): 589–94. <http://dx.doi.org/10.1161/hc0502.103330>
- Irvine J, Dorian P, Baker B, et al. Quality of life in the Canadian Implantable Defibrillator Study (CIDS). *Am Heart J* [Internet] 2002; 144(2): 282–9. <http://dx.doi.org/10.1067/mhj.2002.124049>
- Hartzler GO. Electrode catheter ablation of refractory focal ventricular tachycardia. *J Am Coll Cardiol* [Internet] 1983; 2(6): 1107–13. [http://dx.doi.org/10.1016/s0735-1097\(83\)80337-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0735-1097(83)80337-4)
- Acosta J, Penela D, Andreu D, et al. Multielectrode vs. point-by-point mapping for ventricular tachycardia substrate ablation: a randomized study. *Europace* [Internet] 2018 [cited] 2023 Jan 14; 20(3): 512–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28069835>
- Tung R, Raiman M, Liao H, et al. Simultaneous Endocardial and Epicardial Delineation of 3D Reentrant Ventricular Tachycardia. *J Am Coll Cardiol* [Internet] 2020; 75(8): 884–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2019.12.044>
- Ozcan EE, Széplaki G, Tahin T, et al. When to go epicardially during ventricular tachycardia ablation? Role of surface electrocardiogram. *Interv Med Appl Sci* [Internet] 2013; 5(4): 182–5. <http://dx.doi.org/10.1556/IMAS.5.2013.4.6>

10. Nishimura T, Upadhyay GA, Aziz ZA, et al. Circuit Determinants of Ventricular Tachycardia Cycle Length: Characterization of Fast and Unstable Human Ventricular Tachycardia. *Circulation* [Internet] 2021; 143(3): 212–26. <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.050363>
11. Anter E, Neuzil P, Reddy VY, et al. Ablation of Reentry-Vulnerable Zones Determined by Left Ventricular Activation From Multiple Directions: A Novel Approach for Ventricular Tachycardia Ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* [Internet] 2020; 13(6): e008625. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.120.008625>
12. Di Biase L, Burkhardt JD, Lakkireddy D, et al. Ablation of Stable VTs Versus Substrate Ablation in Ischemic Cardiomyopathy: The VISTA Randomized Multicenter Trial. *J Am Coll Cardiol* [Internet] 2015; 66(25): 2872–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2015.10.026>
13. Fernández-Armenta J, Penela D, Acosta J, et al. Substrate modification or ventricular tachycardia induction, mapping, and ablation as the first step? A randomized study. *Heart Rhythm* [Internet] 2016; 13(8): 1589–95. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1547527116302752>
14. Fernandez-Armenta J, Soto-Iglesias D, Silva E, et al. Safety and outcomes of ventricular tachycardia substrate ablation during sinus rhythm: A prospective multicenter registry. *JACC Clin Electrophysiol* [Internet] 2020; 6(11): 1435–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacep.2020.07.028>
15. Tung R, Josephson ME, Reddy V, Reynolds MR, SMASH-VT Investigators. Influence of clinical and procedural predictors on ventricular tachycardia ablation outcomes: an analysis from the substrate mapping and ablation in Sinus Rhythm to Halt Ventricular Tachycardia Trial (SMASH-VT). *J Cardiovasc Electrophysiol* [Internet] 2010; 21(7): 799–803. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1540-8167.2009.01705.x>
16. Kuck K-H, Schaumann A, Eckardt L, et al. Catheter ablation of stable ventricular tachycardia before defibrillator implantation in patients with coronary heart disease (VTACH): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* [Internet] 2010; 375(9708): 31–40. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61755-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61755-4)
17. Kuck K-H, Tilz RR, Deneke T, et al. Impact of substrate modification by catheter ablation on implantable cardioverter-defibrillator interventions in patients with unstable ventricular arrhythmias and coronary artery disease: Results from the multicenter randomized controlled SMS (Substrate Modification Study): Results from the multicenter randomized controlled SMS (Substrate Modification Study). *Circ Arrhythm Electrophysiol* [Internet] 2017; 10(3): <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCEP.116.004422>
18. Sapp JL, Wells GA, Parkash R, et al. Ventricular tachycardia ablation versus escalation of antiarrhythmic drugs. *N Engl J Med* [Internet] 2016; 375(2): 111–21. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1513614>
19. Tung R, Xue Y, Chen M, et al. First-line catheter ablation of monomorphic ventricular tachycardia in cardiomyopathy concurrent with defibrillator implantation: The PAUSE-SCD randomized trial. *Circulation* [Internet] 2022; 145(25): 1839–49. <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.060039>
20. Della Bella P, Baratto F, Vergara P, et al. Does timing of ventricular tachycardia ablation affect prognosis in patients with an implantable cardioverter defibrillator? Results from the multicenter randomized PARTITA trial. *Circulation* [Internet] 2022; 145(25): 1829–38. <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.059598>
21. Fong KY, Chan YH, Wang Y, et al. Catheter Ablation of Ventricular Arrhythmia in Patients with an Implantable Cardioverter-Defibrillator: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Can J Cardiol* [Internet] 2022; <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjca.2022.12.004>
22. Ravi V, Poudyal A, Khanal S, et al. A systematic review and meta-analysis comparing radiofrequency catheter ablation with medical therapy for ventricular tachycardia in patients with ischemic and non-ischemic cardiomyopathies. *J Interv Card Electrophysiol* [Internet] 2022; <http://dx.doi.org/10.1007/s10840-022-01287-w>
23. Tóth P, Komlósi F, Vámosi P, et al. Sex differences in one-year recurrence and all-cause mortality following catheter ablation of ventricular tachycardia in structural heart disease. *Front Cardiovasc Med* [Internet] 2022; 9: 1061471. <http://dx.doi.org/10.3389/fcvm.2022.1061471>
24. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M, et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J* [Internet] 2022; 43(40): 3997–4126. <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehac262>
25. Tung R, Vaseghi M, Frankel DS, et al. Freedom from recurrent ventricular tachycardia after catheter ablation is associated with improved survival in patients with structural heart disease: An International VT Ablation Center Collaborative Group study. *Heart Rhythm* [Internet] 2015; 12(9): 1997–2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.05.036>
26. Bennett RG, Deyell MW. Catheter ablation of ventricular tachycardia: Making a difference, but not saving lives? *Can J Cardiol* [Internet] 2023; <http://www.onlinecjc.ca/article/S0828282X23000260/abstract>
27. Samuel M, Elsokkari I, Sapp JL. Ventricular Tachycardia Burden and Mortality: Association or Causality? *Can J Cardiol* [Internet] 2022; 38(4): 454–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjca.2022.01.016>
28. Chen J, Todd DM, Proclemer A, et al. Management of patients with ventricular tachycardia in Europe: results of the European Heart Rhythm Association survey. *Europace* [Internet] 2015; 17(8): 1294–9. <http://dx.doi.org/10.1093/europace/euv255>
29. Tilz RR, Lenarczyk R, Scherr D, et al. Management of ventricular tachycardia in the ablation era: results of the European Heart Rhythm Association Survey. *Europace* [Internet] 2018; 20(1): 209–13. <http://dx.doi.org/10.1093/europace/eux332>
30. Clemens M, Peichl P, Wichterle D, et al. Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia as the First-Line Therapy in Patients With Coronary Artery Disease and Preserved Left Ventricular Systolic Function: Long-Term Results. *J Cardiovasc Electrophysiol* [Internet] 2015; 26(10): 1105–10. <http://dx.doi.org/10.1111/jce.12751>
31. Maury P, Baratto F, Zeppenfeld K, et al. Radio-frequency ablation as primary management of well-tolerated sustained monomorphic ventricular tachycardia in patients with structural heart disease and left ventricular ejection fraction over 30%. *Eur Heart J* [Internet] 2014; 35(22): 1479–85. <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehu040>