

Arrhythmiarizikó és cardialis szövődmények áramütéses balesetet követően

Szakirodalmi áttekintés és sürgősségi ellátási protokoll

Pilecky Dávid dr.^{1,2} ■ Kovács Enikő dr.³ ■ Zima Endre dr.²

¹Klinikum Passau, Passau, Németország

²Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

³Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Aneszteziológiai és Intenzív Terápiás Klinika, Budapest

Az áramütés súlyos esetben hirtelen halállal vagy több szervrendszer kiterjedt károsodásával járhat. A magasfeszültségű áramütés (>1000 V) általában súlyosabb égési sérülésekkel és magasabb kórházi mortalitással jár, mint az alacsonyfeszültségű, de a sérülések súlyosságát a feszültségen kívül a test ellenállása, az áramexpozíció ideje, az áram fajtája, erőssége és útja is befolyásolja. A kritikus állapotú vagy súlyos égési sérüléseket szenvedett betegek sürgősségi ellátása komplex és multidiszciplináris szemléletet igényel. A súlyos szövődményekkel járó áramütéses balesetek ugyanakkor a fejlett országokban ritkák: az áramütés következtében sürgősségi osztályon jelentkező betegek döntő többsége panaszmentesen vagy minor panaszokkal kerül felvételre. A ritmuszavarok az áramütéses balesetek messze leggyakoribb cardialis szövődményei, és rendszerint közvetlenül az áramütés után jelentkeznek. Az elektromos áram kamra-fibrillációt vagy asystoliát is kiválthat, mely a baleset helyszínén ellátás nélkül halálhoz vezethet. Bár sok helyen elterjedt gyakorlat az áramütést szenvedett betegek rutinszerű monitorozása, a klinikailag releváns arrhythmiaik összességében ritkák, és a felvételi EKG alapján diagnosztizálhatók, ezért EKG-monitorozás csak meghatározott rizikófaktorok esetén szükséges. Jelen munkánk célja összefoglalni az áramütést szenvedett betegek optimális sürgősségi ellátásával kapcsolatos legfontosabb szempontokat, különös tekintettel az áramütéses balesetet követően fellépő cardialis szövődményekre és arrhythmiaikra, valamint az EKG-monitorozás indikációira. *Orv Hetil.* 2020; 161(47): 1979–1988.

Kulcsszavak: áramütéses baleset, sürgősségi ellátás, cardialis szövődmények, arrhythmia

Risk of arrhythmias and cardiac complications after electrical injury

Review of literature and emergency department protocol

Electrical accidents (EA) may cause sudden death or severe injuries of multiple organs. High voltage injuries (>1000 V) are associated with more severe burn injuries and higher in-hospital mortality than low voltage injuries, however, the severity of complications depends on several other factors like resistance of the body, duration of current exposition, intensity, type and pathway of current. Critically ill patients with severe burns and/or other injuries require a multidisciplinary intensive treatment. However, such complications are rare in the developed countries: most patients present in the emergency department with no or minor symptoms and do not require hospital admission. Arrhythmias are the most frequent cardiac complications after EA. Electrical current may cause ventricular fibrillation or asystolia which can lead to death on the scene. In patients presenting in the emergency department, clinically relevant arrhythmias are rare and can be diagnosed by a 12-lead ECG, therefore a systematic monitoring may not be indicated. Aim of our work is to review the most frequent complications after an electrical accident with special focus on cardiac complications and arrhythmias. The other aim of the manuscript is to summarize the most important aspects of emergency treatment and indication for ECG monitoring after electrical accident.

Keywords: electrical accident, emergency care, cardiac complications, arrhythmia

Pilecky D, Kovács E, Zima E. [Risk of arrhythmias and cardiac complications after electrical injury. Review of literature and emergency department protocol]. *Orv Hetil.* 2020; 161(47): 1979–1988.

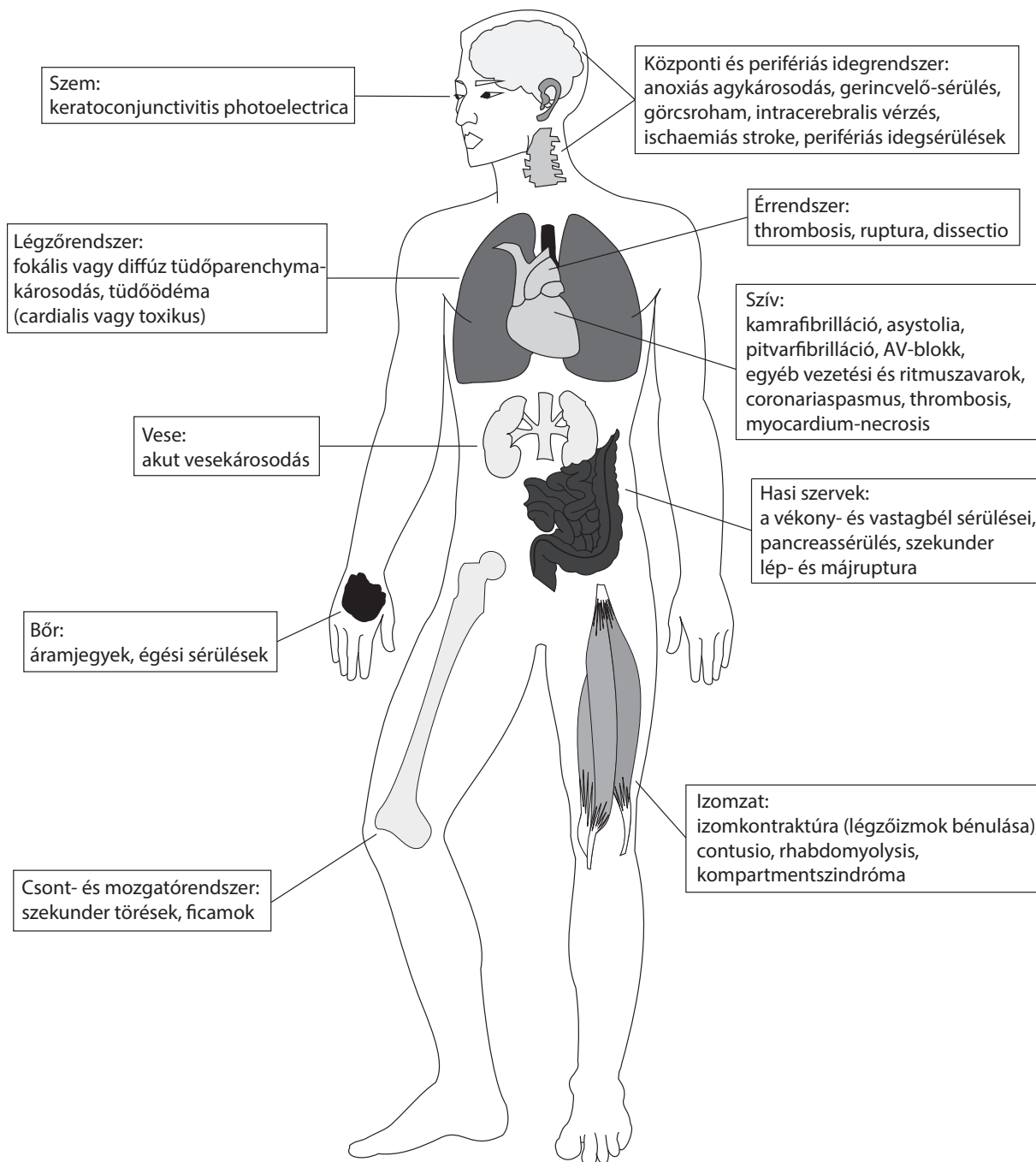
Beérkezett: 2020. május 11.; elfogadva: 2020. június 12.)

Rövidítések

ABCDE = (airway, breathing, circulation, disability, exposure) légút, légzés, keringés, neurológia, egyéb környezeti/szervi faktor; ALS = (advanced life support) emelt szintű újraélesztés; BLS = (basic life support) alapszintű újraélesztés; CIED = (cardiac implanted electronic device) cardialis implantált elektromos eszköz; CK = (creatine kinase) kreatin-kináz; CK-MB = (creatine kinase-MB isoenzyme) szívizom-specifikus kreatin-kináz; ERC = (European Resuscitation Council) Európai Resuscitációs Társaság; ICD = implantálható cardioverter defibrillátor; SIRS = (systemic inflammatory response syndrome) szisztémás inflammatorikus válaszreakció

Epidemiológia

Az egyre javuló érintésvédelmi intézkedéseknek köszönhetően a halálos áramütéses balesetek száma csökkent az elmúlt évtizedekben a nyugati fejlett országokban, az áramütés mégis a halálos munkahelyi balesetek 5–6%-át teszi ki, és így a negyedik leggyakoribb munkahelyi baleseti haláloknak számít [1]. A munkahelyi/ipari elektromos balesetek mellett (melyek főleg fiatal férfiakat érintenek) a háztartási elektromos balesetek (Európában 230 V, 50 Hz váltóáram) jelentenek fokozott kockázatot, külö-



1. ábra | Áramütéses balesetek szövődményeinek szervrendszerenkénti szemléltetése

nösen a kisgyermekre nézve [2]. A halálos kimenetelű áramütéses balesetek incidenciája az iparilag fejlett európai országok zömében, ahogy Magyarországon is, 1/millió lakos/év alatt van [1]. Halálos kimenetelű munkahelyi balesethez a leggyakrabban magasfeszültségű távvezetékkel, transzformátorral vagy más elektromos vezetékkel való érintkezés vezet [3]. Bár az áramütéses esetek többsége nem szándékolt baleset, szuicid célú/szándékú áramütéses balesetek is előfordulnak, általában elektromos vezetékkel való direkt kontaktus révén.

Kórélettani háttér

Az elektromos áram, melynek mértékegysége az amper (A), adott töltésű elektronok vagy ionok áramlását jelenti egy vezetőközegen keresztül egységnyi idő alatt. Az áramerősséget Ohm törvénye alapján a feszültség és az ellenállás határozza meg ($I = U / R$). Az elektromos áram az emberi testen áthaladva károsíthatja azt, egyrészt az elektromos energia hőenergiává alakulása révén égési sérülést okozva, másrészt az elektromosan ingerelhető szövetekre (például szív, idegek, izmok) kifejtett inger révén [4]. Az áramütés okozta szervkárosodásokat szervrendszerenként felosztva az 1. ábrán szemléltetjük. Az elszenvedett égési sérülések foka, az esetleges parenchymás szervkárosodások mértéke nagyban függ a közölt energia nagyságától, mely Joule törvénye alapján egyenesen arányos a test ellenállásával, az expozíció idejével, valamint az áramerősség négyzetével ($W = R \times T \times I^2$). Az emberi test szöveteinek vezetőképessége különböző: a legnagyobb az ellenállása a bőrnek, a csont- és zsírszövetnek, míg a legjobb vezetők – arányaiban magasabb folyadék- és elektrolittartalmuknál fogva – az erek és idegek. A nedves bőr ellenállása alacsonyabb, mint a száraz bőrre, így bár nedves bőr esetén az égési sérülések enyhébbek lehetnek, az áram könnyebben eléri a mélyebb szöveteket és belső szerveket [5]. A klinikai tapasztalat az, hogy míg a közölt energia nagysága a leginkább az égési sérülések fokával korrelál, addig a kamrafiibrillációs küszöb a leginkább az áramerősséggel határozható meg [6]. Az áramütéses balesetek a feszültség alapján alacsony- (<1000 V), illetve magas- (>1000 V) feszültségű áramütésre oszthatók fel, de ez a felosztás döntően technikai alapú, és csak részben tükrözi a kiváltott kórélettani folyamatok súlyosságát: mind alacsony-, mind magasfeszültségű áramütés okozhat hirtelen szívhalált és égési sérüléseket, valamint parenchymás szervkárosodásokat a fent említett egyéb tényezőktől függően [7].

Az áramütés okozta hirtelen halál oka a legtöbb esetben a légzőizmok tartós kontrakciós görcse miatti légzésleállás, hypoxia és következményes asystolia vagy az áramütés által kiváltott kamrafiibrilláció és keringésleállás [6]. A késői halál oka leggyakrabban a súlyos égési sérülések miatti szepszis, hypoxiás agykárosodás vagy súlyos trauma [7, 8]. A sérülések karakterét ezenfelül jelentősen meghatározza, hogy egyenáramról vagy váltóáramról van-e szó. Míg egyenáram esetén az elektronok

1. táblázat | A háztartásokban megszokott 50–60 Hz váltóáram élettani hatásai az áramerősség függvényében [9]

1 mA	Alig érzékelhető.
16 mA	Az a maximális áramerősség, mely esetén az áldozat az áramforrást még képes „elengedni”.
20 mA	A légzőizmok bénulása.
100 mA	Kamrafiibrillációs küszöb.
2 A	Asystolia és belsőszerv-károsodások.
15/20 A	Közönséges biztosítók megnyitják az áramkört.

egy irányba áramolva a beteget „ellökhetik” az áramforrástól, váltóáram esetén tetaniás izomkontrakció alakulhat ki, mely meggátolhatja az áramforrás elengedését, és ezzel növeli az expozíció idejét [4]. A háztartásokra jellemző 50 Hz frekvenciájú váltóáram élettani hatásait az áramerősség függvényében az 1. táblázat szemlélteti [9].

Szervsérülések áramütést követően

Égési sérülések

Mivel az áram általában először a bőrrel érintkezik, az elektromos energia hőenergiává alakulása égési sérülésekhez vezethet. Ezek a pontszerű vagy kiterjedtebb áramjegyektől és enyhe égési sérülésektől a súlyos, negyedfokú égési sérülésekig terjedhetnek. Az égési sérülések kiterjedését a testfelszínre vonatkoztatva adhatjuk meg. Súlyos égési sérülést elektromos ívárammal történő kontaktus is okozhat. Ilyenkor két, egymáshoz elég közel kerülő, nagy töltésű elektromos pólus között keletkezik elektromos kisülés, mely a két pólus között lévő, rosszul vezető közegben (általában gáz) igen magas hőmérsékletet eredményez [8]. Általában elmondható, hogy az égési sérülések foka és kiterjedése magasfeszültségű áramütést követően súlyosabb, ezen betegek hosszabb intenzív terápiás kezelést, több műtéti beavatkozást igényelnek, és az intenzív mortalitás is magasabb [10, 11].

Vascularis szövődmények

Az erek magas víztartalmuknál fogva kiváló vezetők, és mivel továbbvezetik az áramot, a vascularis szövődmények összességében ritkák, és inkább magasfeszültségű áramütés, valamint villámcsapás során fordulnak elő. Súlyos szövetkárosodás/égés során az érintett artériák thrombosisa vagy rupturája következhet be. Ruptura bekövetkezhet késleltetve, az ér tunica mediájának necrosisá követeztében [12].

Csont- és lágyrész-sérülések

Az áram okozta erős izomkontrakcióra ficamokhoz, fedett törésekhez vezethet. Az áramütés miatti eszméletvesztés vagy magasból esés szekunder lágyrész- és csontsérüléseket okozhat. A traumás eltérések vizsgálatakor

különös figyelmet kell fordítani a koponya, a gerinc és a gerincvelő esetleges sérüléseire. Hypotonia esetén mindig gondolni kell fedett, belső vérzésre is. Kiterjedt végtagi lágyrész-károsodás a szöveti ödéma miatt rhabdomyolysishez, illetve kompartment-szindrómához vezethet, mely esetén azonnali dekompresziós escharotomiát és fasciotomiát kell végezni [13].

Rhabdomyolysis és akut vesekárosodás

Az áramütés okozta harántcsikoltizom-károsodás és az esetleges járulékos sérülések rhabdomyolysist idéznek elő, melynek során megemelkedik többek között a szérum kreatin-kináz-, mioglobulin- és laktátdehidrogenáz-szintje [14]. Ennek mértéke magasfeszültségű áramütés során általában jóval magasabb, és ez korrelál a sérülések súlyosságával [10]. A kiterjedt rhabdomyolysis akut vesekárosodást okozhat, mely vesepótló kezelést is szükségessé tehet. Ennek fő kórélettani okai a hypovolaemia, a következményes szimpatikus aktiváció és renalis vasoconstrictio, a mioglobulin-asszociált oxidatív stressz okozta direkt tubularis károsodás, valamint a distalis tubulusok elzáródása [14]. A kezelés során fellépő szepszis vagy a fennálló krónikus veseelégtelenség tovább fokozhatja az akut vesekárosodás rizikóját. A veseelégtelenség megelőzése érdekében rhabdomyolysis és volumendeplició jelei esetén javasolt azonnal intenzív volumenpótló kezelést kezdeni a Parkland-formula alapján ($4 \times \text{testsúly (kg)} \times \text{megégett testfelület (\%)} = \text{krisztalloidigény} / 24 \text{ h [ml]}$) és szorosan monitorozni a volumenstatust, az elektrolitszinteket, a sav-bázis egyensúlyt. Szintén javasolt a vizeletstatus meghatározása, valamint a diuresis monitorozása. A kezelés kiegészíthető mannitol és – savas kémhatású vizelet (pH<6,5) esetén – nátrium-bikarbonát adásával [14].

Idegrendszeri sérülések

A központi és a perifériás idegrendszer sérülhet az áram direkt hatása vagy szekunder trauma révén. A klinikai tünetek széles spektrumon mozognak. A perifériás idegsérülések oka általában égési sérülés. További neurológiai szövődemény lehet a légzőizmok bénulása miatti anoxiás agykárosodás, gerincvelő-sérülés, görcsroham, intracerebralis vérzés, ritkán ischaemiás stroke [4]. Általában hegesztőknél fordul elő a keratoconjunctivitis photo-electrica, mely a szaruhártya erős UV-fény okozta fájdalom, de spontán gyógyuló sérülése [15].

Légzőrendszeri és visceralis károsodások

A légzőrendszer primer károsodása áramütést követően ritka, mindössze néhány esetközlés található az irodalomban. Ezek fokális vagy diffúz tüdőparenchyma-károsodásról számolnak be, változóan súlyos klinikai képpel [16, 17]. Szekunder pulmonalis eltéréseket okozhat

az akut balszívfél-elégtelenség (tüdőödéma; l. cardialis komplikációk) vagy az elektromos balesetet kísérő tűz során a toxikus gázok belégzése. Visceralis komplikációk (a leggyakrabban a vékony- vagy vastagbél sérülései, lép-, májruptura, pancreassérülés) szintén ritkák, és az esetek egy részében az áramütést kísérő szekunder trauma következményei [18].

Cardialis szövődmények

Hisztopatológiai eltérések

A cardialis érintettség klinikailag a leginkább myocardialis ischaemia/necrosis vagy ritmuszavarok képében manifesztálódik. Az előbbi jóval ritkább, és általában magasfeszültségű áramütést vagy villámcsapást követően lép fel. Egy postmortem hisztopatológiai vizsgálatban halálos áramütést követően makroszkópos cardialis eltérések a betegek 18%-ában voltak észlelhetők: epicardialis petechiák, kamrafalruptura, myocardialis infarctus vagy pericardialis haematoma [7]. Ezen eltérések egy része újraélesztési kísérlet során végzett mellkaskompresszió következményként is értékelhető. Mikroszkópos eltérések ennél sokkal gyakrabban tapasztalhatók: *Fineschi és mtsai* azt találták, hogy áramütés következtében fellépő hirtelen szívhalál esetén 90%-ban látható ún. myofibre break-up jelenség, melynek főbb jellemzői megnyúlt és hiperkontraktilis szívizomsejtnyalábok váltakozó megléte, valamint az intercalaris lemezek rupturája [19]. Feltételezhető, hogy ez az eltérés elektromos inhomogenitást okozva kamrafibrillációt vagy egyéb ritmuszavart idézhet elő.

Myocardium-necrosis

Myocardium-necrosis kialakulhat az áram direkt hatása (elektroporáció és elektrotermális konverzió) vagy coronaria spasmus/thrombosis révén, illetve szekunder módon, a keringésbe jutó catecholaminok mikrocirkulációs károsító hatása vagy keringési sokk esetén generalizált hypotonia következtében. Újraélesztésen átesett beteg vagy mellkasi trauma esetén gondolni kell myocardium-contusióra [6]. A myocardium-károsodás klinikailag nem mindig jár mellkasi fájdalommal, az EKG-n ischaemiára specifikus vagy aspecifikus ST-T-eltérések egyaránt jelentkezhetnek. A myocardialis ischaemia ST-elevációs infarctus képében is megnyilvánulhat, az esetközlések alapján az inferior lokalizáció a leggyakoribb. A laborértékek a cardialis nekroenzimek emelkedett szintjeit mutatják, és echokardiográfiával rendszerint az EKG-eltéréseknek megfelelő falmozgászavar is detektálható. A koronarográfia a legtöbb esetben negatív, így coronariaspasmus valószínűsíthető [20, 21].

Magasfeszültségű áramütés vagy villámcsapás ritka szövődménye a bal (és jobb) kamra dilatációjával és súlyos funkciózavarával járó akut szívelégtelenség, mely tüdőödémát, cardiogen sokkot okozva a beteg életét is veszélyezteti. Amennyiben a beteg az akut szakot túléli,

a balkamra-diszfunkció többnyire reverzibilis. A kiváltó tényezők nem pontosan tisztázottak. Kialakulásában valószínűleg meghatározó súlyos égési sérülés esetén a jelentős szövetkárosodás miatt fellépő szisztémás inflammatorikus válaszreakció (SIRS) [22, 23]. A kórképet villámcsapást követően jelentős égési sérülés nélkül is megfigyelték, ebben az esetben a leginkább az extrém stressz és az endogén catecholamin-fel szabadulás állhat a háttérben. Ezt támasztja alá, hogy villámcsapást követően Takotsubo-szindrómát (megtört szív) is megfigyeltek [24]. Ritka cardialis szövődeményként esettanulmányokban említésre kerül még haemorrhagiás pericarditis, subepicardialis myocardialis fibrosis [6, 25].

EKG-eltérések és ritmuszavarok

A leggyakoribb, áramütés okozta cardialis szövődmények egyértelműen az EKG-eltérések és ritmuszavarok. Ismert, hogy ha az áram a szívet a vulnérabilis szakban éri, azonnal kamra fibrillációt válthat ki, mely az áramütés miatti hirtelen szívhalál egyik fő oka [26]. A kamra fibrillációs küszöb eléréséhez kb. 6 V/cm elektromos télerősségre van szükség (összevetésként: a szív ingerléséhez 1 V/cm elektromos télerősség elegendő), ez 60 Hz váltóáram esetén kb. 50–100 mA áramerősség mellett érhető el. Fontos megjegyezni, hogy amennyiben az áramexponáció ideje hosszabb, a defibrillációs küszöb alatti áramerősség is kamra fibrillációt válthat ki. Az ezt meghaladó áramerősség a szívizomra kifejtett elektromos „resetting” hatás révén primer asystoliát okozhat [27].

A sürgősségi osztályon áramütéses baleset után felvett betegeknel definíciótól függően 4–24%-ban észlelhetők EKG-eltérések vagy ritmuszavarok, melyek a szív ingerképző és ingervezető rendszerének bármely részét érintetik. A felvételi EKG-n leggyakrabban észlelt eltérések a sinustachycardia, sinusbradycardia, izolált supraventricularis vagy ventricularis extrasystolék, ritkán pitvarfibrilláció [28–32]. Valószínűsíthető, hogy ezen eltérések jelentős része nem függ közvetlenül össze az áramütéssel, hiszen egy részük a szervezet fiziológiás válaszreakciójának vagy normális variánsnak is tekinthető (például sinustachycardia fájdalom/stressz következtében vagy sinusbradycardia fiatalokban), más részük klinikailag nem releváns benignus ritmuszavar (például izolált extrasystolék), melyek gyakorisága ebben a betegpopulációban nem tér el a normálpopulációétól [31]. Szakirodalmi adatok alapján jóval ritkább előfordulású áramütéses baleset után a sinusarrest, a különböző fokú AV-blokkok, a junkcionális tachycardia, a kamrai bigeminia vagy a nem tartós kamrai tachycardia [32–34]. Néhány esettanulmány beszámol áramütést követően fellépő átmeneti, Brugada-szindrómának megfelelő EKG-eltérésekről is, melyek mögött a myocardium áramütés miatti repolarizációs inhomogenitása állhat [35]. Áramütést követően tranzienst QT-megnyúlás is jelentkezhet, mely a malignus ritmuszavarok kialakulásának rizikóját növeli [36]. Összességében elmondható, hogy a klinikailag releváns,

terápiás konzekvenciával bíró ritmuszavarok az áramütéses balesetet követően sürgősségi osztályon jelentkező betegek körében ritkák.

Késői előfordulású ritmuszavarok

Korábbi esettanulmányokban közlésre került néhány olyan eset, amelynek során késői, több órával az áramütést követően fellépő hirtelen szívhalálról számoltak be. Az ezen esettanulmányokban publikált betegek egy része ugyanakkor nem részesült az áramütést követően orvosi ellátásban, vagy nem készült az áramütést követően EKG, ezért a halál arrhythmogen eredete csak valószínűsíthető volt [7, 37]. A szakirodalomban két olyan, jól dokumentált eset ismert, amikor az áramütéses baleset követően órákkal később kamra fibrillációt, illetve pulzus nélküli kamrai tachycardiát detektáltak, de mindkét esetben látható volt a felvételi EKG-n olyan eltérés (prográdialó AV-blokk, valamint QT-megnyúlás és a QRS fragmentációja), amely az EKG-monitorozást eleve indokoltá tette [36, 38]. A rendelkezésre álló klinikai vizsgálatokban a felvételi EKG-hoz képest az EKG-monitorozás során novum ritmuszavart csak igen ritkán detektáltak, életet veszélyeztető malignus arrhythmia az EKG-monitorozás, illetve az utánkövetés során egyáltalán nem fordult elő [30, 32, 39]. Ezzel összhangban áll *Hansen és mtsai* egészségügyi regisztereken alapuló párosított kohorszvizsgálata, melyben összesen több mint 11 000, áramütésen átesett és sürgősségi osztályon ellátott beteg adatait értékelték [40]. Az áramütést követő időszakban a regisztrált cardialis események száma igen alacsony volt, és ezek nem álltak ok-okozati összefüggésben az áramütéssel. Az 5 éves mortalitás nem mutatott szignifikáns különbséget az átlagpopulációhoz képest.

EKG-monitorozás

Az Európai Resuscitációs Társaság (ERC) áramütést elszennvedettek ellátására vonatkozó ajánlása alapján EKG-monitorozás azoknál a betegeknel javasolt, akiknek ismert fennálló cardiovascularis megbetegedésük van, vagy az alábbi tényezők közül egy vagy több fennáll: keringésmegállás, eszméletvesztés, légyrész-károsodás és égési sérülések, EKG-eltérés [41]. Fontos megjegyeznünk, hogy ezen ajánlás mögött kevés kivételtől eltekintve retrospektív, közepes esetszámú vizsgálatok állnak, ezért evidenciaszintjük összességében alacsony. Szintén nem rendelkezünk evidenciákkal azt illetően, hogy milyen hosszú ideig javasolt monitorozni ezeket a betegeket. A legtöbb szerző 6–24 órás monitorozást javasol, ugyanakkor ezt az adott klinikai szituáció mindig felülírhatja [6, 28, 29]. Bár az áram útja a testen belül befolyásolja a szervkárosodások lokalizációját, a vizsgálat alapján nem igazolódott az a feltételezés, hogy a mellkason áthaladó áram vagy az 1 másodpercnél tovább tartó tetania fokozná a ritmuszavar kialakulásának rizikóját, ezért nem tekinthető rizikófaktornak [32, 39].

EKG-monitorozás magasfeszültségű áramütést követően

Nem kellőképpen tisztázott, hogy magasfeszültségű áramütés után kell-e fokozott ritmuszavar-rizikóval számolni. *Gille és mtsai* áramütést követően égési intenzív osztályon ellátott betegek retrospektív vizsgálata során nem találtak különbséget a ritmuszavarok előfordulási gyakoriságában alacsony-, illetve magasfeszültségű áramütést követően [10]. Az intenzív osztályos monitorozás során arrhythmia mindössze a betegek 2,5%-ában jelentkezett, és ezek spontán szűntek, beavatkozást nem igényeltek. Meg kell jegyeznünk, hogy mivel a legtöbb nagyobb esetszámú vizsgálatban a magasfeszültségű áramütésen átesett betegek alulreprezentáltak voltak, valamint számos vizsgálat ezen betegek égési sérüléseire, azok ellátására és nem a cardialis komplikációkra fókuszál, a rendelkezésre álló adatok nem elégségesek meg alapozott ajánlás megfogalmazásához. Az eddigi adatok azt sugallják, hogy amennyiben magasfeszültségű áramütést követően a felvételi EKG negatív, és a beteg cardialisan panaszmentes, a cardialis szövődmény fellépése valószínűtlen. A szerzők megfontolandónak tartják a magasfeszültségből származó, potenciálisan kiterjedtebb szövetkárosodás miatt e speciális betegcsoport EKG-monitorozását.

Cardialis biomarkerek

A szívet érő áram myocardium-károsodást okozhat, ezt bizonyítja, hogy mind az implantálható cardioverter defibrillátor (ICD) által leadott sokkot, mind a külső elektromos cardioversiót vagy rádiófrekvenciás katéterablatiót követően kimutatható troponinemelkedés [42, 43]. Az áramütés után fellépő troponinemelkedés lehetséges okait a 2. táblázat foglalja össze. A nagyobb esetszámú klinikai vizsgálatok alapján a manifeszt myocardium-ká-

2. táblázat | A cardialisnekroenzim-emelkedés lehetséges okai áramütéses baleset követően

A troponinemelkedés lehetséges okai áramütéses baleset követően

- Arrhythmia (supraventricularis, ventricularis)
- Myocardium-ischaemia vagy myocardium-contusio
- Resuscitatio/defibrilláció
- Politrauma vagy agysérülés

A CK- és CK-MB-emelkedés lehetséges okai áramütéses baleset követően

- Égés
- Izom- vagy lágyrész-sérülés
- Áramütés miatti izomkontrakció vagy tetania
- Áramütéses balesetet megelőző fizikai munka
- Szívizom-károsodás

CK = kreatin-kináz; CK-MB = szívizom-specifikus kreatin-kináz

rosodással és troponinemelkedéssel járó cardialis komplikációk áramütés után ritkák. Nincs egyértelmű evidencia arra vonatkozólag, hogy van-e hozadéka az alacsonyfeszültségű áramütést szenvedett, cardialisan panaszmentes betegekben a rutinszerű troponinmeghatározásnak, mivel troponinemelkedés ebben a betegcsoportban csak sporadikusan fordul elő klinikai relevancia nélkül, és nem mutat összefüggést a kimenetellel vagy arrhythmiai előfordulásával [28, 32]. Emiatt a szerzők troponinszint-meghatározást csak akkor tartanak indokoltnak, ha a klinikai kép vagy az EKG felveti a myocardium-ischaemia gyanúját.

A CK és CK-MB a troponinnál kevésbé specifikus cardialis nekroenzimek, emelkedésük áramütést követően gyakori, de ennek általában a vázizom-károsodás az oka (2. táblázat). Az eddigi vizsgálati adatok alapján a CK és CK-MB nem korrelál a cardialis szövődmények és ritmuszavarok előfordulásával, ezért ezen komplikációk előrejelzésére nem alkalmasak [32].

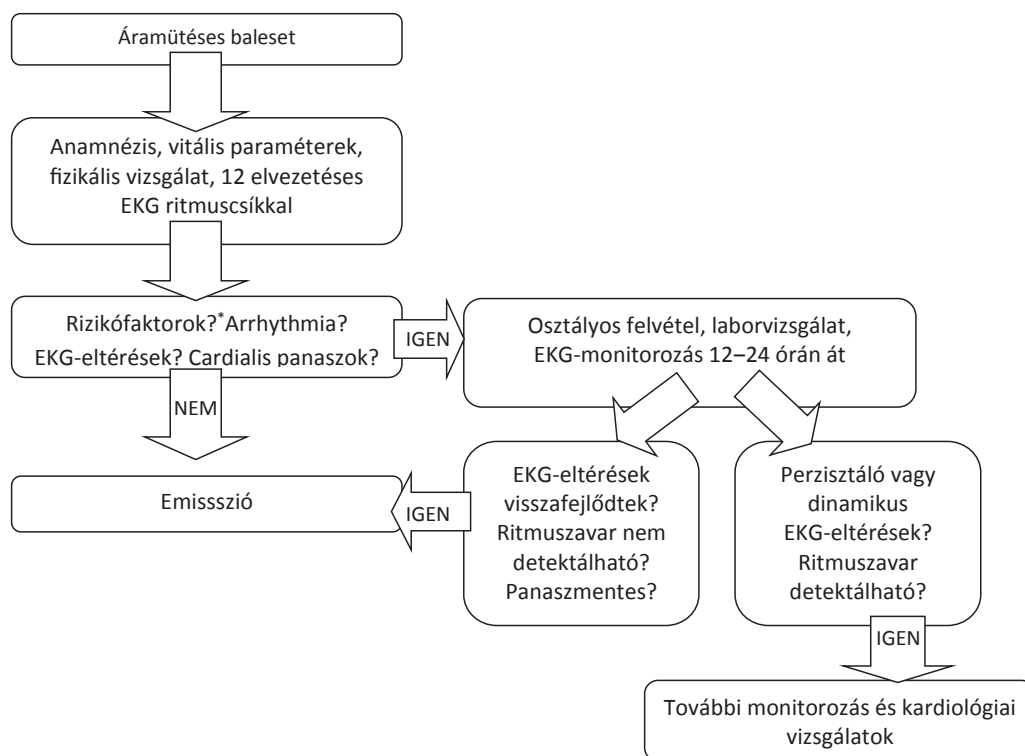
Az áramütést szenvedett beteg sürgősségi ellátása

Prehospitális ellátás

Az áramütést szenvedett beteg prehospitális ellátása során igen hangsúlyos a helyszín biztonságosságának felmérése és a beteg áramforrástól való biztonságos („szigetelt”) eltávolítása. Különösen a magasfeszültséggel való érintkezés lehetősége esetén meg kell győződni arról, hogy az áramkört megszakították-e, és a vezetékek földelve vannak-e. Keringésleállás esetén az ERC-irányelveknek megfelelő módon javasolt azonnal BLS-t, illetve ALS-t kezdeni [41]. Fej- és/vagy gerinctruma esetén a gerinc immobilizációja javasolt. A már spontán keringéssel bíró betegnél az „ABCDE”-elv (légút, légzés, keringés, neurológia, egyéb környezeti/szervi faktor) szerinti elsődleges betegvizsgálat javasolt. Cardialis esemény gyanúja esetén a coronariaőrzővel rendelkező kórházba, égési sérülések esetén az égési centrumba való primer transzport megfontolandó. Ezen betegek monitorozása kötelező.

Primer ellátás a sürgősségi osztályon

Áramütést követően specifikus terápia nem létezik, az ellátás szupportív, melyet nagyban befolyásol a klinikai kép. Az áramütést szenvedett beteg primer vizsgálatok különös gondot kell fordítani a baleset körülményeinek és mechanizmusának tisztázására. A fizikális vizsgálat során fontos egyrészt az áramjegyek és az egyéb látható sérülések detektálása, de mindig gondolni kell a baleset mechanizmusából adódó esetleges fedett sérülésekre is. A kritikus állapotú, súlyos égési vagy egyéb sérüléseket szerzett vagy újraélesztésen átesett betegek állapotstabilizálást követően intenzív ellátást igényelnek. Amennyiben má-



2. ábra

Az ajánlott sürgősségi EKG-monitorozási protokoll áramütést követően [6, 28, 29]

*Rizikófaktorok: magasfeszültségű áramütés (>1000 V), eszméletvesztés, újraélesztés, égési vagy más légyszív-sérülések, terhesség, cardiovascularis megbetegedés

Megjegyzés: Terhesség esetén javasolt a beteg nőgyógyászati vizsgálata, valamint a magzat vizsgálata. Cardialis implantált elektromos eszköz esetén javasolt az eszköz funkciójának lekérdezése

sodfokú vagy annál súlyosabb sérülések állnak fenn, égési sebész bevonása vagy égési osztályra helyezés javasolt.

Mivel a súlyos szövődményekkel járó áramütéses balesetek aránylag ritkák, a sürgősségi osztályon jelentkező betegek nagy része panaszmentesen vagy enyhe panaszokkal (a leggyakrabban végtagi fájdalom, zsibbadás, paraesthesia, enyhe égési sérülések) kerül felvételre [28, 30, 32]. Minden betegnél ajánlott 12 elvezetéses EKG készítése. Az EKG-monitorozás indikációs kritériumait a 2. ábra [6, 28, 29] foglalja össze. Azon rizikófaktorral nem rendelkező, panaszmentes betegek, akiknek nincs EKG-eltérésük, a sürgősségi osztályról gondos primer orvosi ellátás után további EKG-monitorozás nélkül emittálhatók. A cardialis nekroenzimek meghatározása csak a myocardium-ischemiára jellemző panaszok vagy EKG-eltérések esetén javasolt.

Áramütés speciális helyzetekben

Áramütés várandósság alatt

A terhesség alatt szenvedett áramütést illetően összességében igen kevés vizsgálati adat áll rendelkezésre. A klinikai kép heterogén lehet: átmeneti, magzati és anyai károsodással nem járó specifikus tünetek, spontán vetélés, lepényleválás, ritmuszavarok, hirtelen anyai és mag-

zati halál egyaránt felléphet. A rizikóbecslést nehezíti, hogy az anyai sérülések és tünetek nem mindig korrelálnak a magzati károsodás fokával [44]. Emiatt áramütést szenvedett terhes nőnél javasolt nőgyógyászati és magzati vizsgálatot végezni, a 20. terhességi hetet követően pedig legalább 4 órás, de anyai szövődmények (például eszméletvesztés, ritmuszavar) esetén ennél hosszabb EKG- és kardiotokegráfias monitorozás is javasolt [45].

Áramütés pacemakert viselő betegen

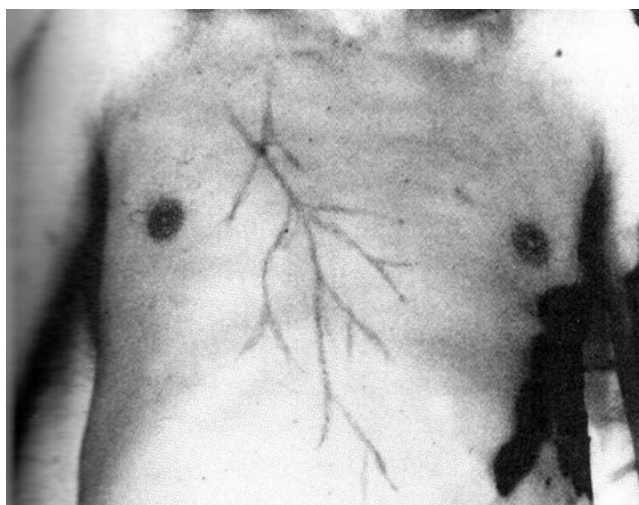
A szakirodalomban nem ismert olyan eset, hogy pacemakert vagy más, cardialis implantált elektromos eszközt (CIED) viselő betegen áramütéses baleset folytán a CIED diszfunkciója lépett volna fel. Ezzel ellentétben az áramütés által kiváltott kamrafibrillációt egy ICD képes felismerni és terminálni, míg erre a pacemaker nem képes [46]. Bár elektromos cardioversio során a CIED-t viselő betegekben az elektromágneses interferencia miatt felléphet az elektródá(k) vagy az eszköz átmeneti vagy tartós diszfunkciója, a modern pacemakerekben és defibrilátorokban ennek veszélye minimális. Mivel elektromos cardioversiót követően ajánlott ezen eszközök lekérdézése, a szerzők javasolják, hogy áramütéses balesetet követően is kontrolláljuk a beültetett eszköz funkcióját.

Áramütés gyermekekben

A gyermekkori áramütések túlnyomó többsége a fejlett országokban benignus kimenetelű, a cardialis szövödmények ritkák [2]. Nincs arra vonatkozó adat a szakirodalomban, hogy az áramütéses balesetet szenvedett gyermekeket cardialis komplikációk és arrhythmiaák szempontjából külön rizikócsoporthoz kezeljük, ezért a szerzők javasolják a felnőttekre érvényes ellátási és monitorozási protokollok figyelembevételét [28, 47].

Villámcsapás

Az áramütés extrém formája a villámcsapás, melynek során igen rövid, néhány ms időtartamú, de nagyon magas (>300 kV) feszültség éri a szervezetet. A balesetek többsége szabadban végzett szabadidős tevékenység folyamán történik, a mortalitás 10% alattira tehető [48]. A halál oka a legtöbbször kamrafibrilláció, asystolia vagy a légzőizmok bénulása következtében fellépő hypoxia [5, 25]. Villámcsapás következtében az extrém rövid expozíciós idő miatt általában csak enyhébb, első- vagy másodfokú égési sérülések alakulnak ki. Ritka, de igen jellegzetes az ún. Lichtenberg-jel (3. ábra), mely az igen nagy feszültség rosszul vezető közegen való hirtelen eloszlása miatt alakul ki, és nem jár maradandó szövetszövetkárosodással. A villámcsapás miatt fellépő cardialis szövödményeket korábban több kiváló szakirodalmi áttekintés összefoglalta [49]. Az extrém catecholamin-felszabadulás miatt gyakran észlelhető hypertonia vagy tachycardia. Az EKG-eltérések és ritmuszavarok az áramütéses balesetekhez hasonlóan az enyhe tranzienstől eltérésektől (aszpecifikus ST-T-eltérések, átmeneti QT-megnyúlás) a kamrafibrillációig terjedhetnek. Néhány esettanulmány beszámol – feltehetően vasospasmus és/vagy catecholamin-kiáramlás következtében kialakult – myocardialis infarctusról vagy átmeneti balkamra-diszfunkcióról, ezt a korábbiakban már részleteztük.



3. ábra | Lichtenberg-jel villámcsapást követően (prof. dr. Sótonyi Péter szívés engedélyével)

Megelőzés

Az áramütéses balesetek megelőzése legalább olyan fontos, mint az áramütést szenvedettek helyes ellátása. Az áram-védőkapcsolók (vagy más néven FI-relék) ma már széles körben elterjedtek, és csekély szivárgó áram esetén is igen gyorsan képesek megszüntetni az áramkört. A háztartási áramütéses balesetek jelentős része az elektromos eszközök helytelen használatából adódik, ezért a prevencióban kulcsszerepe van az alapvető érintésvédelmi szabályok lakossággal, kornak megfelelően gyerekekkel történő megismertetésének. Ugyanilyen hangsúlyos az elektromos eszközökkel, főleg magasfeszültséggel dolgozóknak a megfelelő munkavédelmi oktatása és a szükséges munkavédelmi eszközök biztosítása [9].

Következtetések

Az áramütés során elszenvedett szervkárosodások mértékét döntően az átfolyó áramerősség, az áram fajtája, az áramexpozíció ideje és az áram útja befolyásolja. A magasfeszültségű áramütés (>1000 V) általában súlyosabb égési sérülésekkel és emiatt hosszabb hospitalizációval, magasabb kórházi mortalitással jár, mint az alacsonyfeszültségű. Az elektromos áram kamrafibrillációt válthat ki, mely a halálos kimenetelű áramütéses balesetek leggyakoribb oka. Az áramütéses balesetet szenvedett, sürgősségi osztályra felvett betegekben a terápiás konzekvenciával bíró ritmuszavarok összességében ritkák, és a felvételi, 12 elvezetéses EKG alapján diagnosztizálhatók. Emiatt EKG-monitorozás csak azon betegeknél javasolt, akiknek valamilyen EKG-eltérésük vagy ritmuszavaruk van, vagy egyéb rizikófaktorral rendelkeznek: ismert cardiovascularis megbetegedés, keringésmegállás, eszméletvesztés, légyrész-károsodás és égési sérülések, magasfeszültségű áramütés, terhesség. A cardialis nekroenzimek meghatározása csak ischaemiára jellemző EKG-eltérés vagy cardialis panasz esetén javasolt.

Anyagi támogatás: A szerzők a jelen közlemény megírásáért anyagi támogatásban nem részesültek.

Szerzői munkamegosztás: P. D.: A kézirat megszövegezése, irodalomkutatás. K. E.: A kézirat tartalmi és formai véleményezése. Z. E.: A kézirat jelentős tartalmi és formai véleményezése, revíziója.

Érdekltségek: A szerzőknek a közlemény kapcsán nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Dokov W, Dokova K. Epidemiology and diagnostic problems of electrical injury in forensic medicine. In: Vieira DN. (ed.) Forensic medicine – From old problems to new challenges. Intech, London, 2011; pp. 121–136.
- [2] Böhrer M, Stewart SA, Hurley KF. Epidemiology of electrical and lightning-related injuries among Canadian children and

- youth, 1997–2010: A Canadian Hospitals Injury Reporting and Prevention Program (CHIRPP) Study. *CJEM* 2018; 20: 586–591.
- [3] Cawley JC, Homce GT. Trends in electrical injury in the U.S., 1992–2002. *IEEE Trans Ind Appl.* 2008; 44: 962–972.
- [4] Koumbourlis AC. Electrical injuries. *Crit Care Med.* 2002; 30(11 Suppl): S424–S430.
- [5] Spies C, Trohman RG. Narrative review: electrocution and life-threatening electrical injuries. *Ann Intern Med.* 2006; 145: 531–537.
- [6] Waldmann V, Narayanan K, Combes N, et al. Electrical cardiac injuries: current concepts and management. *Eur Heart J.* 2018; 39: 1459–1465.
- [7] Bailey B, Forget S, Gaudreault P. Prevalence of potential risk factors in victims of electrocution. *Forensic Sci Int.* 2001; 123: 58–62.
- [8] Arnoldo BD, Purdue GF, Kowalske K, et al. Electrical injuries: a 20-year review. *J Burn Care Rehabil.* 2004; 25: 479–484.
- [9] The National Institute for Occupational Safety and Health. Worker deaths by electrocution. DHHS (NIOSH) Publication No. 98–131. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/98-131/pdfs/98-131.pdf> [accessed: March 11, 2020].
- [10] Gille J, Schmidt T, Dragu A, et al. Electrical injury – a dual center analysis of patient characteristics, therapeutic specifics and outcome predictors. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018; 26: 43.
- [11] Kym D, Seo DK, Hur GY, et al. Epidemiology of electrical injury: Differences between low- and high-voltage electrical injuries during a 7-year study period in South Korea. *Scand J Surg.* 2015; 104: 108–114.
- [12] Toy J, Ball BJ, Tredget EE. Carotid rupture following electrical injury: a report of two cases. *J Burn Care Res.* 2012; 33: e160–e165.
- [13] Kidd M, Hultman CS, Van Aalst J, et al. The contemporary management of electrical injuries: resuscitation, reconstruction, rehabilitation. *Ann Plast Surg.* 2007; 58: 273–278.
- [14] Bosch X, Poch E, Grau JM. Rhabdomyolysis and acute kidney injury. *N Engl J Med.* 2009; 361: 62–72.
- [15] Yen YL, Lin HL, Lin HJ, et al. Photokeratoconjunctivitis caused by different light sources. *Am J Emerg Med.* 2004; 22: 511–515.
- [16] Karamanli H, Akgedik R. Lung damage due to low-voltage electrical injury. *Acta Clin Belg.* 2017; 72: 349–351.
- [17] Truong T, Le TV, Smith DL, et al. Low-voltage electricity-induced lung injury. *Respirol Case Rep.* 2017; 6: e00292.
- [18] Marques EG, Junior GAP, Neto BFM, et al. Visceral injury in electrical shock trauma: proposed guideline for the management of abdominal electrocution and literature review. *Int J Burns Trauma* 2014; 4: 1–6.
- [19] Fineschi V, Karch SB, D’Errico S, et al. Cardiac pathology in death from electrocution. *Int J Legal Med.* 2006; 120: 79–82.
- [20] Celebi A, Gulel O, Cicekcioglu H, et al. Myocardial infarction after an electric shock: a rare complication. *Cardiol J.* 2009; 16: 362–364.
- [21] Franzius C, Meyer-Hofmann H, Lison AE. Myocardial infarct and rhabdomyolysis after a high-voltage accident with successful resuscitation. [Myokardinfarkt und Rhabdomyolyse nach einem Hochspannungsunfall mit erfolgreicher Reanimation.] *Dtsch Med Wochenschr.* 1997; 122: 400–406. [German]
- [22] Jaber JJ, Vibhakar DB. High voltage induced myocardial dysfunction with associated acute four-chamber dilated cardiomyopathy: a case report and review of the literature. *Burns* 2012; 38: e28–e34.
- [23] Buono LM, DePace NL, Elbaum DM. Dilated cardiomyopathy after electrical injury: report of two cases. *J Am Osteopath Assoc.* 2003; 103: 247–249.
- [24] Hayashi M, Yamada H, Agatsuma T, et al. A case of Takotsubo-shaped hypokinesis of the left ventricle caused by a lightning strike. *Int Heart J.* 2005; 46: 933–938.
- [25] Wetli CV. Keraunopathology. An analysis of 45 fatalities. *Am J Forensic Med Pathol.* 1996; 17: 89–98.
- [26] Geddes LA, Bourland JD, Ford G. The mechanism underlying sudden death from electric shock. *Med Instrum.* 1986; 20: 303–315.
- [27] Kay GN, Dossdall DJ, Shepard RB. Cardiac electrical stimulation. In: Ellenbogen KA, Kay GN, Lau CP, et al. (eds.) *Clinical cardiac pacing, defibrillation and resynchronization therapy.* Saunders, Philadelphia, PA, 2011; pp. 3–39.
- [28] Searle J, Slagman A, Maa W, et al. Cardiac monitoring in patients with electrical injuries. An analysis of 268 patients at the Charité Hospital. *Dtsch Arztebl Int.* 2013; 110: 847–853.
- [29] Krämer C, Pfister R, Boekels T, et al. Cardiac monitoring always required after electrical injuries? *Med Klin Intensivmed Notfmed.* 2016; 111: 708–714.
- [30] Pawlik AM, Lampart A, Stephan FP, et al. Outcomes of electrical injuries in the emergency department: a 10-year retrospective study. *Eur J Emerg Med.* 2016; 23: 448–454.
- [31] Sigmund M, Völker H, Effert S, et al. Heart damage after electric injury. [Herzschädigung nach Stromunfall.] *Versicherungsmedizin* 1991; 43: 148–151. [German]
- [32] Pilecky D, Vámos M, Bogyi P, et al. Risk of cardiac arrhythmias after electrical accident: a single-center study of 480 patients. *Clin Res Cardiol.* 2019; 108: 901–908.
- [33] Orme S, Channer KS. Tachycardia following low-tension electrocution. *Postgrad Med J.* 1999; 75: 439–440.
- [34] Beton O, Efe TH, Kaya H, et al. Electrical injury-induced complete atrioventricular block: is permanent pacemaker required? *Case Rep Cardiol.* 2015; 2015: 158948.
- [35] Tomcsányi J, Bózsik B, Hrisula A. Electric shock and Brugada syndrome. *Am J Emerg Med.* 2010; 28: 540.e7–e8.
- [36] Karataş MB, Onuk T, Güngör B, et al. Assessment of electrocardiographic parameters in patients with electrocution injury. *J Electrocardiol.* 2015; 48: 809–814.
- [37] Jensen PJ, Thomsen PE, Bagger JP, et al. Electrical injury causing ventricular arrhythmias. *Br Heart J.* 1987; 57: 279–283.
- [38] Sharma BC, Patial RK, Pal LS, et al. Electrocardiographic manifestations following household electric current injury. *J Assoc Physicians India* 1990; 38: 938–939.
- [39] Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL. Cardiac monitoring of high-risk patients after an electrical injury: a prospective multicentre study. *Emerg Med J.* 2007; 24: 348–352.
- [40] Hansen SM, Riahi S, Hjortshøj S, et al. Mortality and risk of cardiac complications among immediate survivors of accidental electric shock: a Danish nationwide cohort study. *BMJ Open* 2017; 7: e015967.
- [41] Truhlář A, Deakin CD, Soar J, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 2015; 95: 148–201.
- [42] Stieger P, Rana OR, Saygili E, et al. Impact of internal and external electrical cardioversion on cardiac specific enzymes and inflammation in patients with atrial fibrillation and heart failure. *J Cardiol.* 2018; 72: 135–139.
- [43] Tahin T, Herczeg S, Gellér L, et al. Assessment of the extent of myocardial necrosis following radiofrequency catheter ablation of different supraventricular arrhythmias. [A myocardialis necrosis mértékének vizsgálata eltérő supraventricularis szívritmuszavarok rádiófrekvenciás katéterablatiós kezelését követően.] *Orv Hetil.* 2019; 160: 540–548. [Hungarian]
- [44] Sparić R, Malvasi A, Nejković L, et al. Electric shock in pregnancy: a review. *J Matern Neonatal Med.* 2016; 29: 317–323.

- [45] Fish RM. Electric injury, part III: cardiac monitoring indications, the pregnant patient, and lightning. *J Emerg Med.* 2000; 18: 181–187.
- [46] Ginwalla M, Battula S, Dunn J, et al. Termination of electrocution-induced ventricular fibrillation by an implantable cardioverter defibrillator. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2010; 33: 510–512.
- [47] Claudet I, Maréchal C, Debuissou C, et al. Risk of arrhythmia and domestic low-voltage electrical injury. [Risque de trouble du rythme et électrisation par courant domestique.] *Arch Pediatr.* 2010; 17: 343–349. [French]
- [48] Ströhle M, Wallner B, Lanthaler M, et al. Lightning accidents in the Austrian Alps – a 10-year retrospective nationwide analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018; 26: 74.
- [49] Christophides T, Khan S, Ahmad M, et al. Cardiac effects of lightning strikes. *Arrhythm Electrophysiol Rev.* 2017; 6: 114–117.

(Zima Endre dr.,
 Budapest, Városmajor u. 68., 1122
 e-mail: zima.endre@gmail.com)

PÁLYÁZAT

A **Prof. Dr. Romics László Akadémikus Emlékére Alapítvány** pályázatot hirdet Magyarországon dolgozó, magyar állampolgárságú, 40 éven aluli orvosok és orvosbiológiai kutatással foglalkozó személyek számára. A nyertes pályázó(k) között 500 000 Ft alapítványi adomány kerül kiosztásra.

A pályázat célja: a klinikai gyógyítás vagy orvosi tudományos kutatás területén dolgozók kiemelkedő tudományos tevékenységének elismerése.

Előnyt élveznek azok a pályázók, akik az alapítvány névadójának munkásságát folytatva cardiovascularis és anyagcsere-betegségek területéről nyújtanak be pályázatot.

A pályázat benyújtásának határideje: **2021. február 28.** (elbírálásának határideje: 2021. április 30.)

A pályázatot a palyazat@romicsalapitvany.hu e-mail címre pdf formátumban kell benyújtani.

A pályázatot természetes személy, saját nevében, magyar nyelven nyújthatja be, a pályázati anyag ábrák nélkül maximum 15 000 leütés (karakter) terjedelmű lehet. A pályázathoz mellékelni kell egy rövid szakmai életrajzot a születési év megjelölésével.

A pályázat benyújtását saját kézzel aláírt és dátummal ellátott levélben kell bejelenteni az alapítvány titkárnak címezve (**a borítékra írandó cím: dr. Dudás Márta, 1461 Budapest, Pf. 62**) könyvelt (ajánlott) küldeményben, mert ezen bejelentés alapján válik hitelessé a pályázat. A pályázatot nyomtatott formában **nem kell** mellékelni.

Az alapítvány adatairól, működéséről a www.romicsalapitvany.hu honlapon található információ.