

Honnan tudja az ICD, hogy milyen ritmuszavara van a betegnek?

Tachycardia-diszkrimináció a modern transzvéna kardioverter-defibrillátorokban

Gausz Flóra Diána¹, Bári Zsolt², Vámos Máté¹

¹Szegedi Tudományegyetem, Belgyógyászati Klinika, Kardiológiai Centrum, Elektrofiziológiai Részleg, Szeged

²Gottsegen György Országos Kardiovaszkuláris Intézet, Felnőtt Kardiológiai Osztály, Budapest



Szerzői video-összefoglaló

Levelezési cím:

Dr. med. habil. Vámos Máté, PhD, Szegedi Tudományegyetem, Belgyógyászati Klinika, Kardiológiai Centrum, Elektrofiziológiai Részleg, 6725 Szeged, Semmelweis u. 8. E-mail: vamos.mate@gmail.com

A modern beültethető kardioverter-defibrillátorok (ICD-k) különböző diszkriminátor algoritmusokat használnak a supraventricularis aritmiák és a malignus kamrai ritmuszavarok elkülönítésére, amelyeknek köszönhetően számottevően csökkenthető az inadekvát ICD-terápiák gyakorisága. A diszkriminátor algoritmusok két fő csoportját a csak kamrai jelek alapján elemzést végző, együregi diszkriminátorok, illetve a kamrai és a pitvari elektromos aktivitást is figyelembe vevő, kétüregi algoritmusok alkotják. Bár a különböző ICD-k alapvetően hasonló szempontok alapján különböztetik el a ritmuszavarokat, mégis a készülékek eltérő, gyártóspecifikus programozási lehetőségeitől függően számos diszkriminációs konfiguráció válik programozhatóvá. Jelen közlemény célja az alapvető együregi és a kétüregi diszkriminációs algoritmusok ismertetése, kiemelve a jelenleg Magyarországon legnagyobb számban forgalomban lévő eszközök közötti fő különbségeket.

Kulcsszavak: ICD, beültethető kardioverter-defibrillátor, tachyarrhythmia-diszkrimináció, diszkriminátor algoritmus, ICD-programozás

How does the ICD recognize the type of arrhythmia? Tachyarrhythmia discrimination in modern transvenous cardioverter defibrillators

Modern cardioverter defibrillators apply different discrimination algorithms to differentiate between supraventricular arrhythmias and malignant ventricular arrhythmias, leading to a decrease in the rate of inappropriate ICD therapies. The two main groups of discrimination algorithms are single-chamber and dual-chamber configurations. Single-chamber discriminators analyze only ventricular signals, while dual-chamber algorithms evaluate both ventricular and atrial activity. While different ICD devices distinguish between arrhythmias based on fundamentally similar criteria, the several various, manufacturer-based programming options allow for several configurable discrimination settings. The aim of this review article is to describe the essential single- and dual-chamber discrimination algorithms, emphasizing the main differences between the most commonly used devices nowadays in Hungary.

Keywords: ICD, implantable cardioverter defibrillator, tachyarrhythmia discrimination, discriminator algorithm, ICD programming

Bevezetés

Az implantálható kardioverter-defibrillátorok (ICD-k) fő célja a malignus kamrai ritmuszavarok adekvát felismerése, majd a detekció után a megfelelő terápiák leadása révén ezen ritmuszavarok megszüntetése (1). Megjegyzendő azonban, hogy a tévesen detektált ritmuszavarok inadekvát ICD-terápia leadását eredményezhetik. Az inadekvát terápieleadás leggyakoribb okait a supraventricularis eredetű, magas frekvenciájú ritmuszavarok félredetektálása, valamint egyéb, kardiális és nem kardiális jelek „oversensing”-je (pl. T-hullám-oversensing, elektromágneses interferencia, elektródasérülések kapcsán fellépő elektromos zaj érzékelése) képezik (2–4). Míg egy évtizeddel korábban az inadekvát terápiák gyakorisága akár évente a betegek 16-18%-át is érintette, napjainkban ez az arány kevesebb mint 6%, amelyhez elengedhetetlen a pontos és megbízható tachyarrhythmia-diszkrimináció, azaz a valódi kamrai ritmuszavarok elkülönítése a supraventricularis aritmiáktól (3, 5, 6). A tachyarrhythmia-elemzést a modern beültethető defibrillátorokban különböző diszkriminátor algoritmusok végzik. Ezek az algoritmusok a beültetett elektródák számától függően – a pitvari és a kamrai aktivitást is figyelembe véve – analizálják a ritmuszavarok különböző paramétereit (morfológia, frekvencia, stabilitás, ritmuszavarkezdés, AV [atrioventricularis] szinkronitás stb.), és ezáltal képesek a supraventricularis és kamrai eredet elkülönítésére (3, 7–9).

Hogyan jut el az ICD a diszkriminátorok aktiválásához?

Az ICD készülékekben a detekciót a ritmuszavarok frekvenciája aktiválja. Ahhoz, hogy egy adott tachyarrhythmia az ICD látóterébe kerüljön, át kell lépnie az előre beállított frekvenciaküszöböt, amely után a ritmuszavar további elemzésen megy át (7, 8, 10–13). Ha az elemzés során az adott epizód kamrai tachycardiaként lesz azonosítva, az ICD terápiát ad le.

Fontos hangsúlyozni, hogy a rövid, néhány ütésből álló, magas frekvenciájú epizódok nem elegendőek a detekció és a terápia aktiválásához. A detekciós küszöböt átlépve az egymást követő R-R intervallumokat számlálja a készülék (detection counter) (8, 10–13). Ha egy adott időintervallum alatt az R-R távolságok egy bizonyos hányada a küszöbértéknél rövidebb, az ICD detektálja a ritmuszavart. Ezen küszöbértékeket a kamrai tachycardia-zónák programozása során adjuk meg. Az 1. ábrán összefoglalt, standard ICD-terápiás zónák frekvenciahatárai bár individuálisan programozhatóak, azok leggyakrabban alkalmazott, evidenciaalapú tartományait közös amerikai–európai nemzetközi ajánlás definiálja (7–9). Megjegyzendő, hogy a detekció során az R-R intervallumok számlálása is 2 különböző mechanizmussal történhet. Az alacsony (VT1) és magas frekvenciájú

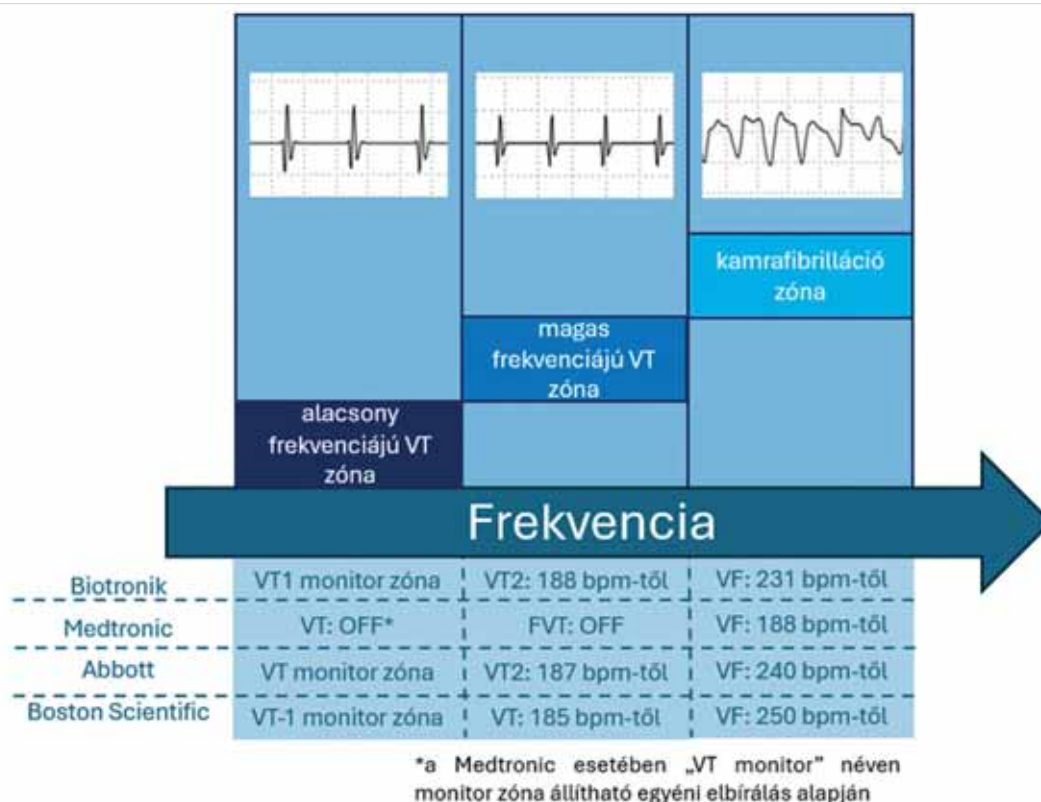
(VT2) kamrai tachycardiazónákban jellemzően konszekutív/folyamatos számlálók működnek, azaz a detekcióhoz az egymást követő R-R távolságoknak szükséges egy adott számot elérniük, míg a detekciós küszöbnél hosszabb R-R intervallumok nullázzák a számlálót. Ezzel szemben a kamrafiibrilláció- (VF-) zónában általában valószínűségi/hányados alapú számlálót állítanak be, amely esetében a VF-zóna frekvenciaküszöbét átlépve az R-R intervallumok egy adott hányadának kell a megadott frekvenciatartományba esnie a detekciós kritériumok teljesüléséhez (3, 10, 14).

Abban az esetben, ha csak VF-zónát programozunk, a VF-zóna detekciós küszöbénél lassabb (azaz hosszabb ciklushosszú) eseményeket az ICD figyelmen kívül hagyja. Ezzel szemben a VF-zóna frekvenciahatárát átlépve az adott epizódot analizálja a készülék, és szükséges esetben antitachycardia-terápiát ad le. A VF-zóna sajátja, hogy a legtöbb ICD esetében a detekciós küszöb átlépése és a megfelelő counterszám elérése terápieleadást eredményez további tachyarrhythmia-diszkrimináció nélkül, bár egyes gyártóknál (Medtronic, Minneapolis, USA), ebben a tartományban is beállíthatóak diszkriminátorok (3, 7, 10–13).

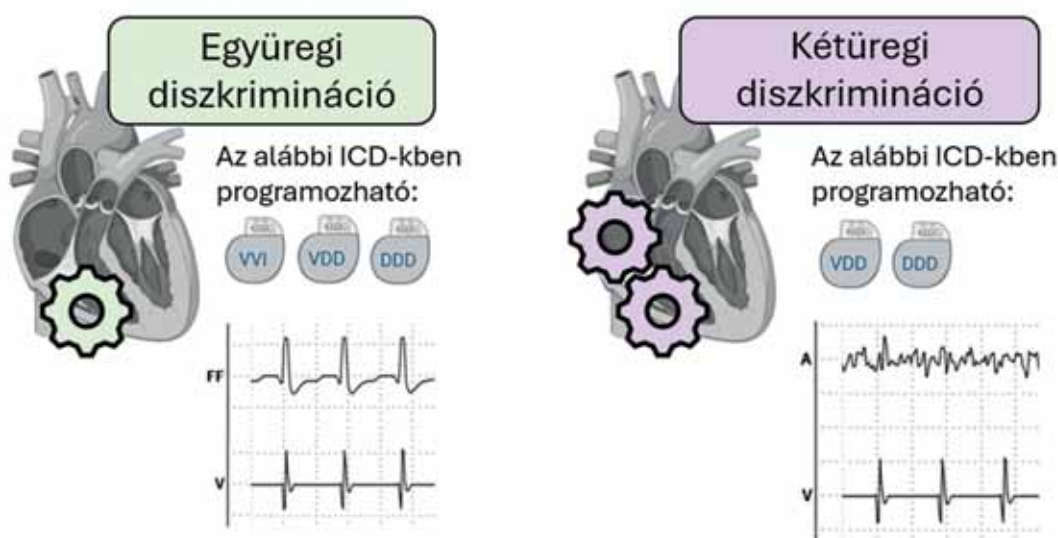
A legtöbb esetben azonban a VF-zóna mellett VT1 és/vagy VT2 zóna is programozásra kerül, amelyek közül a VT1 zóna fedi le az alacsonyabb frekvenciájú kamrai ritmuszavarokat, míg a VT2 zónába a VT2 detekciós küszöbét átlépő, de a VF-zóna határát el nem érő, gyors ritmuszavarok esnek (1. ábra). Ezen két zónában minden gyártó esetében van lehetőség tachycardia-diszkriminációs algoritmusok alkalmazására. Kiemelendő, hogy ezen zónák monitorzónaként is programozhatóak: ilyenkor az adott ritmuszavar-epizódot analizálják és rögzítik, de terápieleadást nem fog eredményezni. Megjegyzendő továbbá, hogy az egyes VT-zónák elnevezése gyártónként eltérő (1. ábra) (3, 7–10).

Tachycardia-diszkrimináció

A tachycardia-diszkriminátorokat mechanizmusuk alapján két fő csoportba soroljuk. Együregi diszkrimináció esetében az adott ritmuszavar elkülönítése csupán kamrai jelek alapján történik, míg a kétüregi diszkriminációnál a pitvari és a kamrai aktivitást is elemzi a készülék, és ezek együttes analízise, illetve egymáshoz viszonyítása (pl. AV asszociáció/disszociáció) alapján kerül az adott aritmia supraventricularis (SVT) vagy kamrai tachycardiaként (VT) besorolásra (2. ábra) (3, 7, 8, 15). Bár a hagyományos, egyelektródás készülékekben (VVI ICD) értelemszerűen csak az együregi diszkriminátorok alkalmazhatóak, a kételektródás eszközöknél (DDD ICD), illetve VDD ICD-knél mind az együregi, mind a kétüregi diszkriminátor algoritmusok programozása lehetővé válik (3, 8, 14, 16). Ez utóbbi készülékek különlegessége, hogy bár egyetlen, a jobb kamrá-



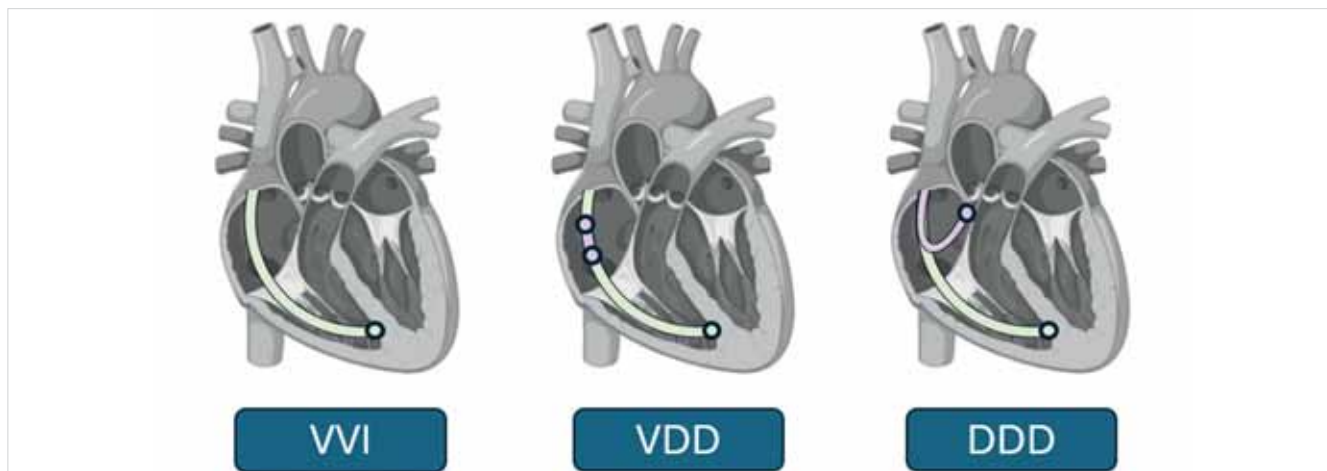
1. ÁBRA. Szívfrekvencia-függő aritmiadetekció – standard programozás primer prevenció esetén, a 2019-es HRS/EHRA/APHRS/LAHRS nemzetközi szakértői konszenzus alapján (9)
Rövidítések: VT: kamrai tachycardia; VF: kamrafibrilláció



2. ÁBRA. Egy- és kétüregi diszkriminátor konfigurációk, illetve ezek programozási lehetőségei a különböző ICD-típusokban
Rövidítések: A: a pitvari intrakardiális elektrogram (EGM) csatornája; FF: a far-field EGM csatornája; V: kamrai intrakardiális EGM csatornája; VVI ICD: hagyományos együregi ICD; VDD ICD: együregi ICD lebegő pitvari dipólussal; DDD ICD: kétüregi ICD

ban végződő elektródával rendelkeznek, az elektróda pitvari szakaszán egy lebegő dipólus található, amely képes a pitvari jelek észlelésére is. A DDD és VDD készülékekben annak mérlegelése is lehetséges, hogy egy adott beteg kapcsán melyik algoritmus választása

járhat nagyobb előnnyel (3. ábra) (16). Megemlítendő továbbá, hogy a transzvenás reszinkronizációs eszközknél (CRT-D) a tachycardia-diszkriminációban a jobb kamrai sokkelektroda (és kétüregi diszkriminációnál emellett a pitvari elektróda) vesz részt, abban az



3. ÁBRA. Hagyományos együregi (VVI), lebegő pitvari dipólussal rendelkező (VDD) és kétüregi (DDD) ICD készülékek sematikus ábrája

esetben is, ha lehetőség van érzékelésre a bal kamrai elektródán (3, 8, 10, 11).

Együregi diszkriminátorok

Az együregi diszkriminátorok működése kizárólag a kamrai jeleken alapszik. Az alapvető együregi diszkriminátorok közé az alábbiak tartoznak, amelyek egyenként vagy egyszerre többet aktiválva is programozhatók a ritmuszavarok identifikálására (3, 7, 8, 10):

- stabilitás,
- hirtelen kezdet (onset),
- morfológia.

Stabilitás alatt az R-R intervallumok állandóságát értjük. Bár a különböző gyártók eszközei eltérő számlálók/algorithmusokkal elemzik az adott epizód stabilitását, összességében elmondhatjuk, hogy a cél annak megítélése, hogy egy adott időtartamban eső R-R intervallumok mennyire identikusak. Az azonos/közel hasonló R-R intervallumok reguláris ritmuszavarra utalnak, míg a változatos R-R távolságok irreguláris aritmiát feltételeznek. Előbbi utalhat monomorf kamrai tachycardiára, míg az utóbbi inkább pitvarfibrilláció lehetőségét veti fel. Bár a stabilitási diszkriminátor előnye, hogy hatékony lehet a pitvarfibrilláció és más magas frekvenciájú, irreguláris ritmuszavarok kiszűrésében (pl. változó átvezetésű pitvari flutter), a reguláris, supraventricularis eredetű tachyarrhythmia (pl. PSVT [paroxysmalis supraventricularis tachycardia], fix átvezetéssel járó pitvari flutter, sinus-tachycardia) félrevezethetik (7, 10–13).

A hirtelenkezdet- (onset) diszkriminátor az adott tachycardia-epizód kezdetét elemzi. Míg a sinus-tachycardiára graduális gyorsulás jellemző, addig a kamrai tachycardiák általában hirtelen, magas frekvenciával kezdődnek. Ennek a diszkriminátornak viszont a PSVT-epizódok jelentik a legfőbb korlátját, hiszen ezek a VT-khez hasonlóan, szintén hirtelen frekvenciaváltozással, on-off jelleggel indulnak és szűnnek meg (7, 10–13).

Mostanra azonban szinte minden modern kardioverter-defibrillátor rendelkezik morfológiaalapú, együregi diszkriminációs algoritmusmal is. Ezen diszkriminációs algoritmus az adott VT-zónába eső esemény morfológiáját hasonlítja össze egy, a tachyarrhythmia-mentes időszakban felvett „mintamorfológiával”. Ha az adott epizód alatt észlelt morfológia és a minta identikus (vagy egy előre programozott eltérési tolerancia %-át nem lépi túl), akkor az levezetett supraventricularis eredetű ritmuszavar mellett szól; a mintától jelentősen eltérő morfológiák viszont kamrai eredetre utalnak (2, 3, 7, 8, 10–13). Bár ezt az együregi diszkriminátor típust tartjuk jelenleg a legmegbízhatóbbnak, ritka esetekben a morfológiai diszkriminátor is megtéveszthető (9, 17). Tipikus példa erre a frekvenciafüggő szárblokk, amikor a felvett nyugalmi minta keskeny QRS-ű, de a VT-zónát elérő, gyorsabb epizódok szárblokkos morfológiával járnak (7, 8). Megjegyzendő, hogy ezekben az esetekben az orvos által, a felszíni EKG elemzésével végzett differenciáldiagnosztika is komoly kihívást jelenthet, amelyhez segítséget nyújthatnak a különböző széles QRS-ű differenciáldiagnosztikai algoritmusok (pl. Mayo Clinic VT score, Vereckei-algoritmus, Brugada-algoritmus, Jastrzebski VT score) (18–21).

Együregi diszkriminátorok – különbségek a gyártók esetében

Kiemelendő, hogy gyártótól és programozástól függően az együregi diszkriminátorok is különböző konfigurációkban működhetnek (4. ábra). Ahogy a 4. ábra is mutatja, egyes együregi diszkriminátorokat önállóan is beállíthatnak (pl. tisztán morfológiaalapú diszkrimináció Medtronic [Minneapolis, USA] vagy Biotronik [Berlin, Németország] eszközöknél), de a különböző algoritmusokat kombinálni is lehet (pl. morfológiai diszkriminátor programozása stabilitással és onsettel együtt) (3, 7, 8, 10, 11).

Míg a Medtronic és a Biotronik eszközök esetében a

lépő, rövid R-R intervallumok mellett számlálja az extrákat követő, a VT-detekció küszöbénél hosszabb R-R intervallumokat is. Ez az algoritmus addig tartja vissza a terápiát, amíg a tachyarrhythmias intervallumok száma meg nem haladja a sinusintervallumok számát, így meggátolva a bigeminiára történő inadekvát terápialeadást (23).

Kétüregi diszkriminátorok

Az együregi diszkriminátorokkal szemben az 5. ábrán összefoglalt kétüregi diszkriminátorok a pitvari jeleket is figyelembe veszik, és azokat összevetve a kamrai jelekkel képesek a kamrai eredetű és supraventricularis ritmuszavarok megbízható elkülönítésére. Bár a kétüregi diszkriminációban a stabilitás és az onset is általában megjelenik, ezekben az algoritmusokban ezek kiterjednek a kamrai érzékelés mellett a pitvari jelekre is (3, 7, 8, 15). Ezáltal egymástól függetlenül vizsgálható a pitvari, valamint a kamrai jel regularitása, amely nagy előnnyel járhat pitvari és kamrai aritmia együttes fennállásakor (pl. pitvarfibrilláció mellett fellépő monomorf kamrai tachycardia, amely esetében a pitvari ritmus irreguláris, míg a kamrai ritmus reguláris) (7, 8, 10). A legtöbb gyártó esetében a morfológiai elemzés is aktiválható a kétüregi diszkrimináció során, kivéve a Biotronik ICD-eket, amelyek esetében a kétüregi (SMART) algoritmus nem alkalmaz morfológiai diszkriminátort (7, 8, 10–13, 22).

Az együregi diszkriminációból ismert algoritmusok mellett a kétüregi diszkrimináció során számos egyéb paramétert is elemeznek. A pitvari és a kamrai jelek párhuzamos detekciója révén lehetővé válik a pitvari és a kamrai frekvencia összehasonlítása, illetve információ gyűjthető az AV szinkronitással kapcsolatban is (7, 8, 10, 12). A kétüregi diszkrimináció a legtöbb gyártó esetében a pitvari és a kamrai frekvencia összehasonlításával kezdődik. A

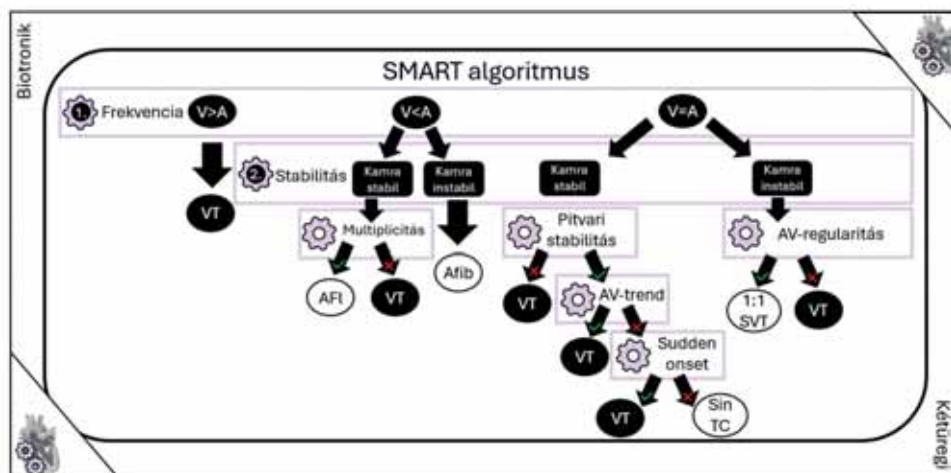
pitvarit meghaladó kamrafrekvencia egyértelműen kamrai tachycardia mellett szól, míg minden más esetben (magasabb pitvari frekvencia, 1:1 arányú pitvari és kamrai aktivitás) további analízis történik (7, 10, 12, 22). Az AV szinkronitás felmérésére a különböző gyártók eltérő technikákat alkalmaznak, de összességében elmondható, hogy a cél az egymást követő AV intervallumok különböző módszerekkel történő elemzése révén az AV disszociáció felismerése. Az AV disszociáció meglete kamrai tachycardiára utal, míg az AV asszociáció SVT lehetőségét veti fel. Hangsúlyozandó, hogy a retrográd VA átvezetéssel járó kamrai tachycardiák megtéveszthetik ezen algoritmusokat (7, 8, 10–12).

Kétüregi diszkriminátorok – különbségek a gyártóknál

SMART algoritmus (Biotronik)

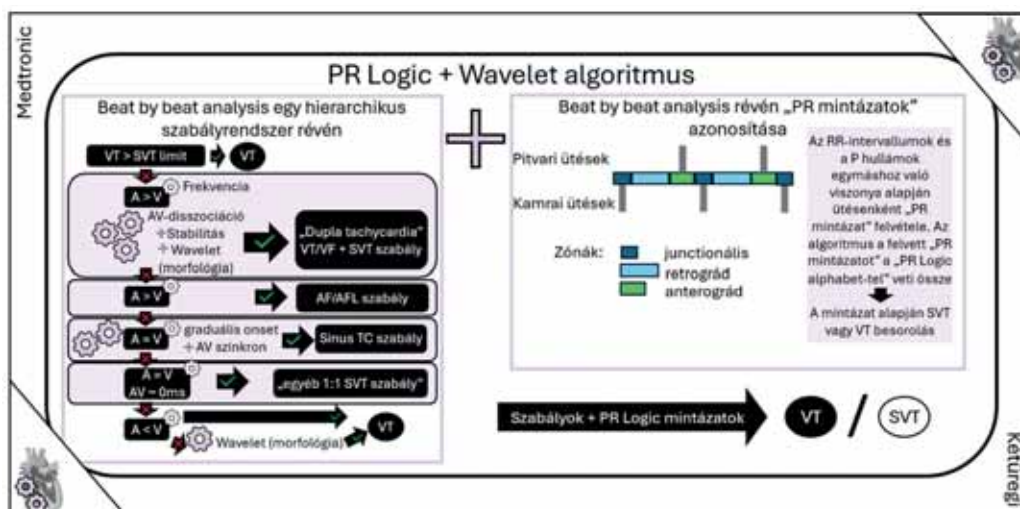
A Biotronik ICD-kben alkalmazott kétüregi diszkriminátor algoritmus SMART detekcióként ismert. Az adott VT-zónába eső esemény analízise a pitvari és a kamrai frekvencia összehasonlításával indul (6A ábra) (10). A pitvarit meghaladó kamrafrekvencia kamrai tachycardia „diagnózist” eredményez, míg minden más esetben további analízis történik. A SMART algoritmus másodikként működésbe lépő diszkriminátora a stabilitás. Ha a pitvari frekvencia gyorsabb, mint a kamrai, és a kamrai jel instabil (irreguláris), az algoritmus pitvarfibrillációként detektálja az adott epizódot. A többi lehetséges szituációban – úgymint kamrait meghaladó pitvari frekvencia és reguláris kamrai aktivitás fennállása, illetve azon epizódoknál, ahol a pitvari és a kamrai frekvencia aránya 1:1 – további diszkriminátorok egészítik ki az analízist (3, 7–10).

Az onset diszkriminátor a SMART algoritmusban is hasonlóan működik, mint együregi konfigurációban, és leginkább a sinus-tachycardia és a kamrai tachycar-



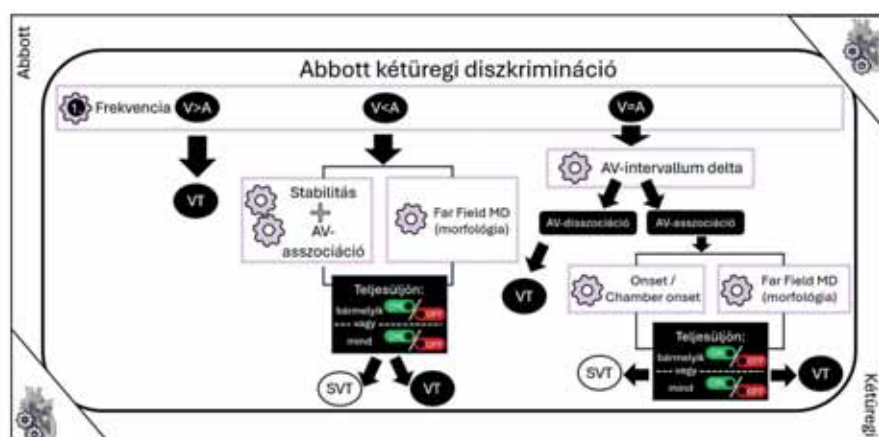
6A ÁBRA. A SMART algoritmus részletes bemutatása (3, 7, 9, 10)

Rövidítések: V>A: a pitvarit meghaladó kamrai frekvencia; V<A: a kamrait meghaladó pitvari frekvencia; V=A: 1:1-es arányú kamrai és pitvari frekvencia; VT: kamrai tachycardia; AFib: pitvarfibrilláció; AFI: pitvari flutter; AV: atrioventricularis; SVT: supraventricularis tachycardia; SinTC: sinus-tachycardia



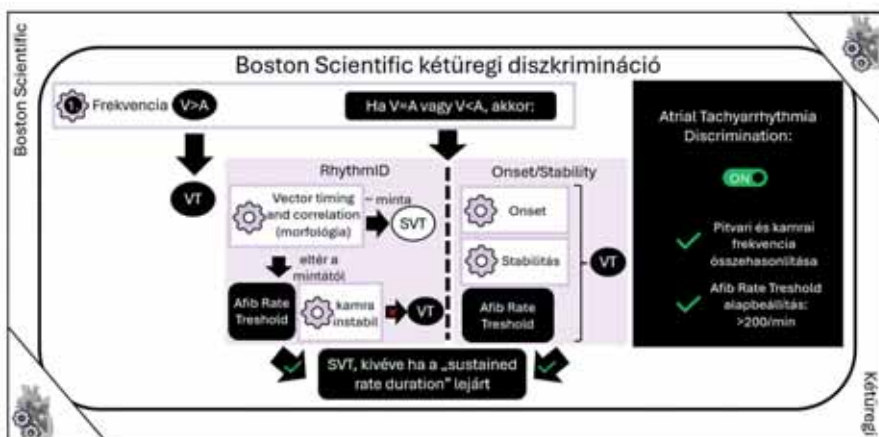
6B ÁBRA. A PR Logic + Wavelet algoritmus részletes bemutatása (3, 7, 9, 11)

Rövidítések: A>V: a kamrait meghaladó pitvari frekvencia; V:A: 1:1-es arányú kamrai és pitvari frekvencia; A<V: a pitvarit meghaladó kamrai frekvencia; VF: kamrafibrilláció; AF: pitvarfibrilláció; AF: pitvari flutter; AV: atrioventricularis; Sinus TC: sinus-tachycardia; SVT: supraventricularis tachycardia; SVT-limit: a supraventricularis tachycardia limitje (a Medtronic készülékek esetében az SVT-limit értékét meghaladó frekvenciájú tachycardia-epizódoknál nem történik tachyarrhythmia-diszkrimináció); VT: kamrai tachycardia



6C ÁBRA. Az Abbott ICD-k kétüregi diszkriminációs algoritmusának részletes bemutatása (3, 7, 9, 12)

Rövidítések: AV: atrioventricularis; V>A: a pitvarit meghaladó kamrai frekvencia; V<A: a kamrait meghaladó pitvari frekvencia; V:A: 1:1-es arányú kamrai és pitvari frekvencia; VT: kamrai tachycardia; SVT: supraventricularis tachycardia



6D ÁBRA. A Boston Scientific ICD-k kétüregi diszkriminációs algoritmusának részletes bemutatása (3, 7, 9, 13, 22)

Rövidítések: Afib: pitvarfibrilláció; SVT: supraventricularis tachycardia; V>A: a pitvarit meghaladó kamrai frekvencia; V:A: 1:1-es arányú kamrai és pitvari frekvencia; V<A: a kamrait meghaladó pitvari frekvencia; VT: kamrai tachycardia

diák elkülönítésében van szerepe. Az AV asszociáció vizsgálatát végzi az „AV-trend” mechanizmus, amely az egymást követő AV intervallumokat hasonlítja össze az 1:1-es V:A aránnyal járó epizódoknál. Ha az „AV-trend” fokozatos csökkenést vagy növekedést észlel az egymást követő AV intervallumok hosszában, a megálapított AV disszociáció kamrai tachycardia diagnózisát eredményezi. Hasonlóképpen az AV intervallumokat vizsgálja a „AV regularitás” diszkriminátor is, amely az egymást követő AV intervallumok stabilitását vizsgálja, azaz hogy az egymást követő AV intervallumok idejében van-e eltérés. Értelmszerűen a szabályos, azaz nagyjából megegyező hosszúságú AV intervallumok AV asszociációra, és azáltal inkább SVT-re utalnak. A „Multiplicitás” algoritmus pitvari flutter felismerésében lehet hasznos, amely diszkriminátor azt elemzi, hogy a pitvari frekvencia a kamrai frekvencia egész számú többszöröse-e (pl. 2:1-es vagy 3:1-es átvezetésű pitvari flutter) (3, 7–10, 15).

PR Logic + Wavelet algoritmus (Medtronic)

A Medtronic ICD-k kétüregi diszkriminátor algoritmus a PR Logic, amely kiegészül a „Wavelet” morfológiai diszkriminátorral. A PR Logic különlegessége, hogy „beat by beat” analízis révén minden ütéset egy hierarchikus szabályrendszeren átfuttatva „PR-mintázatokat” azonosít, és ezen PR-mintázatokat egy előre kialakított „PR Logic alphabet”-tel összevetve az adott ütések VT vagy SVT ütésként azonosítja. Az elemzés során ezen VT/SVT ütések folyamatosan számlálja, és ha az ütések egy adott VT/SVT countert elérnek, és ezenfelül az előírt VT/SVT szabályok teljesülnek, akkor az adott aritmiaepizód VT-ként/SVT-ként lesz azonosítva. Ha egyszerre több szabály is teljesül, akkor a hierarchiában magasabb prioritást élvező szabály adja a „diagnózist” (3, 7–9, 11).

Ahogy az a 6B ábrán is látszik, a legmagasabb prioritású szabály a „dupla tachycardia” (VT/VF + SVT) szabálya, amely alapján egy A>V frekvenciájú epizód stabil, reguláris kamrai ritmussal és AV disszociáció és abnormális (mintától eltérő) kamrai morfológia együttes fennállásával kamrai ritmuszavar diagnózisát fogja eredményezni. Ha az előbbi szabály nem teljesül, de a pitvari frekvencia gyorsabb, mint a kamrai, akkor a diagnózis pitvarfibrilláció/pitvari flutter (AF/AFL) lesz. Ha az AF/AFL szabály sem teljesül, a következő lépés a sinus-tachycardia szabálya, amely 1:1-es V:A vezetési arányt kíván graduális onsettel és AV szinkronitással. Ezt követi az „egyéb 1:1-es SVT-szabály”, amely a PSVT-k (pl. AVNRT) felismerésére alkalmas. Végül, ha az egyik SVT-szabály sem teljesül a fentiek közül, és a kamrai frekvencia meghaladja a pitvarit, vagy a kamrai EGM morfológiája eltér a felvett mintától, akkor VT diagnózisa kerül felállításra (3, 7–9, 11).

Kétüregi diszkrimináció az Abbott ICD-knél

Az Abbott készülékek kétüregi diszkriminációs algoritmusának a hagyományos együregi diszkriminátorok

is részét képezik, úgymint a stabilitás, a morfológia és a hirtelen kezdet (6C ábra) (7, 8, 12). Kiemelendő, hogy a hirtelenkezdet- (onset) diszkriminátor egy alternatív formája programozható a kétüregű Abbott ICD-k esetében. A chamber onset az adott aritmia-epizód esetén arra vonatkozóan végez analízist, hogy az adott ritmuszavar pitvari (rövid PP-intervallum) vagy kamrai kezdettel (rövid RR-intervallum) indul. A hirtelen kamrai kezdet kamrai tachycardiára utal, míg a pitvari kezdet segítséget nyújthat egyes SVT-k felismerésében (pl. fokális pitvari tachycardia). Kiemelendő azonban, hogy chamber onsettel együttesen a klasszikus hirtelenkezdet-diszkriminátort nem alkalmazhatjuk, a kettő csak külön-külön programozható (8, 12, 24). Az előbb említett diszkriminátorokat egészítik ki a pitvari és kamrai frekvenciát elemző „Rate branch” algoritmus, valamint az AV asszociáció vizsgálata (3, 7, 8, 12).

Az Abbott ICD-k kétüregi diszkriminációjának első lépését a pitvari és a kamrai frekvencia összehasonlítása képezi. A pitvarit meghaladó kamrai frekvenciával járó epizódok VT diagnózist eredményeznek, míg a többi esetben további analízis történik. Ha a pitvari frekvencia gyorsabb a kamrainál, akkor programozástól függően aktív morfológiai elkülönítés és/vagy stabilitás + AV asszociáció vizsgálat következik. Hasonlóan az együregi Abbott diszkriminációhoz, a V<A „frekvenciaágnál” is kiválaszthatjuk, hogy a VT-detekcióhoz elegendő-e csupán a morfológia vagy a stabilitás + AV asszociáció algoritmus teljesülése, vagy mindkét diszkriminátornak VT-t kell igazolnia a terápia leadásához. Az AV asszociáció algoritmus egy adott időtartam alatti AV intervallumok hosszát hasonlítja össze. Ha az AV intervallumok stabilnak, azaz hasonló hosszúságúnak bizonyulnak, az inkább AV asszociációra utal, amely SVT mellett szól. A kétüregi diszkrimináció másik „ága” az 1:1-es arányú V:A frekvencia. Ebben az esetben az „AV intervallum delta” diszkriminátor lép működésbe, amely az AV asszociációhoz hasonlóan az AV intervallumok mérése révén az AV asszociáció vagy AV disszociáció fennállását tudja igazolni. AV disszociáció esetében az AV delta algoritmus VT diagnózist eredményez, míg AV asszociáció gyanújakor morfológiai és onset/chamber onset alapú további diszkrimináció lép működésbe. Ez utóbbinál is programozható, hogy a VT diagnózishoz elég-e a morfológia vagy az onset/chamber onset párosból az egyik teljesülése, vagy mindkét diszkriminátornak VT-t kell igazolnia (3, 7, 8, 12).

Kétüregi diszkrimináció a Boston Scientific ICD-knél

A Boston Scientific készülékeinél a kétüregi diszkrimináció során is az együregi diszkriminációból megismert két algoritmus (RhythmID, Onset/Stability) működik, azonban ezek kiegészíthetők a pitvari jelek feldolgozásával. A pitvari jelek figyelembevételét a „pitvari tachyarrhythmia megkülönböztetése” („At-

	Biotronik	Medtronic	Abbott	Boston Scientific	
Detekció	VT1 zóna: - monitorzóna - detekciós küszöb egyéni elbírálás alapján VT2 zóna: - detekciós küszöb: 185 bpm - counter: 30 intervallum VF zóna: - detekciós küszöb: 231 bpm - counter: 30/40 intervallum	VT Monitor: - detekciós küszöb egyéni elbírálás alapján VT zóna: OFF FVT zóna: OFF VF zóna: - detekciós küszöb: 185 bpm - counter: 30/40 intervallum	VT zóna: - monitorzóna - detekciós küszöb egyéni elbírálás alapján VT2 zóna: - detekciós küszöb: 187 bpm - counter: 30 intervallum VF zóna: - detekciós küszöb: 240 bpm vagy 250 bpm - counter: 30 intervallum	Opció 1: „delayed” terápia VT-1 zóna: - monitorzóna - detekciós küszöb egyéni elbírálás alapján VT zóna: plusz 12 s duration - detekciós küszöb: 185 bpm - counter: 8 /10 intervallum VF zóna: plusz 5 s duration - detekciós küszöb: 250 bpm - counter: 8/10 intervallum	Opció 2: „high-rate” terápia VT-1 zóna: - monitorzóna - detekciós küszöb egyéni elbírálás alapján VF zóna: plusz 2,5 s duration - detekciós küszöb: 200 bpm - counter: 8/10 intervallum
	Tachyaritmia diszkrimináció Együregi ICD: - MorphMatch ON - Onset OFF - Stability OFF - Sustained VT Timer OFF Kétüregi ICD/CRT-D: - SMART-algoritmus ON	Együregi ICD: - Wavelet ON - Onset OFF - Stability OFF - SVT limit: 230 bpm Kétüregi ICD/CRT-D: - PR Logic algoritmus ON - Wavelet ON - Stability OFF - Onset OFF - SVT limit: 230 bpm	Együregi ICD: - Far-Field Morphology ON - Minden más* OFF Kétüregi ICD/CRT-D: - Far-Field Morphology ON - Arrhythmia onset ON - Interval stability ON - Teljesüljön: mind ON - SVT limit: 230 bpm - SVT Discrimination Timeout OFF - VT Therapy Timeout OFF	ICD: - RhythmID ON CRT-D: - Onset/Stability vagy RhythmID ON - Sustained Rate Duration (SRD) OFF - SVT diszkriminátor limit: 230 bpm	

* a beállításokban a kikapcsoláshoz a „passive” lehetőséget kell választani

7. ÁBRA. A tachyarrhythmia-detekció és -diszkrimináció gyártóspecifikus programozása primer prevenció ICD indikációban a 2019-es HRS/EHRA/APHRS/LAHRs nemzetközi szakértői konszenzusnak megfelelően (9)

Rövidítések: CRT-D: kardiális reszinkronizációs terápia defibrillátor funkcióval; SVT: supraventricularis tachycardia; VT: kamrai tachycardia; VF: kamrafibrilláció

rial Tachyarrhythmia Discriminaiton”) bekapcsolásával érhetjük el, így lehetővé válik a pitvari és a kamrai frekvencia összehasonlítása. A detekciós zónába eső ritmuszavarok először egy frekvenciaanalízisen esnek át. A pitvari frekvenciát meghaladó kamrafrekvenciájú ritmuszavarok VT-ként lesznek azonosítva, míg minden más esetben további analízisre kerül sor – programozástól függően – vagy a RhythmID vagy az Onset/Stability algoritmus által.

A RhythmID esetében a kezdeti frekvenciaanalízist morfológiai alapú diszkrimináció követi, és a felvett mintával történő morfológiai egyezés SVT diagnózisát eredményezi. Ha a ritmuszavar morfológiája eltér a felvett mintától, akkor 2 további szempontnak kell teljesülnie az SVT besoroláshoz: egyrészt a pitvari frekvenciának meg kell haladnia az „Afib Rate Threshold” értékét – ez az alapbeállításban 200/min –, másrészt a kamrai ritmusnak instabillnak (irregulárisnak) kell lennie. Minden más esetben az epizód VT-ként lesz azonosítva.

A másik lehetőség a RhythmID helyett az Onset/Stability algoritmus programozása. Onset/Stability programozásakor a kezdeti frekvenciaanalízis után a hirtelen kezdet, a stabilitás és az „Afib Rate Threshold” együttes elemzése alapján történik az SVT vagy a VT besorolás, így ebben az esetben a morfológiai diszkrimináció nem része az analízisnek. A Boston Scientific készülékek kétüregi diszkriminációját a 6D ábra foglalja össze (3, 7, 8, 13, 22).

A diszkriminátor algoritmusok programozására vonatkozó, jelenleg érvényes gyártóspecifikus ajánlás (primer prevenció ICD indikáció esetében)

A 2015-ben megjelent, majd 2019-ben frissített HRS/EHRA/APHRS/LAHRs nemzetközi szakértői konszenzus gyártóspecifikusan kitér a primer prevenció indikációval beültetett ICD-k tachyarrhythmia-detekcióval és -diszkriminációval kapcsolatos programozására. A konszenzusedokumentum ajánlást tesz egyrészt a tachyarrhythmia-zónák beállítandó detekciós küszöbére, másrészt leírja a különböző zónákban választandó diszkriminátor algoritmusokat (9). Az ajánlás legfontosabb elemeit a 7. ábrán foglaltuk össze.

Összefoglalás

A modern beültethető kardioverter-defibrillátorok fejlett diszkriminátor algoritmusokat alkalmaznak a supraventricularis és malignus kamrai ritmuszavarok elkülönítésére, jelentősen csökkentve az inadekvát ICD-terápiák arányát. Az algoritmusok két fő csoportra oszthatók: együregi diszkriminátorok, amelyek a kamrai jelek elemzésére támaszkodnak, és kétüregi algoritmusok, amelyek a pitvari és kamrai aktivitás együttes analízisét végzik. Az együregi diszkriminátorok (pl. stabilitás, hirtelen kezdet, morfológia) és a kétüregi algoritmusok (pl. AV

asszociáció elemzése) segítenek az SVT- és VT-epizódok elkülönítésében. Bár a diszkriminátorok programozása gyakran összetett és gyártóspecifikus ismereteket igényel, az alapelvek hasonlóak, és a legtöbb beteg esetében az automatikus gyári beállítások is megfelelően működnek. Ugyanakkor megfelelő programozással ezek az algoritmusok tovább finomíthatók az egyéni betegigények figyelembevételével, optimalizálva a tachyarrhythmia-diszkriminációt, és minimalizálva az inadekvát terápia kockázatát.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton szeretnék köszönetet mondani Fodor Dánielnek (Biotronik), Takács Vikornak (Medtronic), Nagy Józsefnek (Abbott), valamint Trencsényi Zsoltnek (Boston Scientific) a technikai kérdésekben nyújtott szakmai segítségükért.

Összeférhetetlenségi nyilatkozat

Dr. Vámos Máté az Abbott/St. Jude Medical, a Boston Scientific/Twinmed, a Biotronik és a Medtronic cégekkel áll tanácsadói és/vagy előadói szerződésben. A többi szerző kijelenti, hogy az ajánlás megírásával kapcsolatban nem áll fenn velük szemben pénzügyi vagy egyéb lényeges összeütközés, összeférhetlenségi ok, amely befolyásolhatja az ajánlásban szereplő megállapításokat vagy azok értelmezését.

Irodalom

- Zeppenfeld K, et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: Developed by the task force for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). European Heart Journal 2022; 43(40): 3997–4126. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac262>
- Gold MR, et al. Advanced rhythm discrimination for implantable cardioverter defibrillators using electrogram vector timing and correlation. Journal of Cardiovascular Electrophysiology 2002; 13(11): 1092–1097. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2002.01092.x>
- Biffi M. ICD programming. Indian Heart Journal 2014; 66: S88–S100. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2013.11.007>
- Kutyifa V, et al. Characterization and predictors of first and subsequent inappropriate ICD therapy by heart rate ranges: Result of the MADIT-RIT efficacy analysis. Heart Rhythm 2015; 12(9): 2030–2037. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.05.021>
- Biffi M, et al. Inappropriate therapies in modern implantable cardioverter-defibrillators: A propensity score-matched comparison between single- and dual-chamber discriminators in single-chamber devices THE SINGLE lead Study (THINGS Study). Heart Rhythm 2024. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2024.10.004>
- Cheng A, et al. SVT discrimination algorithms significantly reduce the rate of inappropriate therapy in the setting of modern-day delayed high-rate detection programming. Journal of Cardiovascular Electrophysiology 2019; 30(12): 2877–2884. <https://doi.org/10.1111/jce.14250>
- Stroobandt RX, Barold SS, Sinnaeve AF. Implantable Cardioverter-Defibrillators Step by Step: An Illustrated Guide. 2011: John Wiley

& Sons. Print ISBN: 9781405186384 Online ISBN: 9781444303377 <https://doi.org/10.1002/9781444303377>

- Mukherjee RK, et al. Successful identification of and discrimination between atrial and ventricular arrhythmia with the aid of pacing and defibrillator devices. Arrhythmia & Electrophysiology Review 2021; 10(4): 235. <https://doi.org/10.15420/aer.2021.54>
- Stiles MK, et al. 2019 HRS/EHRA/APHS/LAHS focused update to 2015 expert consensus statement on optimal implantable cardioverter-defibrillator programming and testing. EP Europace 2019; 21(9): 1442–1443. <https://doi.org/10.1093/europace/euz065>
- Brüggemann T, et al. Tachycardia detection in modern implantable cardioverter-defibrillators. Herzschrittmachertherapie & Elektrophysiologie 2016; 27(3): 171. <https://doi.org/10.1007/s00399-016-0449-z>
- Brown ML, Swerdlow CD. Sensing and detection in Medtronic implantable cardioverter defibrillators. Herzschrittmachertherapie & Elektrophysiologie 2016; 27(3): 193–212. <https://doi.org/10.1007/s00399-016-0450-6>
- Zdarek J, Israel CW. Detection and discrimination of tachycardia in ICDs manufactured by St. Jude Medical. Herzschrittmachertherapie & Elektrophysiologie 2016; 27(3): 226–239. <https://doi.org/10.1007/s00399-016-0455-1>
- Zanker N, et al. Tachycardia detection in ICDs by Boston Scientific: algorithms, pearls, and pitfalls. Herzschrittmachertherapie & Elektrophysiologie 2016; 27(3): 186. <https://doi.org/10.1007/s00399-016-0454-2>
- Madhavan M, Friedman PA. Optimal programming of implantable cardiac defibrillators. Circulation 2013; 128(6): 659–672. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.112.000542>
- Webber MR, Stiles MK. Recommendations for the programming of implantable cardioverter-defibrillators in New Zealand. Heart, Lung and Circulation 2012; 21(12): 765–777. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2012.07.017>
- Vamos M, et al. Rationale and feasibility of the atrioventricular single-lead ICD systems with a floating atrial dipole (DX) in clinical practice. Trends in Cardiovascular Medicine 2022; 32(2): 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2021.01.003>
- Toquero J, et al. Morphology discrimination criterion wavelet improves rhythm discrimination in single-chamber implantable cardioverter-defibrillators: Spanish Register of morphology discrimination criterion wavelet (REMEDI). Europace 2009; 11(6): 727–733. <https://doi.org/10.1093/europace/eup099>
- Kashou AH, et al. Mayo Clinic VT calculator: A practical tool for accurate wide complex tachycardia differentiation. Annals of Noninvasive Electrocardiology 2023; 28(6): e13085. <https://doi.org/10.1111/anec.13085>
- Vereckei A. Current algorithms for the diagnosis of wide QRS complex tachycardias. Current Cardiology Reviews 2014; 10(3): 262–276.
- Mocchetti F, et al. Effect of Additionally Integrating Clinical Information Into the Brugada Algorithm. Clinical Electrophysiology 2023; 9(6): 868–870. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2022.12.017>
- Jastrzebski M, et al. The ventricular tachycardia score: a novel approach to electrocardiographic diagnosis of ventricular tachycardia. Europace 2016; 18(4): 578–584. <https://doi.org/10.1093/europace/euv118>
- Corporation BS. Boston Scientific Device Features Compendium. 2021.
- St. Jude Medical, I., Tendril MRI™ User's Manual 2017.
- Tan WA, et al. Ventricular tachycardia with therapy inappropriately withheld due to ventricular-based timing. HeartRhythm Case Reports 2020; 6(9): 622–626. <https://doi.org/10.1016/j.hrcr.2020.06.009>