



# Az elektromos vihar ellátása: a katéteres abláció szerepe

Salló Zoltán, Szegedi Nándor, Merkely Béla, Gellér László

Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

Levelezési cím: Dr. Salló Zoltán, e-mail: sallo.zoltan@net.semmelweis-univ.hu

Az elektromos vihar (EV) incidenciája az implantálható kardioverter defibrillátorok (ICD-k) szélesebb indikációs körben történő használatával egyre növekszik. Az EV egyaránt kialakulhat iszkémiás és non-iszkémiás szívbetegségekben is, jelentősen emelve a rövid- és hosszú távú mortalitást. Életveszélyes állapot, amelynek kezelése összetett terápiát igényel, és kihívást jelenthet a tapasztalt kollégák számára is. Az antiaritmiás kezelésre refrakter esetekben a katéteres abláció (CA) jelenthet hatékony megoldást. Habár a rendelkezésre álló adatok nagy része kis betegszámú, nem randomizált vizsgálatokból származik, ezek alapján úgy tűnik, hogy a CA elvégzésével csökkenthető az aritmiák rekurrenciája, és javítható a túlélés. Célkitűzésünk a CA EV kezelésében betöltött szerepének vizsgálata az elérhető nemzetközi irodalmi adatok alapján, valamint az esetleges alternatív terápiás lehetőségek bemutatása.

**Kulcsszavak:** elektromos vihar, abláció, kamrai tachycardia, kamrafiibrilláció, szívtranszplantáció

## Treatment of the electrical storm: the role of catheter ablation

The incidence of electric storm (ES) is increasing with the use of implantable cardioverter defibrillators (ICDs) in a wider range of indications. ES can develop in both ischemic and non-ischemic heart diseases, significantly increasing short and long-term mortality. It is a life-threatening condition, and the treatment can be challenging even for experienced doctors as well. In the antiarrhythmic drug refractory cases, catheter ablation (CA) can be an effective solution. Although much of the available data comes from non-randomized small studies, it appears that CA can reduce the recurrences of arrhythmias and improve survival. The aim of our paper is to investigate the role of CA in the therapy in ES, and to demonstrate possible alternative therapeutic options.

**Keywords:** electric storm, ablation, ventricular tachycardia, ventricular fibrillation, heart transplantation

## Bevezetés

Az elektromos vihar (EV) életveszélyes klinikai állapot, igazi aritmológiai vészhelyzet, amelyet a szív elektromos instabilitása miatt kialakuló ismétlődő malignus kamrai ritmuszavar (VA) epizódok jellemeznek. Az évek során több, egymástól kissé eltérő EV-t leíró klinikai definíció is született, azonban elmondható, hogy napjainkban a legelfogadottabb definíció szerint a 24 óra alatt bekövetkező, legalább három különálló tartós kamrai tachycardia (VT) vagy kamrafiibrilláció (VF) epizódot, valamint a legalább 12 órán át tartó „incessant” (folyamatosan jelentkező) VT-t EV-nek nevezzük. Az

implantálható kardioverter defibrillátorral (ICD) élő betegeknél EV-ként definiálták a 24 óra alatt több mint 3 adekvát ICD-terápiát (ATP-t vagy sokkot) igénylő, egymástól legalább 5 perc eltéréssel jelentkező ritmuszavar-epizódokat (1).

## Epidemiológiai és etiológiai jellemzők

Az EV előfordulási gyakorisága fokozatosan nő, amely főként a malignus VA-k kialakulása miatt bekövetkező hirtelen szívhalál megelőzésének non-farmakológias terápiájaként egyre szélesebb indikációs körben hasz-

nált ICD-implantációval áll kapcsolatban. Az irodalomban rendelkezésünkre álló adatok alapján EV-t szekunder prevenció indikációval ICD-implantációval átesett betegek esetén 10-40%-ában regisztráltak, ugyanakkor a primer prevenció indikációval ICD-t kapott betegek esetében csupán 3,5-4%-ában fordult elő (2). Az EV előfordulási gyakorisága nagyban függ a betegpopuláció sajátosságaitól, a szívbetegség típusától és az alkalmazott gyógyszeres kezeléstől is. Habár az EV főként a szívelégtelenségben (iszkiás és non-iszkiás eredet) szenvedő pácienseket érinti, számos esetben előfordul a csökkent baltamra-funkciójú, strukturális szívbetegséggel élő betegekben, valamint strukturális szívbetegség nélkül is (pl. Brugada-szindróma, hosszú-QT-szindróma vagy katekolaminerg polimorf VT) (1). Bizonyos esetekben különböző precipitáló tényezők is szerepet játszhatnak a ritmuszavarok kialakításában, pl. akut iszkiás, gyógyszer-toxicitás, elektrolit-háztartási zavarok, tireotoxikózis, krónikus veseelégtelenség, különböző infekciók, valamint korai posztoperatív időszak (3) (1. táblázat). Az EV-t kiváltó akut eltérés csupán a betegek 10-25%-ban felderíthető, a betegek nagy részében a korábbi kardiális státuszhoz képest romlás nem észlelhető, a pontos kiváltó tényező legtöbb esetben ismeretlen (4-6).

Az EV során a ritmuszavarok többnyire (86-97%) monomorf VT-ként jelentkeznek, azonban előfordulhatnak csak VF-epizódok (1-21%) és kevert formák (VT és VF) is (3-14%). Az EV-t okozó polimorf VT-k incidenciája alacsonyabb, nagyjából 2-8%-ra tehető (4-10).

Az epidemiológiai vizsgálatok alapján az EV a morbiditást és a mortalitást is fokozza, a betegek felénél két éven belül halálhoz vezet, emiatt adekvát kezelése nélkülözhetetlen (11).

## Kezelés

Az EV kezeléséről rendelkezésünkre álló adatok leginkább kis betegszámú, retrospektív vizsgálatokból származnak. A klinikai vizsgálatokban az EV előfordulása nagymértékben függött az alkalmazott definíciótól, valamint a vizsgálati populáció jellemzőitől.

Az EV során jelentkező, hosszabb ideig fennálló ritmuszavarok, valamint a többszörös ICD-sokk a szív pumpafunkciójának romlásához, ezáltal kardiogén sokk kialakulásához, végül többszervi elégtelenséghez vezethetnek. Kezdeti lépésként szükséges a páciens állapotának, társbetegségeinek, a ritmuszavar hemodinamikai tolerálhatóságának felmérése. Mivel az EV életveszélyes állapot, mihamarabbi ellátásra kell törekednünk. Az ismétlődő ICD-sokk növelik a mortalitást, valamint rontják az életminőséget, emiatt, ha a beteg ICD-vel rendelkezik, annak sürgős lekérdése, valamint szükség szerű átprogramozása nélkülözhetetlen. A készülék programozásakor a lehetőségekhez mérten a ritmuszavarok ATP-vel való sikeres terminálására kell törekedni (12, 13). Különösen sürgető a helyzet abban az esetben, ha a beteg magas rizikó csoportba sorolható (pl. a szisztolés vérnyomás sinusritmusban, vazopresszor-támogatás mellett tartósan <80-90 Hgmm, vagy a beteg súlyos társbetegséggel – bal kamrai ejekciós frakció (BKEF) ≤30%, közepes vagy súlyos veseelégtelenség, súlyos COPD – rendelkezik). Az intenzív ellátást biztosító osztályon való elhelyezés mellett fontos a gyógyszeres terápia optimalizálása, valamint az akut iszkiás és a lehetséges egyéb reverzibilis okok kizárása. Amennyiben szükséges, gépi lélegeztetés, esetleges mechanikus keringéstámogatás (intra-aortikus ballon pumpa [IABP], bal kamrai keringéstámoga-

**1. TÁBLÁZAT.** Az elektromos vihar definiálása, előfordulása és prognózisa különböző szerzők által (3)

Szerző	Definíció	Incidencia	Prognózis
Kowey	≥2 hemodinamikailag releváns VT 24 h alatt	Összes páciens	↓
Credner	≥3 VT 24 h alatt	14/136 (10%)	∅
Nademanee	≥20 VT 24 h vagy ≥4 1 h alatt	Összes páciens	↓ (1 éves halálozási arány 95% AAD mellett és 33% β-blokkoló mellett)
Exner	≥3 VT 24 h alatt	90/457 (20%)	↓ (RR 2,4)
Greene	≥3 VT 24 h alatt	40/227 (18%)	∅
Bansch	≥3 VT 24 h alatt	30/106 (28%)	↓
Verma	≥ 2 sokkot igénylő VT 24 h alatt	208/2028 (10%)	↓
Wood	≥3 VT 24 h alatt	50/521 (24%)	Nem vizsgálták
Stuber	≥3 VT 2 hét alatt	51/214 (24%)	↓ (5 éves halálozási arány 33% vs. 13%)
Hohnloser	≥3 különálló VT 24 h alatt	148/633 (23%)	∅
Brigadeau	≥2 különálló VT 24 h alatt	123/307 (40%)	∅
Gatzoulis	≥3 VT 24 h alatt	32/169 (19%)	↓ (halálozási arány 53% vs. 14% 33±26 hónap alatt)
Sesselberg	≥3 VT 24 h alatt	169/719 (24%)	↓
Guerra	≥3 VT 24 h alatt	857/5912 (14%)	↓ (RR 2,15)

AAD = antiaritmiás gyógyszer; RR = relatív rizikó; ↓ = csökkent prognózis; ∅ = nincs hatással a prognózisra

2. TÁBLÁZAT. Az elektromos vihar kezelésének lehetőségei (19)
Intenzív osztályos ellátás
Eszközprogramozás
Reverzibilis eltérések korrigációja (pl. iszkémia, ionháztartási zavar, gyógyszerhatás)
Béta-blokkoló
Egyéb antiaritmiás terápia
Mechanikus keringéstámogatás
Neuraxiális moduláció (pl. torakális epiduralis anesztézia, kardiális szimpatikus denerváció, ggl. stellatum blokádnál, renális denerváció)
Katéteres abláció (bármikor, amennyiben kivitelezhető)
Szívtranszplantáció
Alternatív lehetőségek (pl. transzkoronáriás etanolos abláció, sebészi abláció, aneurysmectomia, sztereotaxiás besugárzás)

tó eszköz [LVAD], extrakorporális membrán oxigenátor [ECMO]) alkalmazandó.

### A katéteres abláció szerepe

Amennyiben EV esetén a ritmuszavarok a megkezdett antiaritmiás gyógyszeres (AAD) terápia, valamint a reverzibilis okok rendeződését követően is ismétlődnek, valamint ha az AAD-terápia hatásos, azonban a mellékhatásai nem tolerálhatók, a betegnél a rádiófrekvenciás katéteres abláció (CA) javasolt (14). Az Európai Kardiológus Társaság legújabb ajánlása alapján *urgens* CA javasolt hegesedéssel járó szívbetegségben *incessant* VT vagy EV esetén (I/B-ajánlás) (14). Napjainkban a CA az EV-ben jelentkező VA-k hatékony és definitív terápiája (11, 15–18), habár a non-iszkémiás szívbetegség esetén történő VT CA-nak hosszú távú sikeressége általában elmarad az iszkémiás esetek sikerességétől (2. táblázat).

Az aritmiaszubsztráttól függően – amely az alapbetegségtől függ – endokardiális és epikardiális abláció is lehetséges. Iszkémiás szívbetegségben az aritmiaszubsztrát – maga az iszkémiás heg – gyakrabban helyezkedik el endokardiálisan. Az elhalt és élő sejtek közti területek („határvonal”) típusos kiindulási helyei a reentry mechanizmusú VT-knek. Ezzel szemben a non-iszkémiás szívbetegség talaján kialakuló VA-k esetében az aritmiaszubsztrát gyakrabban érinti az epikardiális régiót is (2, 20). Ezen aritmia-körök, aritmiaszubsztrátok eliminálásához elengedhetetlenül szükséges az érintett terület precíz elektroanatómiai feltérképezése, amely manapság modern háromdimenziós térképező rendszerekkel történik. A VT térképezése történhet sinusritmusban, vagy amennyiben nem okoz hemodinamikai instabilitást, ritmuszavar alatt is, ún. aktivációs térképezéssel. Amennyiben rendelkezésre áll, perkután kamrai keringéstámogató eszköz is használható, mivel ezzel a VT-ritmuszavar alatt is biztonságosabban térképezhető (21). Az abláció előtti speciális algoritmusok segítségével elvégzett szív MR-viz-

sgát segítséget nyújthat az aritmiaszubsztrát még pontosabb lokalizációjában. A sok esetben a bal kamrában található heges területek retrográd transzaortikus behatolásból vagy transseptális úton érhetők el, míg az epikardiális abláció subxyphoideális behatolást igényel. A ritmuszavarok ablációja során több stratégia is alkalmazható: végezhető ún. „dechanneling” (az aritmia-örök különböző régióinak – entrance, isthmus és exit régió – pontos azonosítása után ezek ablációja), LAVA (lokális abnormális kamrai aktiváció) és késői potenciálelimináció, vagy endo- és/vagy epikardiális heghomogenizáció is. Az akut iszkémiás szívbetegségben az EV-t időnként kamrai extraszisztóliák indukálhatják, ebből kifolyólag az akut miokardiális infarktus után jelentkező EV esetében alternatív lehetőséget jelenthet magának a kiváltó extraszisztóliának az ablációja (22). Ugyanakkor úgy tűnik, hogy krónikus iszkémiás szívbetegség vagy egyéb cardiomyopathia esetén az EV kiváltásában szerepet játszanak ettől eltérő mechanizmusok is (23). Időnként a VT-t sinus tachycardia, supraventricularis tachycardia vagy pitvarfibrillációs epizód előzi meg, amelyek szerepet játszhatnak az ingervezetés lassulásában, a reentry mechanizmus és ezáltal a VT kialakulásában. A Torsade de pointes (TdP) típusú aritmiát általában egy VES által kiváltott pausa előzi meg (24).

Habár a VA-k CA-ja hosszú múltra tekint vissza, az adatok többsége esettanulmányokból vagy kis betegszámú retrospektív vizsgálatokból származik. A rádiófrekvenciás CA nemcsak az EV rövidtávú kezelésében sikeres (a betegek 80–90%-ban uralhatóvá vált a ritmuszavar), hanem hosszú távon is javítja az aritmia-mentes túlélést (3. táblázat) (1).

*Carbucicchio és munkatársai* közleménye alapján EV esetén a CA segítségével a sinusritmus hét napos kórházi obszerváció alatt stabilan tartható volt. Magának a klinikai ritmuszavarnak az eliminálása jelentősen csökkentette a kardiális eredetű halálozást. Amennyiben az abláció után VT egyáltalán nem volt indukálható (az abláció végén programozott kamrai extrastimulációval ritmuszavar nem volt kiváltható) hosszú távon a VT-rekurrencia is csökkent (17). Az EV esetében végzett CA mind az alacsony, mind a magas kockázatú páciensek esetében csökkentette a VT-rekurrenciát, valamint javította a túlélést (25). A VANISH-vizsgálatban a CA-val kezelt betegeknél az EV-rekurrenciáját illetően 34%-os relatív kockázatcsökkenést tapasztaltak az AAD-terápiával kezelt csoporttal szemben (26). Egy 471 EV miatt abláción átesett beteget magába foglaló metaanalízis során a klinikai ritmuszavar az ablációval betegek 91%-ban volt visszaszorítható, míg az összes indukálható VA akut eliminációja az esetek 72%-ában volt sikeres. Szövődmények 2%-ban, a beavatkozással összefüggő halálozást pedig kevesebb, mint 1%-ban fordult elő. A hosszú távú utánkövetés alatt (átlagos utánkövetési idő 61 hét) a betegek 94%-a volt EV-mentes, 72%-ban VA-t egyáltalán nem regisztráltak. A hosszú távú utánkövetés alatt a teljes mortalitás 17% volt, a legtöbb

**3. TÁBLÁZAT.** A katéteres abláció elektromos viharbeli sikerességét vizsgáló főbb klinikai közlemények (1)

Ref.	Betegek száma	BKEF	Epikardiális beavatkozás	Akut sikeresség	VT-rekurrencia	EV-rekurrencia	Haláleset	Utánkövetési idő (hónap)
Sra és mtsai	19	27±8	0%	87%	37%	–	0%	7±2
Silva és mtsai	14	31±13	20%	80%	13%	–	27%	12±17
Carbucicchio és mtsai	95	36±11	11%	89%	34%	8%	16%	Medián 22
Arya és mtsai	13	33±9	31%	100%	38%	–	31%	Medián 23
Pluta és mtsai	21	–	0%	81%	19%	0%	0%	3
Deneke és mtsai	31	28±15	9%	94%	25%	12%	9%	Medián 15
Kozeluhova és mtsai	50	29±11	0%	85%	52%	26%	29%	18±16
Kožluk és mtsai	24	27±7	7%	–	34%	12%	13%	28±16
Di Biase és mtsai	92	27±5	47%	100%	34%	0%	2%	25±10
Izquierdo és mtsai	23	34±10	0%	56%	–	35%	30%	Medián 18
Jin és mtsai	40	21±7	0%	80%	53%	–	25%	17±17
Kumar és mtsai	287	27±10 (ICM) és 33±16 (NICM)	3,8% (ICM) és 24% (NICM)	60% (ICM) és 50% (NICM)	49% (ICM) és 64% (NICM)	17% (ICM) és 27% (NICM)	25% (ICM) és 28% (NICM)	Medián 42
Muser és mtsai	267	29±13	22%	73%	33%	5%	29%	Medián 45

(ICM = iszkémiás cardiomyopathia, NICM = non-iszkémiás cardiomyopathia)

haláleset hátterében szívelégtelenség progresszió állt (62%) (27). Hasonló eredményekről számoltak be egy másik 267 gyógyszerrefrakter EV miatt CA-n átesett beteget magába foglaló vizsgálatban, amely során a rekurrenciát észlelő betegek esetében a VT előfordulási gyakorisága szignifikánsan csökkent (28). Egy másik, 1940 VT-abláción átesett beteget vizsgáló tanulmányban 677 páciensnél jelentkezett EV. Ezen páciensek esetében az elektrofiziológiai vizsgálat során több VT is indukálható volt, és az abláció is hosszabb időt vett igénybe. EV esetén a hospitalizáció közbeni halálozás is (6,2 vs. 1,4%), valamint a 12 hónapos utánkövetés során az ICD által detektált VT-rekurrencia is magasabb volt az EfV-ben nem szenvedő páciensekhez képest (32 vs. 23%) (29).

Habár a CA-mortalitás csökkentő hatása EV-ban vagy incessant VT-ben szenvedő betegek esetén nem teljesen tisztázott, a CA az önálló gyógyszeres terápiával szemben szignifikánsan csökkentette a ritmuszavarok előfordulási gyakoriságát, javítva ezáltal a túlélést is (26, 28, 30–32). Egy korábbi vizsgálatban 52 EV-vel jelentkező páciens adatait hasonlították össze. 29 beteg esetében elsődleges kezelésként csak farmakológiai terápiát, a többi beteg esetében pedig csak CA-t alkalmaztak. Az EV visszatérési valószínűsége szignifikánsan csökkent a CA-n átesett betegek esetében, habár a túlélésben nem mutatkozott jelentős különbség az utánkövetési idő alatt (a medián utánkövetési idő 28 hónap volt) (33).

Napjainkban az invazív elektrofiziológia rohamos fejlődésével már rendkívül modern eszközök állnak rendelkezésünkre.

Mindazonáltal az EV miatt abláción átesett betegek esetében a hosszú távú prognózis még mindig rosszabb (a VT-rekurrencia és a mortalitás is magasabb), mint a nem EV (egyéb malignus kamrai ritmuszavar epizód) miatt CA-n átesett betegek esetében.

**Alternatív lehetőségek**

Azokban az esetekben, amelyekben a CA nem jár sikerrel vagy valamilyen tényező miatt nehézségekbe ütközik (pl. mechanikus műbillentyű esetén), alternatív, definitív vagy áthidaló megoldást jelentő lehetőségek is rendelkezésünkre állnak. Amennyiben a CA nem járt sikerrel, megfelelő tapasztalattal rendelkező operátor esetén hatékony megoldást jelenthet a sebészi cryoabláció (34), továbbá bal kamrai aneurizma területéről kiinduló ritmuszavar esetén a sebészi aneurysmectomia. További alternatíva még a transzkoronáriás etanolos abláció, amely során szelektív koronarográfia segítségével azonosítják a VT-t okozó szívmizomterületet ellátó koszorúérágot, majd etanol infundálásával roncsolják azt (35). Megfontolható még a renális denerváció (36), a kardiális szimpatikus denerváció (37), a torakális epidurális anesztézia, a ganglion stellátumnak a blokádjára (38), valamint a jelenleg még gyerekcipőben járó sztereotaxiás besugárzás (39).

A nemzetközi irodalomban kevés adat áll rendelkezésre az EV miatt végzett szívtranszplantációval kapcsolatban. Napjainkban a szívtranszplantáció egyre több helyen elérhető. Az eddigi adatok alapján, amennyiben az EV továbbra is visszatér gyógyszeres terápia és a CA ellenére, és amennyiben nem áll fenn kontraindikáció.

ció, a szívtranszplantáció mindenképpen megfontolandó, hiszen definitív megoldást jelenthet a beteg számára (19, 40).

## Megbeszélés

Habár a nemzetközi irodalomban kissé eltérő definíciók használatosak az EV jellemzésére, mindenképpen egy életet veszélyeztető, azonnali ellátást igénylő kórképről van szó. Az ICD-implantációk számának szaporodásával, valamint a szívelégtelenség-terápia fejlődésével az EV incidenciája is növekedett. Az EV kezelése összetett feladat, magába foglalja az ICD optimális programozását, a lehetséges kiváltó okok megszüntetését, valamint a gyógyszeres és eszközös terápiás megoldásokat is. A gyógyszerrefrakter esetekben a rádiófrekvenciás CA választandó, amely csökkenti a VA-k előfordulási gyakoriságát rövid- és hosszú távon egyaránt, javítva ezzel a morbiditást és a mortalitást. Amennyiben a CA sikertelen, alternatív terápiás lehetőségek is rendelkezésre állnak, azonban, ha a páciensnek jó túlélési esélye van, nem szabad megfeledkeznünk a sürgető szívtranszplantáció mint definitív terápia lehetőségéről sem.

### Irodalom

- Muser D, Santangeli P, Liang JJ. Management of ventricular tachycardia storm in patients with structural heart disease. *World J Cardiol* 2017; 9(6): 521–30. doi: 10.4330/wjc.v9.i6.521
- Conti S, Pala S, Biagioli V, et al. Electrical storm: A clinical and electrophysiological overview. *World J Cardiol* 2015; 7(9): 555–61. doi: 10.4330/wjc.v7.i9.555
- Sagone A. Electrical Storm: Incidence, Prognosis and Therapy. *J Atr Fibrillation* 2015; 8(4): 1150. doi: 10.4022/jafb.1150
- Hohnloser SH, Al-Khalidi HR, Pratt CM, et al. Electrical storm in patients with an implantable defibrillator: incidence, features, and preventive therapy: insights from a randomized trial. *Eur Heart J* 2006; 27(24): 3027–32. doi: 10.1093/eurheartj/ehl276
- Bansch D, Bocker D, Brunn J, et al. Clusters of ventricular tachycardia's signify impaired survival in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy and implantable cardioverter defibrillators. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36(2): 566–73. doi: 10.1016/S0735-1097(00)00726-9
- Credner SC, Klinghenben T, Mauss O, et al. Electrical storm in patients with transvenous implantable cardioverter-defibrillators: incidence, management and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol* 1998; 32(7): 1909–15. doi: 10.1016/S0735-1097(98)00495-1
- Greene M, Newman D, Geist M, et al. Is electrical storm in ICD patients the sign of a dying heart? Outcome of patients with clusters of ventricular tachyarrhythmias. *Europace* 2000; 2(3): 263–9. doi: 10.1053/eupc.2000.0104
- Exner DV, Pinski SL0, Wyse DG, et al. Electrical storm presages nonsudden death: the antiarrhythmics versus implantable defibrillators (AVID) trial. *Circulation* 2001; 103(16): 2066–71. doi: 10.1161/01.CIR.103.16.2066
- Sesselberg HW, Moss AJ, McNitt S, et al. Ventricular arrhythmia storms in postinfarction patients with implantable defibrillators for primary prevention indications: a MADIT-II substudy. *Heart Rhythm* 2007; 4(11): 1395–402. doi: 10.1016/j.hrthm.2007.07.013
- Brigadeau F, Kouakam C, Klug D, et al. Clinical predictors and prognostic significance of electrical storm in patients with implantable cardioverter defibrillators. *Eur Heart J* 2006; 27(6): 700–7. doi: 10.1093/eurheartj/ehi726
- Deneke T, Shin DI, Lawo T, et al. Catheter ablation of electrical storm in a collaborative hospital network. *Am J Cardiol* 2011; 108(2): 233–9. doi: 10.1016/j.amjcard.2011.03.030
- Moss AJ, Schuger C, Beck CA, et al. Reduction in inappropriate therapy and mortality through ICD programming. *N Engl J Med* 2012; 367(24): 2275–83. doi: 10.1056/NEJMoa1211107
- Poole JE, Johnson GW, Hellkamp AS, et al. Prognostic importance of defibrillator shocks in patients with heart failure. *N Engl J Med* 2008; 359(10): 1009–17. doi: 10.1056/NEJMoa071098
- Priori SG, Blomstrom-Lundqvist C. 2015 European Society of Cardiology Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death summarized by co-chairs. *Eur Heart J* 2015; 36(41): 2757–9. doi: 10.1093/eurheartj/ehv445
- Al-Khatib SM, Stevenson WG, Ackerman MJ, et al. 2017 AHA/ACC/HRS Guideline for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol* 2017. doi: 10.1161/CIR.0000000000000549
- Gorenk B, Blomstrom Lundqvist C, et al. Cardiac arrhythmias in acute coronary syndromes: position paper from the joint EHRA, ACCA, and EAPCI task force. *EuroIntervention* 2015; 10(9): 1095–108. doi: 10.4244/EIJY14M08\_19
- Carbucicchio C, Santamaria M, Trevisi N, et al. Catheter ablation for the treatment of electrical storm in patients with implantable cardioverter-defibrillators: short- and long-term outcomes in a prospective single-center study. *Circulation* 2008; 117(4): 462–9. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.686534
- Tan VH, Yap J, Hsu LF, Liew R. Catheter ablation of ventricular fibrillation triggers and electrical storm. *Europace* 2012; 14(12): 1687–95. doi: 10.1093/europace/eus050
- Pedersen CT, Kay GN, Kalman J, et al. EHRA/HRS/APHS expert consensus on ventricular arrhythmias. *Heart Rhythm* 2014; 11(10): e166–96. doi: 10.1093/europace/euu194
- Yamada T, Kay GN. Optimal ablation strategies for different types of ventricular tachycardias. *Nat Rev Cardiol* 2012; 9(9): 512–25. doi: 10.1038/nrcardio.2012.74
- Bunch TJ, Mahapatra S, Madhu Reddy Y, Lakkireddy D. The role of percutaneous left ventricular assist devices during ventricular tachycardia ablation. *Europace* 2012;14(Suppl 2): ii26–ii32. doi: 10.1093/europace/eus210
- Bansch D, Oyang F, Antz M, et al. Successful catheter ablation of electrical storm after myocardial infarction. *Circulation* 2003; 108(24): 3011–6. doi: 10.1161/01.CIR.0000103701.30662.5C
- Chan KH, Sy RW. Catheter Ablation of Recurrent Ventricular Fibrillation: A Literature Review and Case Examples. *Heart Lung Circ* 2016; 25(8): 784–90. doi: 10.1016/j.hlc.2016.02.008
- Ulus T, Kudaiberdieva G, Gorenk B. The onset mechanisms of ventricular tachycardia. *Int J Cardiol* 2013; 167(3): 619–23. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.09.034
- Della Bella P, Baratto F, Tsiachris D, et al. Management of ventricular tachycardia in the setting of a dedicated unit for the treatment of complex ventricular arrhythmias: long-term outcome after ablation. *Circulation* 2013; 127(13): 1359–68. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000872
- Sapp JL, Wells GA, Parkash R, et al. Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalation of Antiarrhythmic Drugs. *N Engl J Med* 2016; 375(2): 111–21. doi: 10.1056/NEJMoa1513614
- Nayyar S, Ganesan AN, Brooks AG, et al. Venturing into ventricular arrhythmia storm: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 2013; 34(8): 560–71. doi: 10.1093/eurheartj/ehs453

28. Muser D, Liang JJ, Pathak RK, et al. Long-Term Outcomes of Catheter Ablation of Electrical Storm in Nonischemic Dilated Cardiomyopathy Compared With Ischemic Cardiomyopathy. *JACC Clin Electrophysiol* 2017; 3(7): 767–78. doi: 10.1016/j.jacep.2017.01.020
29. Vergara P, Tung R, Vaseghi M, et al. Successful ventricular tachycardia ablation in patients with electrical storm reduces recurrences and improves survival. *Heart Rhythm* 2018; 15(1): 48–55. doi: 10.1016/j.hrthm.2017.08.022
30. Liang JJ, Muser D, Santangeli P. Ventricular Tachycardia Ablation Clinical Trials. *Card Electrophysiol Clin* 2017; 9(1): 153–65.
31. Santangeli P, Muser D, Maeda S, et al. Comparative effectiveness of antiarrhythmic drugs and catheter ablation for the prevention of recurrent ventricular tachycardia in patients with implantable cardioverter-defibrillators: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Heart Rhythm* 2016; 13(7): 1552–9. doi: 10.1016/j.hrthm.2016.03.004
32. 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* 2015; 12(9): 1997–2007. doi: 10.1016/j.hrthm.2015.05.036
33. Izquierdo M, Ruiz-Granell R, Ferrero A, C, et al. Ablation or conservative management of electrical storm due to monomorphic ventricular tachycardia: differences in outcome. *Europace* 2012; 14(12): 1734–9. doi: 10.1093/europace/eus186
34. Liang JJ, Betensky BP, Muser D, et al. Long-term outcome of surgical cryoablation for refractory ventricular tachycardia in patients with non-ischemic cardiomyopathy. *Europace* 2018; 20(3): e30–e41. doi: 10.1093/europace/eux029
35. Kumar S, Barbhaiya CR, Sobieszczyk P, K, et al. Role of alternative interventional procedures when endo- and epicardial catheter ablation attempts for ventricular arrhythmias fail. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2015; 8(3): 606–15. DOI: 10.1161/CIRCEP.114.002522
36. Remo BF, Preminger M, Bradfield J, et al. Safety and efficacy of renal denervation as a novel treatment of ventricular tachycardia storm in patients with cardiomyopathy. *Heart Rhythm* 2014; 11(4): 541–6. doi: 10.1016/j.hrthm.2013.12.038
37. Vaseghi M, Barwad P, Malavassi Corrales FJ, et al. Cardiac Sympathetic Denervation for Refractory Ventricular Arrhythmias. *J Am Coll Cardiol* 2017; 69(25): 3070–80. doi: 10.1016/j.jacc.2017.04.035
38. Meng L, Tseng CH, Shivkumar K, Ajjola O. Efficacy of Stellate Ganglion Blockade in Managing Electrical Storm: A Systematic Review. *JACC Clin Electrophysiol* 2017; 3(9): 942–9. doi: 10.1016/j.jacep.2017.06.006
39. Cuculich PS, Robinson CG. Noninvasive Ablation of Ventricular Tachycardia. *N Engl J Med* 2018; 378(17): 1651–2. doi: 10.1056/NEJMc1802625
40. Mancini D, Lietz K. Selection of cardiac transplantation candidates in 2010. *Circulation* 2010; 122(2): 173–8. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.858076