

# Oštećenje organizma električnom strujom

---

**Korin, Nikola; Steiner, Aleksa**

*Source / Izvornik:* **Medicina, 1975, 12, 57 - 63**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:875664>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-10**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



# Oštećenje organizma električnom strujom

N. KORIN, A. STEINER

Iz Kirurške klinike Medicinskog fakulteta i Zavoda za fiziku Medicinskog fakulteta, Rijeka

Električni udari su razmjerno rijetki traumatski udesi, ali kad do njih dođe, mogu imati vrlo dalekosežne i dramatske reperkusije. Uslijed toga je potrebno općenito poznavati opasnosti električne energije, kao i patofiziološke procese koje može izazvati električni udar. I mada se gledišta raznih autora ne slažu s nekim sistematizacijama patoloških lezija uslijed djelovanja struje, ipak je potrebno prihvatiti ona tumačenja koja mogu najlakše izazvati adekvatne predodžbe koje se protežu ne samo na prvu ili najhitniju pomoć, već također i na hitnu specijalističku pomoć. Promatranje patofizioloških zbivanja u rasponu između strujnih biljega izazvanih Joulovom toplinom i ozbiljnih funkcionalnih stanja, koja se mogu svesti na pojam elektrospecifičnih efekata, omogućuje terapeutu lakšu orijentaciju u danom momentu, što je toliko važno za pravilan pristup ovom kompleksnom problemu.

Između tih dviju krajnosti mi smo u obliku jedne sheme prikazali i sva ona (sl. 1) patološka i patofiziološka stanja koja se susreću razmjerno rijetko i koja predstavljaju za kirurge izuzetno težak zadatak.

## NEKOLIKO UVODNIH NAPOMENA

Incidenti u vezi s električnom strujom su u našem tehniziranom svijetu, usprkos obilnom korištenju električne energije, ipak razmjerno rijetki. Tajna leži nesumnjivo u golemim mogućnostima zaštite koja je i opet prvenstveno tehničke prirode, a nadalje u velikom strahu prema toj nepoznanici, koja i posve neukom čovjeku ulijeva izvjesni respekt. Zbog toga su najčešće žrtve udara električne struje upravo kvalificirane osobe kojima prijeti velika opasnost i koje katkada učine sudbonosnu geste nefaste ili radnju koja ih začas zatvori u smrtnosni krug električne energije.<sup>1</sup> Da li se tu radi o potcjenjivanju opasnosti — kako mnogi misle — ili pak o pravom nesretnom slučaju bez elemenata nehata, ostaje još uvijek diskutabilno. Bilo bi, naravno, pogrešno misliti da se nesretni slučajevi na tom području zbivaju posve iznimno u ostalih ljudi, jer golem broj električnih instalacija i želja mnogih da eventualne kvarove sami otklone, uključuju drugu grupu iz područja ovog specifičnog traumatizma.

Trećoj skupini pripadaju djeca koja u opasnost vjeruju tek tada kada je sama dožive. Međutim, bez obzira na to što su kućanski naponi podešeni da služe svojoj optimalnoj svrsi, oni su istovremeno prijeteca opasnost. Sa stajališta ekonomije bilo bi svakako povoljnije da su naponi što viši, dok bi sa stajališta sigurnosti bilo poželjno da su oni što niži. I tako je kućanski napon od 220 V praktički jedno kompromisno rješenje. Ako se spomene samo nekoliko detalja iz domene elektrofizike, odmah će biti jasno da je ljudski organi-

zam, uključen u običnu kućnu mrežu, izvrnut golemim opasnostima.

## O DETALJIMA U VEZI S ELEKTRIČNOM STRUJOM

Električni se napon mjeri u voltima i on sam po sebi ne predstavlja nikakvu opasnost. Lastavica koja se nalazi na nekom dalekovodu visokog napona nije ugrožena, jer kroz nju ne teče nikakva struja. Kad bi njeno tijelo u isto vrijeme doticalo dva različita voda, onda bi tek kroz nju prolazila struja, koja bi za nju bila dakako sudbonosna. Prema tome, opasnost za ljudski i životinjski organizam predstavlja jakost električne struje ili amperaža. Nju se može lako izračunati jer je jednaka kvocijentu između napona i otpora.

Ako je napon 200 V, a otpor ljudskog tijela 1000 oma, u tom je trenutku moguće da kroz ljudsko tijelo prostruji električna struja jakosti 0,2 A (200mA) što može izazvati smrt, ukoliko je vrijeme protoka veće od 0,1 sekunde. Uspije li, dakle, čovjeku koji je dodirnuo u ovim nepovoljnim okolnostima električni vod, da ga smjesta otpusti, tada praktički neće biti nikakvih oštećenja. Osim vremena protoka struje, vrlo važnu ulogu igra i put kojim ona protječe, nadalje vrsta struje i konačno otpori koje predstavljaju različita tkiva.

Izmjenična struja praktički u svim okolnostima opasna je ako ima odgovarajuću amperažu i frekvenciju. Kod istosmjerne struje, kad protječe vodoravno od ruke u ruku, neće biti nikakvih reperkusija na srcu, što je neobično važno, jer je ono centralni organ u ovom naročito traumatičnom. Struja jakosti od 20mA nije opasna, iako je neugodna, ali je već njeno malo povećanje ozbiljna prijetnja organizmu i životu. Već kod struje jakosti 30 mA nastupit će jaki bolovi, dok je struja od 50 mA prihvaćena kao donja granica smrtno opasnosti.

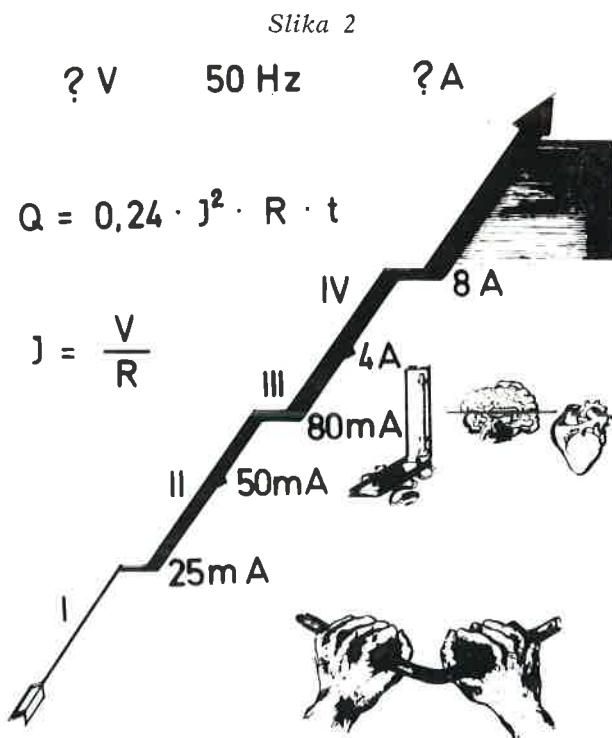
Smrt će nastupiti u većini slučajeva ako struja jakosti 100 mA protječe kroz srce.<sup>2</sup>

Slika 1



Pregledni prikaz oštećenja uslijed djelovanja električne struje.

Struja od 150 mA izaziva momentalni srčani arrest. Srce će se oporaviti ako struja ne protječe odviše dugo, što se vidi iz sl. 2, koja je modificirana prema Koeppenu.



Modificirana Koeppenova skala. Na dnu skice je prikazana zona muskularnih grčeva kad pogodeni ne može otpustiti predmet iz ruke. U daljnjem porastu amperage javljaju se promjene u krvnom tlaku, te smetnje sa strane centralnog nervnog sistema i srca. Pri vrhu skale dolaze sve više do izražaja elektrotermički efekti.

Govoreći općenito, treba posljedice električnog udara promatrati s više strana. Kojim će djelovanjem rezultirati prolaz električne struje kroz organizam ovisi o nizu učinaka kojih fiziološki i kemijski efekti neće biti uvijek isti. Oni, naime, ovise o različitim faktorima koje se može sistematizirati u vanjske i unutarnje.

Među vanjskim faktorima treba istaći trajanje električnog udara, vrstu električne struje, njenu jakost, meteorološke okolnosti, kao i sredinu (milieu) u kojoj se nesretni slučaj zbio. Što dulje djeluje električna struja na organizam, to više energije mora biti amortizirano i to će se više ispoljiti djelovanje topline koja se prilikom prolaska električne struje stvara u organizmu.

Ovisnost djelovanja električnog udara od meteoroloških faktora je poznata, iako nije, s obzirom na različitost konačnih efekata, objašnjena.<sup>3</sup> Što se tiče sredine u kojoj dolazi do električnog udara, to se često kao podesan primjer ističe smrt u kadi za kupanje kad djeluju električne struje iste jakosti i napona koji se inače koriste u svrhu defibrilacije srca. Smrt u kadi nastupa

zbog smanjenja prelaznog otpora uslijed velike dodirne površine kože i sredine, tj. vode. Svakako da se i strah u tom momentu mora uzeti u obzir.

Za razliku od vanjskih faktora, treba istaći grupu unutarnjih faktora koji su svojstveni samom organizmu koji je izložen udaru električne struje.<sup>4,5</sup> U toj grupi treba istaći vlažnost kože, sekreciju znoja, keratinske naslage na rukama, sadržaj tekućine u muskulaturi, količinu cirkulirajuće krvi, svojstva vegetativnog živačanog sustava, psihičku spremnost za reakciju i utjecaj straha. Jellinek je sve te unutarnje faktore subsumirao pod pojmom »spremnosti organizma za električni udar« i nadredio ih, s obzirom na posljedice, vanjskim faktorima.<sup>6,7</sup>

Za sve iznesene slučajeve, kad se radi o izmjeničnoj struji, mora se uzeti u obzir i broj perioda ili titraja elektromagnetskih valova u jednoj sekundi, što se naziva frekvencijom, a mjeri se u Hz (hercima). Najopasnije su frekvencije od 30—150 Hz koje su, ali na žalost, istovremeno najkorisnije s tehničkog aspekta. Evropske javne mreže imaju izmjeničnu struju od 50 Hz, a one u anglosaksonskim zemljama 60 Hz. Za većinu ljudi su ove struje opasnije od istosmjernje struje koja ima 0 Hz. Međutim, individualno su razlike u reakcijama pojedinaca razmjerno velike uslijed čega je aparatura za elektroegzekuciju električnom stolicom bila opremljena uređajem za promjenu frekvencije. Nije isključeno da upravo zbog tih individualnih razlika, neke države preferiraju egzekuciju u plinskoj komori.

Za razliku od struja »niskih tehničkih frekvencija«, koje se svakodnevno upotrebljavaju i koje predstavljaju veliku opasnost, struje veoma visokih frekvencija ne izazivaju štetne posljedice, izuzev »skin efekta« kad struja prolazi površinom kože koju isprži. Razloge nedužnosti visokofrekventnih struja treba tražiti u vremenu trajanja jedne poluperiode koje je tako kratko da stanični ioni uopće ne napuštaju stanicu, te ne može nastati ni promjena njihove koncentracije. Na tom su principu izgrađeni dijatermijski aparati za grijanje.

#### RAZLIKE TJELESNIH OŠTEĆENJA USLIJED ELEKTRIČNOG UDARA

Tjelesna oštećenja uslijed udara električne struje podijelili smo iz sistematsko-didaktičkih razloga u dvije krajnosti.

Prvo su biljezi od struje koji nastaju na koži ili eksponiranoj sluznici na mjestu gdje je došlo do kontakta s električnom energijom. Takvi biljezi su u stvari opekotine od I do IV stupnja, najčešće površne i obično karakteristične po svom izgledu kao i histološkoj morfologiji. Drugo su pretežno teški i nerijetko smrtni slučajevi koji su praktički uvijek vezani za elektrotermička i elektrospecifična oštećenja srca sa slikom akutnog infarkta ili momentalnog srčanog aresta,



a tek iznimno, uz tetaničku kontrakciju respiratorne muskulature, s nemogućnošću disanja ili uz paralizu vitalnih centara u mozgu. Između tih dviju proizvoljno izabranih determinanata nalazi se golem broj svih mogućih oštećenja koja su prvenstveno vezana za pojam termičkih, a ne specifičnih električnih oštećenja. Drugim riječima, bilo bi korisno za praktične i naučne svrhe izvršiti sistematizaciju fizičkih i fizioloških, dakle, organskih i funkcionalnih oštećenja, kod čega će posljednja igrati, izuzev naglih letalnih konzekvenca, podređenu ulogu.<sup>3 8</sup>

Dvije determinante, između kojih se nalazi niz oštećenja, razlikuju se dakle principijelno, jer dok u prvom slučaju oštećuje organizam toplina (Joulova toplina), dotle u drugoj krajnosti nastupa smrt zbog pretežno specifičnih električnih oštećenja pri čemu je promjena koncentracije iona u stanicama srca ili mozga izazvala u prvom primjeru interferenciju s fiziološkim akcionim strujama, a u drugom primjeru tetanički grč respiratorne muskulature ili paralizu vitalnih centara. Zbog toga će u prvom slučaju nastati arest, dok će u drugom, što je izuzetno rijetko, nastupiti nemogućnost disanja ili odsustvo vitalnih impulsa.

Razne destrukcije mogu se očitovati na koži, ali i na svim ostalim unutarnjim organima i organskim sistemima, te u pojedinim prilikama neće biti pošteđene ni kosti sa svojim milijunski omskim otporom, niti dobro skriveni plod u majčinoj utrobi.

Kako u praktičnom životu izgleda ta prijetnja koju poznajemo pod imenom električne struje, prikazuju brojni podaci s raznih traumatoloških odjela širom svijeta, koji u mnogome odgovaraju iskustvima Traumatološkog odjela Kliničke bolnice »Braća dr Sobol« u Rijeci. Pritom treba odmah naglasiti da velik broj onih koji su doživjeli električni udar ne traže nikakvu liječniku pomoć. Taj detalj je svakako vezan za ljudsko neznanje, jer se pojedini simptomi mogu javiti naknadno.

#### OŠTEĆENJA JOULOVOM TOPLINOM (ELEKTROTERMIJSKA OŠTEĆENJA)

Električni biljezi se razlikuju graduelno od električnih opekotina. Na onome mjestu gdje električna energija kontaktira s čovjekovim organizmom, nastupit će ovisno o otporu i širini kontaktne plohe, kao i o jakosti struje, veće ili manje oštećenje koje najčešće iz razloga sistematizacije nazivamo biljegom. Električni biljezi obično nisu duboki. Oni imaju svoju morfologiju. Kako mala djeca dospiju katkada u kontakt s vodičima električne energije preko usta, to će tek manje opekotine zadržati ovo posebno ime.

Za kožne električne biljege je karakterističan suhi izgled lezije, palisadno izduženi oblik stanica i njihovih jezgara, vakuolarne formacije u epidermisu i nerijetko prisutnost metalnih čestica željeza ili bakra uslijed isparavanja i difuzije me-

tala, što je izuzetno interesantno sa stajališta sudske medicine. Što se kirurgije tiče, to treba električne biljege tretirati slično kao što se tretiraju i opsežnije površne ili duboke opekotine.

Veće opekotine nastaju najčešće kad veće površine tijela dođu u kontakt s električnom energijom. Katkada su to velike i duboke, čak i pougljenjene, površine koje, ovisno o mjestu, mogu izazvati uz šok još cijeli niz naknadnih teških posljedica. Pri tome treba u prvom redu pomisliti na dobre vodiče električne struje koje predstavlja ju krvne žile i živci.

Prejaki porast topline može, nadalje, izazvati dinamička oštećenja kao i pojavu prejakih magnetskih polja. Pri tako rapidnom razvijanju topline pojavljuje se ključanje tekućine tkiva koja se naglo isparuje. Nastupa eksplozivno razaranje tkiva, otrgnuće zglobova kao i eksplozivni efekti u endokraniju i prsištu. Slična trganja ili luksacije mogu nastati uslijed elektrodinamskih djelovanja kad se uspostavi magnetsko polje između dva ekstremiteta ili vodiča i dijela organizma, te nastaju destrukcije u smislu luksacija, trganja ekstremiteta, a opisan je i jedan bizaran primjer dekapitacije.<sup>4 9 10</sup>

Kod elektrotermijskih oštećenja ima, uz jakost struje, sudbonosnu ulogu električni otpor tkiva. Dok vlažna tanka koža može imati otpor od svega 500 oma, dotle žuljevita i suha šaka s jakim keratinskim slojem može imati otpor od preko 100000 oma. Ako se još uzme u obzir vrijeme protjecanja struje, to se uz pomoć Joulove jednadžbe lako može izračunati količina kalorija koja na pojedinim mjestima djeluje na čovjekov organizam. Joulova toplina Q mjeri se u kalorijama, prema jednadžbi:

$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t_{cal}$$

Zaključak je jasan: količina topline je proporcionalna kvadratu jakosti struje, te će 2 puta jača struja izazvati, uz iste uvjete, 4 puta veće toplinske efekte, a time i oštećenja.

Iz iste jednadžbe dade se zaključiti da će elektrotermička oštećenja biti najjača na graničnim plohama prelaznog omskog otpora gdje je on najveći. Tu spadaju koža, fascija, pleura parietalis, visceralis, zglobna površina, vanjske i unutarnje plohe srčanih ventrikula itd.<sup>3</sup> Morfološke se promjene kreću od eritema, pa do karbonizacije, a zbog autolize koja je prisutna u svim tkivima, nastaje na kostima »kalcinacija« (nestanak organskog matriksa).

Bez obzira na mogućnosti teških šokantnih stanja koja mogu biti izazvana opsežnim opekotinama, elektrotermijska oštećenja mogu izazvati dvije vrlo nepovoljne komplikacije. Prva se odnosi na oslobađanje velikih količina kiselog pigmenta mioglobina koji može oštetiti ekskretorni aparat bubrega, a druga na oštećenja dobrih vodiča električne energije, tj. na krvne žile. Oštećena je medi-

ja uz zbijanje elastičnih vlakana u obliku zavoja vadičepa, adventicija uz krvarenja, a intima se ljušti i nekrotizira sondirajući teren za pojavu hijalinih i crvenih tromba. Ishemičke će nekroze zahvatiti katkada područja koja uopće nisu ležala na putu električne struje.<sup>2,3,11</sup>

Na ostalim unutarnjim, kao i na nekim osjetnim, organima može nastati cijeli niz promjena koje su studirane bilo po naknadnim ispadima funkcija, bilo prigodom autopsija. Nema sumnje da naknadne psihičke promjene, smetnje vida, sluha i vestibularnog aparata treba pripisati grupi mogućih trajnih invalidnosti. Isto vrijedi za oštećenja jetre s kliničkom slikom »virusnog hepatitisa« kao i za oštećenje crijeva, jer je opisan čak jedan slučaj indicirane resekcije zbog crijevne infarkcije i gangrene.<sup>12</sup>

Prema tome, svaki tretman električnog udara mora biti strogo ekspertativan i konzilijaran, a svaka brzopletost u tom pogledu dokazuje istovremeno nepoznavanje osnovnih činjenica. Tako je, npr., interesantno da neki autori opisuju da je dijete u majčinoj utrobi razmjerno zaštićeno od električnog udara što ne može odgovarati činjeničnom stanju, jer uterus sadrži mnogo proširenih krvnih žila, a plodna je voda odličan vodič električne struje.<sup>5,12</sup>

#### SPECIFIČNA OŠTEĆENJA ELEKTRIČNOM STRUJOM

Treba ponovno naglasiti da su mogućnosti oštećenja srca električnom strujom specifična oštećenja koja je korisno zasebno proanalizirati. Takva oštećenja su moguća i na mozgu, no ona nisu u centru naših izlaganja. Neki su autori pronašli određene histološke promjene na srcu nakon električnog udara koje su nazvali »specifičnim«, drugi su ih pripisali djelovanju Joulove topline. Iz tih kontroverznih stajališta može se izvesti, za praktične svrhe, jednostavna dedukcija, tj. da djelovanje električne struje na srce, a također i na neka ostala tkiva, može biti dvostruko.

U svakom živom organizmu nalazi se tekućina, a u njoj električki nabijene čestice, tj. ioni. Ako dvije točke živog organizma dođu pod utjecaj električnog napona, početak će se ioni tog prostora gibati. Električna će struja proteći kroz organizam. Gibanje iona, što je adekvatan naziv za električnu struju u organizmu, može ovisno o svom intenzitetu izazvati različite posljedice ili funkcionalna oštećenja među koja se može uvrstiti srčani arrest i fibrilacija ventrikula sa smrtnim ishodom. Ako je, dakle, organizam došao pod utjecaj prevelikoga napona, javit će se u njemu jake električne struje ili takvo gibanje iona da će doći do promjene sadržaja iona u pojedinim stanicama. I dok ostala tkiva neće zbog tih promjena pokazivati odstupanja, to će se u suptilnom provodnom aparatu srca odigrati one promjene koje najzad mogu završiti smrtnim ishodom.<sup>7</sup>

U grupu specifičnih električnih djelovanja spada i promjena koncentracije iona u nervnim vlaknima. Informacije koje organizam dobiva putem nervnog sistema vrše se po vrlo složenom elektrokemijskom principu. Ovdje igraju važnu ulogu tzv. bio-struje, odnosno bio-potencijali veoma malih intenziteta. I do ovih struja, odnosno do promjena bio-potencijala, dolazi uslijed gibanja električki nabijenih čestica ili iona. Kod svakog ovakvog gibanja pojavljuje se i promjena koncentracije iona u pojedinim stanicama nervnog sistema. Ove promjene u fiziološkim uvjetima dirigiraju rad pojedinih organa.

Struje iz vanjskih izvora, koje prolaze kroz neke dijelove nervnog sistema, izazivaju također promjene u koncentraciji iona u njihovim stanicama. Posve je razumljivo da takve struje mogu izazvati, uz poželjne, i vrlo nepovoljne posljedice koje se očituju u pokretima, grčevima, nesvjestici, paralizama, narkozi, fibrilacijama, psihotičkim stanjima, oštećenjima osjetnih organa itd.

Kako se odnose pojedini stupnjevi jakosti struje prema mišićnim kontrakcijama, kontrakcijama krvnih žila, mozgu, a pogotovu prema srcu, može se uočiti pomoću Koeppenove skale koja je praktički prihvaćena u cijelom svijetu, ne samo za potrebe klinike, već također i tanatologije.<sup>3,11</sup> Ta skala se može za praktične svrhe modificirati, što je učinjeno na sl. 2. Koeppen je svoju podjelu, s obzirom na jakost i napon struje uz frekvencu od 50 Hz, podijelio u četiri grupe. U prvoj grupi koja je označena do 25 mA postoje mogućnosti smetnja u perifernom nervnom sustavu što se očituje nemogućnošću da se otpusti kontakt iz ruke.

U drugoj grupi jakosti struje do 80 mA može, uz porast tlaka i nesvjesticu, nastupiti čak i reverzibilni srčani arrest.

Treća je grupa vrlo delikatna, a obuhvaća jakost struje od 80 mA-4A. U toj grupi se javlja najveći broj smrtnih slučajeva uslijed oštećenja srca.

U četvrtoj grupi od 4—8A nalazimo sve potencirane simptome iz II grupe uz sve jače termoelektrične efekte.

Općenito je prihvaćeno da izmjenična struja prolazeći kroz ljudski organizam uvijek u određenom smislu atakira srce. Spomenuti vanjski i unutarnji faktori, kao i patofiziološka zbivanja u atakiranim tkivima, determinirat će stupanj organskih oštećenja.<sup>13</sup>

Proučavanje elektrokardiografskih krivulja neposredno i nakon udara električne struje pokazalo je u mnogim primjerima izrazita odstupanja od normale. Tako je npr. Weissel pronašao, nakon djelovanja električne struje visokog napona kao i kod preživjelih od udara groma, razmjerno često podignuti ST interval na koji se nadovezao šiljati negativni T uz nerijetku kombinaciju s produljenim trajanjem Q—T. Lepeschkin smatra ove promjene uvjetovanima mjestimičnim



oštećenjima uslijed topline koja se oslobađa zbog velikog prelaznog otpora u području kojim protječe električna struja. Ova gledišta razjasnio je Fischer svojim nalazima pri čemu je utvrdio da kod djelovanja struja visokog napona samo rijetko nastupa srčana fibrilacija, a ako se ona javi, tada je to isto kao i kod srčanog infarkta. Prema tome, i treperenje komora i pretkomora nastupa češće u zoni jakosti električne struje od 80 mA do 4A, nakon čega prevladavaju termoelektrični efekti. Ove činjenice odgovaraju stavovima *Boemke*, *Pirotha*, *Kleina*, *Koepfena* i *Zemana* koji na velikom broju obdukcija leševa s primarnim arestom ili fibrilacijom nisu našli na srcu neki karakteristični nalaz koji bi ukazivao na djelovanje električne struje.<sup>5 14</sup>

Bez obzira na cijeli niz daljnjih pojedinosti koje prelaze u područje interne medicine i specijalne tanatologije čini se da je najprihvatljiviji stav *Koepfena* koji smatra da klinička slika električnog udara, kojim je zahvaćeno i srce, pokazuje dva oblika. Prvo je funkcionalna, a drugo organska slika *Angine pectoris electricae*. Istu podiobu prihvaćaju mnogi autori. Teškoće koje navode pacijenti kao simptomi su oba slučaja iste. Najčešće su psihičke operacije u vladanju praćene strahom, bolno uzdisanje uz sklonost pretjerivanju. Napadi grčeva kao i trzaji su česta pojava, te pobuđuju sumnju na simulaciju. Unesrećeni su obično nemirni, teško dišu, navode da su im grudi sapete, da imaju osjećaj gušenja, da osjećaju bolove u srcu i palpitacije.<sup>15</sup> Strujni biljezi mogu biti prisutni, ali i neprimjetni. Nekada su prisutne teške opekotine, mehaničke ozljede i druga elektrotermijska i elektrodinamska oštećenja, te su pred terapeutom teški polimorfotraumatizirani bolesnici, u kojih su čak i postojeće srčane smetnje zbog opsežnih traumatskih vidljivih destruktija, indirektno potisnute u pozadinu. Ipak informirani terapeut neće nikad zaboraviti na iznesene mogućnosti. Bude li srce funkcionalno oštećeno, to će normalizacija nastupiti najčešće brzo, a tek iznimno nakon nekoliko tjedana, dok će se kod organskih oštećenja srca zadržati promjene nalik postinfarktnom stanju.

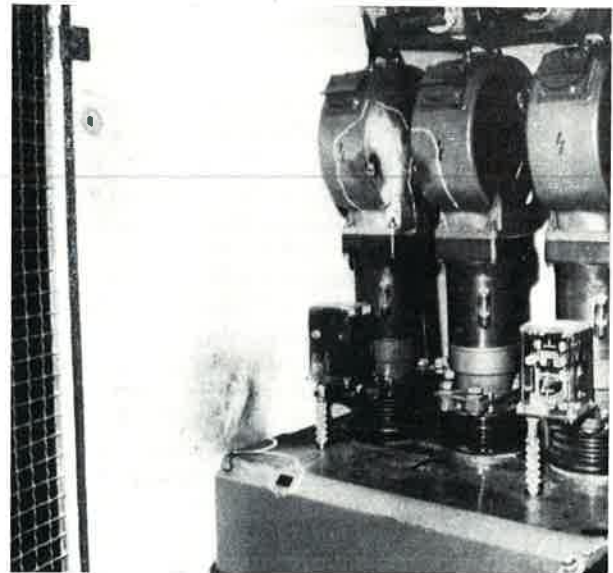
#### NEKI STATISTIČKI PODACI I KOMPARATIVNE ANALIZE

Prema statistici *Hollea* bilježi se u Zapadnoj Njemačkoj godišnje oko 2500 ozljeda u vezi s električnim udarima, od čega 150 završava smrtno. Kad je na drugom mjestu prostudiran taj specifični traumatizam u grupi fino i elektro-mehaničara, zaposlenih u elektrotehničkim industrijama, uspjelo je *Lobu* utvrditi za *Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik Braunschweig* da od svih trauma 1,34% otpada na električne udare. Dok je ukupni letalitet svih registriranih trauma radnika zaposlenih u tim djelatnostima iznosio 0,56%, broj smrtnih slučajeva zbog električnog udara kretao se oko 7,3%.<sup>17</sup> Kad smo pokušali usporediti naše podatke iz pro-

teklih 28 godina, koji su se odnosili na sve registrirane slučajeve električnog udara u Bolnici »Braće dr Sobol« u Rijeci, mogli smo od 165 traumatiziranih s uputnim dijagnozama *ictus electricus* izdvojiti 19 smrtnih ishoda, što iznosi više od 11%. Posve je razumljivo da je broj tih specifičnih trauma bio veći, samo mnoge vjerojatno nisu ni bile registrirane ili su bile ambulantno zbrinute. Od spomenutih 19 letalnih ishoda, 13 je bilo dopremljeno mrtvih, a 6 ih je umrlo u bolnici. U dva slučaja morali smo amputirati ruke, u 12 slučajeva pojedine dijelove šake, dok su trojica nakon pada s dalekovoda zadobila komplicirane prijelome donjih ekstremiteta.

Kad smo pokušali srediti sve dostupne podatke, konstatirali smo da su u 96 slučajeva bili zabilježeni strujni biljezi, 31 put su zavedene u protokole lakše kombustije, a u 19 slučajeva teške opekotine. Samo u 18 bolesnika pronašli smo priložene elektrokardiografske nalaze. Kod jednog bolesnika, koji je dospio u strujni krug prigodom rada u tvornici oko glavne energetske sklopke visokog napona od 35000 V, pronašli smo uz karbonificiranu podlakticu i teške mišićne defekte na nozi uz srčane i cerebralne lezije. Mjesto gdje se odigrao električni udar prikazano je na sl. 3.

Slika 3



Izgled mjesta na kojem je jedan kvalificirani radnik prigodom rada dospio pod udar električne struje visokog napona. Na samoj sklopki i na zidu vide se tragovi električnog luka.

*Wechselberger* bilježi u nizu svojih opažanja nekoliko dragocjenih podataka kojima odgovaraju naša iskustva. On je kao traumatolog prihvatio mjesto šefa stanice hitne pomoći ujedinenih austrijskih tvornica željeza i čelika u Linzu, koje kao firma *Vöst* zapošljavaju 20000 radnika. Tamošnji su radnici, do trenutka njegovih studijskih ispitivanja, smatrali kao oštećenje od električne struje, odbivši dramske i smrtne slučajeve, samo opekotine.<sup>16</sup>

Općenito je prošireno takvo mišljenje ne samo u kvalificiranih električara, koji se katkada hvale svojom otpornošću, već i u ostalog pučanstva, pa čak i nekih liječnika koji nisu dovoljno educirani, te smatraju da pojedini »blagi udarci« ne izazivaju nikakva oštećenja na srcu ili krvotoku. Ovo gledište je nekorektno, te može rezultirati veoma neprijatno ne samo za traumatiziranog i za njegovog liječnika, već također i za nosioce zdravstvenog osiguranja, jer se mogu pojedinci s izrazitim zakašnjenjem i manjkavom dokumentacijom prijaviti za priznavanje tjelesnog oštećenja, koje može katkada i komisijski biti stavljeno pod znak pitanja.<sup>16</sup> Prema tome, sve slične incidente treba shvatiti odmah veoma ozbiljno i imedijatno učiniti EKG, nakon čega se pacijent prepušta onoj stručnoj ekipi koja se tom problematikom bavi.

#### KLINIČKA SLIKA TEŠKOG ELEKTRIČNOG UDARA

Opsežna razaranja tkiva i funkcionalne specifičnosti nakon elektrotermijskih, elektrospecifičnih, elektrodinamskih i ostalih mehaničkih dezintegracija, praćena su kliničkom slikom koja umnogome naliči posttraumatskoj bolesti kod opekotina, te je neki autori dijele u 4 stadija:

- I stadij šoka (specifičnost)
- II stadij hipovolemičkog šoka
- III stadij intoksikacije
- IV reparaciona faza.

U prvom stadiju slikom dominira posljedica specifičnog električnog djelovanja koje se očituje bilo u pogledu rada srca, disanja ili centralnog nervnog sustava. Tu je i razlog visokom mortalitetu koji u većini statistika iznosi oko 50% iz I stadija.

Ne nastupi li oštećenje centara, iz I faze »specifičnog« šoka, tada će nastupiti slika uobičajenog šoka zbog opsežnih opekotina. Međutim, i tada se mora dalje misliti na samu specifičnu leziju, jer, izuzev dubine destrukcija, igraju u takvim stanjima bitnu ulogu nagomilani kiseli mioglobin i nerijetko oštećenje pojedinih dovodnih krvnih žila s naknadnim infarkcijama. Preživjeli su najčešće tijekom stanovitog vremena u nesvijesti uz retrogradnu amneziju. Ne postoje li zapreke za normalne ventrikularne kontrakcije, to će krvni pritisak biti najčešće povišen zbog povišenog otpora u periferiji.<sup>17</sup> Prvi stadij šoka se nastavlja u hipovolemički šok s jakom redukcijom krvnog volumena i naglašenim gubitkom natrija uslijed patološke eksudacije na opečenim površinama i u njihovoj okolini.

Ova druga faza se najčešće već nakon 48 sati nastavlja u treći stadij, stadij intoksikacije, što mnogi autori radije nazivaju »opekotinskom bolešću« u užem smislu riječi ili »Verbrennungskrankheit« u njemačkih autora. Smanjena perfuzija tkiva iz druge faze ovdje dobija nove dodatke zbog oštećenja krvnih žila i korpuskularnih elemenata krvi, oteklina su izrazite zbog čega su

opečene plohe i njihova okolica voluminozniji. Proteolitska razgradnja je dostigla svoj vrhunac, javljaju se znaci nefrotoksičnosti što će u slučajevima nedovoljne supstitucione terapije dovesti do ireverzibilne slike. U daljnjoj reparacionoj fazi treba pratiti progredijenciju tromboza s razaranjem pojedinih, najčešće mišićnih, partija.<sup>14</sup> Sannatio per secundam bez ozbiljnih kirurških zahvata može se očekivati samo u slučajevima površnih opekotina. Javi li se, međutim, tendenca bržoj sanaciji, to treba i nadalje očekivati ispade sa strane mozga, perifernih nerava i srca.<sup>17</sup>

#### PATOLOŠKO-ANATOMSKI NALAZI PRILIKOM OBDUKCIJE USMRĆENIH USLIJED ELEKTRIČNOG UDARA

Velik broj obdukcija žrtava električnog udara pokazuje u novije vrijeme sve više odstupanja od ranijih nalaza kojima je glavne patohistološke karakteristike dao Jellinek.<sup>18</sup> Uz nekrozu i intersticijalni edem miokarda, on je pronašao cijeli niz promjena u jezgrama i fibrilama, koje Boemke i Piroth ne smatraju specifičnim oštećenjem uslijed djelovanja električne energije.<sup>5</sup> Moglo bi se, dakle, reći da nema ni specifičnih električnih ni specifičnih termičkih oštećenja.

Karakterističan je jedino makroskopski izgled lešine uslijed udara električne struje. Sve vene od najmanjih perifernih, pa sve do velikih šupljih vena, mozgovnih sinusa i desne pretkomore, ispunjene su krvlju. Desna je pretkomora proširena, koronarne žile su poput anatomskeg preparata prepunjene krvlju, a komore su prazne ili sadrže tek malo tekuće krvi. Na mozgovnim opnama, u jetri, bubregu i mozgu zapaža se hiperemija. Neki su je našli također u slezeni, za koju drugi autori ističu da je obično blijeda. Na seroznim opnama nalaze se sitna krvarenja.<sup>18</sup> Na samim krvnim žilama srca nisu zapažene promjene koje bi mogle objasniti termičke lezije miokarda. Vrlo je prihvatljivo mišljenje da je zbog srčane insuficijencije nakon udara električne struje došlo i do prepunjenja i do povećanog pritiska u cjelokupnom venoznom sistemu.<sup>2 19</sup>

Krvarenja na seroznim opnama, kao i na perikardu i endokardu, a možda i na miokardu, treba također dovesti u vezu s venoznim zastojem. Mikroskopski opisano olabavljenje, trganje i fragmentacija miokarda uz vakuolizaciju, te izmijenjeno vladanje jezgara miokarda prema bojanju, spadat će najvjerojatnije u postmortalne promjene.<sup>3</sup>

#### TERAPIJA U SLUČAJEVIMA ELEKTRIČNOG UDARA

Nakon nasilnog i razumnog prekidanja veze nesrećenog s električnim instalacijama, ako one sviještene ne diše, terapija započinje najčešće disanjem usta na usta i masažom srca. Ova hitna pomoć na licu mjesta nastavlja se u transportu. Wechselberger u Linzu raspolaže kolima hitne pomoći u kojima je defibrilator neovisan od grad-



ske mreže, elektrokardiograf, respirator i svi ostali pomoćni reanimatorski i kirurški uređaji.

On je u mogućnosti da na licu mjesta uzme EKG, što smatra neobično važnim. Moguće su najispravnije direktive za uobičajeni transport da se unesrećenog zagrije, da mu se, ako dođe k svijesti, dade što prije neka alkalična otopina, da ga se položi u »šok-položaj« u smislu autotransfuzije, da se eventualno aplicira infuzija u transportu, da se aseptički postupi bez skidanja odijela s opekotina i da se veća krvarenja sterilno i solidno tamponiraju. Nakon transporta slijedi uobičajena stručna kirurška pomoć.

Laboratorijski nalazi, EKG i EEG moraju se u bolničkim ustanovama osobito striktno procijeniti.<sup>16</sup> Piogene, putridne infekcije, kao i tetanus i plinsku gangrenu, treba prevenirati. Uz antibiotike i inaktivatore proteolitičkih fermentata, dolaze u obzir kortizonski preparati, dok antikoagulanciju treba izbjegavati. Dovod tekućine i suzbijanje acidoze su izuzetno važni.

Možda je električni udar jedinstveni primjer koji ukazuje na potrebu solidne edukacije svih zdravstvenih profila. Kod toga treba znati da su šanse za oživljavanje u prve 3 minute 75%, nakon 4 minute 50%, nakon 5 minuta 25%, a već nakon 8 minuta nikakve. Usprkos svemu, sve raspoložive metode reanimacije moraju se provoditi 1 sat.<sup>20</sup>

#### ZAKLJUČAK

Udar električne struje predstavlja razmjerno rijedak traumatski udes. Male povrede u obliku strujnih biljega ne smiju se podcijeniti, jer čim je organizam dospio u strujni krug, moguće su i skrivene lezije na koje će sumnjati jedino onaj liječnik koji tu problematiku poznaje. Ozbiljnija tjelesna oštećenja u obliku opsežnih opekotina, pa čak i trganja ekstremiteta, srčani arrest, centralna oštećenja, kao i naknadna pojava kvadruplegije, predstavljaju katkada bizarne slike politraumatizma.<sup>21</sup>

Mada se oštećenja organizma električnom strujom mogu različito vrednovati, ipak će srce uvijek zadržati centralno mjesto kao najosjetljiviji organ. Tajna leži u tome što su njegove pravilne akcije uvjetovane vlastitim strujama ili gibanjima poremećene uslijed novih vanjskih električnih impulsa koji, ovisno o jakosti i frekvenciji električne struje, izazivaju manja ili veća oštećenja funkcionalne ili anatomske prirode. Konzekventno današnjim shvaćanjima o kriznim situacijama treba orijentirati i prvu i naknadnu specijalističku pomoć.

#### SUMMARY

##### HUMAN BODY IMPAIRMENT BY ELECTRICITY

N. Korin, A. Steiner

From Clinic of Surgery, Clin. Hosp. «Braća dr Sobol» and Institute for Physics, Medical Faculty, Univ. Rijeka

The electric accident appears to be a fairly rare traumatic case. Small injuries in shapes of electric accident signs should not be underestimated. As soon

as the body got involved in electric circuit latent lesions are likely to be suspected only by a physician who is well acquainted with the problem. More serious impairments in the form of more spacious burns and even tearing off the extremities, heart failure, central damages as well as later appearance of quadriplegia are sometimes the bizarre picture of the polytraumatism.<sup>21</sup>

Although the impairments of the body might be classified under various chapters, the heart will always nevertheless retain the central part as the most vulnerable (exposed) organ. The secret lies in the fact that its regular actions depend on its own current or movements disturbed by new exterior electric impulses which — subject to their strength and frequency of electricity — cause either smaller or bigger impairments of either functional or anatomic nature. Consequently keeping in line with the modern concepts of treating critical situations, the first additional specialistic aid should be oriented.

#### LITERATURA

1. Simonin, C.: *Medicine du travail*, Maloine, Paris, 1950.
2. Fischer, H., Spann, W.: *Pathologie des Trauma*, Bergmann, München, 1967.
3. Koeppen, S.: *Gesundheitsschäden durch elektrischen Strom*, Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, II/2, Urban & Schwarzenberg, Berlin München Wien, 1961.
4. Brown, K. L., Moritz, A. R.: *Electrical Injuries*, J. Trauma, 4:608, 1964.
5. Boemko, Fr., Piroth, M.: *Zur Pathologie des elektrischen Stromtodes*, Frankf. Z. Path., 70:1, 1959.
6. Jellinek, St.: *Elektrische Verletzungen*, Münch. med. Wsch., 76:1474, 1934.
7. Jellinek, St.: *Der elektrische Unfall*, Barth, Leipzig Wien, 1925.
8. Koelsch, F.: *Handbuch der Berufskrankheiten*, Fischer, Jena, 1935.
9. Fischer, H.: *Einige neue Erkenntnisse zur Pathologie und Therapie des Elektrischen Unfalls*, Aertzl. Dienst Dtsch. Bundesbahn, 12:1, 1951.
10. Sipos, J.: *Luxationsfraktur des anatomischen Oberarmhalses durch Strom*, Zbl. Chir., 81:2304, 1956.
11. Zeman, W.: *Elektrische Schädigungen und Veränderungen durch ionisierende Strahlen*, Handb. spez. path. Anat. u. Hist. XIII, 3:327, Springer, Berlin, Göttingen Heidelberg, 1955.
12. Almgard, L. E. i sur.: *Electric Burns of the Abdomen*, Acta Chir. Scand. 130:550, 1965.
13. Koeppen, S., Panse, F.: *Klinische Elektropathologie*, Thieme, Stuttgart, 1955.
14. Niedner, F.: *Die Chirurgie des Herzens und der grossen Gefässe*, Klinische Chirurgie für die Praxis, Diebold—Junghanns—Zukschwerdt, II:919, Thieme Stuttgart, 1963.
15. Koeppen, S.: *Elektrischer Unfall—Erkrankungen des Nervensystems und der inneren Organe*, Handbuch der gesamten Unfallheilkunde, I:171, Enke, Stuttgart, 1955.
16. Wechselberger, Fr.: *Erste Hilfe bei Unfällen durch elektrischen Strom*, Arbeitsmedizin Sozialmedizin Arbeitshygiene, Sonderdruck, 11:384, 1967.
17. Bottger, L., Gerlach, H., Gieseler, K. etr.: *Traumatologie in der chirurgischen Praxis*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1965.
18. Palmović, V.: *Električni udar*, Medic. enciklopedija, 3:492, Leksik. zavod, Zagreb, 1959.
19. Lange, F., Bauer, E.: *Über Elektrounfälle*, Helv. Chir. Acta, 27:316, 1960.
20. Fischer, H., Frochlicher, R.: *Fortschritte in der Behandlung schwerer und schwerster Hochspannungsunfälle*, Thieme, Stuttgart, 1951.
21. Jackson, F. E.: *Delayed Quadriplegia Following Electrical Burn*, Military Medicine 130:601, 1965. *Medicina*, 12:57, 1975.