proLékaře.cz | 24.9.2026

Problematika úrazů elektrickým proudem v soudně lékařské praxi. Úvodní, teoretická část

Markéta Kulvajtová[1], Radoslav Matěj[2], Jiří Hladík[1]

[1] Ústav soudního lékařství 3. LF a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha
[2] Ústav patologie 3. LF UK a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha a Ústav patologie a molekulární medicíny 3. LF UK a Thomayerovy nemocnice, Praha

SOUHRN

Autoři shrnují současný stav poznání problematiky úrazů elektrickým proudem v rámci praxe soudního lékaře, na kterou je nahlíženo jak z hlediska patofyziologického se zaměřením zejména na poškození kardiovaskulárního systému, tak z hlediska diagnostického s důrazem na možnosti nejen makroskopické, ale zejména mikroskopické diagnostiky této minoritní skupiny traumat.

Klíčová slova: úraz elektrickým proudem – účinky na organismus – diagnostika poškození

Issues of electric shock in forensic medical practice

SUMMARY

The authors summarize the current state of knowledge of electric shock as a minority group of injuries in forensic practice. Initially, they deal with electric current as a physical quantity and its effect on the human body, how it enters and moves in the body, which tissues due to their electrical activity and properties are the best conductors and which, on the contrary, due to their high resistance, practically do not conduct current. Subsequently, different pathways of current passage through the body are mentioned, leading to different types of damage, the most serious of which appears to be damage to the cardiovascular system, which can lead to immediate death due to disturbed heart rhythm with subsequent arrest, but is also likely to leave permanent effects leading to late health complications. The effect of electric current at the cellular level is demonstrated in experimental animal models exposed to both low- and high-voltage electric current, with damage described not only at the site of entry but also by microscopic examination in organs distant from the site of direct electric current. Since the effect of electric current on the organism is not fully understood and experimental studies have produced results indicating damage mainly to the cardiovascular system, this opens up certain possibilities for improving not only the diagnosis of deaths due to electric shock but also the follow-up care of patients who survive these injuries.

Keywords: electrocution – effects on the body – diagnosis of damage

Soud Lek 2023; 68(2): 12–14

Úmrtí po zásahu elektrickým proudem nejsou v soudně lékařské praxi nálezem častým, zpravidla na pracoviště připadají jednotky případů ročně. Dle dat Ústavu zdravotních informací a statistiky v roce 2021 došlo v rámci ČR celkem k 395 úrazům elektrickým proudem, z tohoto počtu bylo 16 smrtelných. Diagnostika může být snadná za předpokladu přítomnosti proudové známky a znalosti okolností úmrtí, avšak v případě absence stop účinku elektrického proudu na těle je vlastní pitevní nález zcela nespecifický a určení příčiny smrti tak může být velmi nesnadné. Vzhledem k vlastnostem elektrického proudu a způsobu jeho průchodu tělem je předpoklad, že v případě zasažení dojde k poškození struktur, které jsou v bezprostředním kontaktu s proudem. Průkaz těchto změn za použití pomocných vyšetřovacích metod, jako je histologie, imunohistochemie apod., by mohl přispět k správné a přesné diagnostice tohoto typu úmrtí.

✉ ***Adresa pro korespondenci:***
MUDr. Markéta Kulvajtová
Ústav soudního lékařství 3. LF a FNKV
Šrobárova 50, 100 00 Praha 10
tel.: 267 163 572
e-mail: marketa.kulvajtova@fnkv.cz

Received: September 10, 2022
Accepted: January 30, 2023

ELEKTRICKÝ PROUD JAKO FYZIKÁLNÍ VELIČINA

Elektrický proud je usměrněný pohyb volných částic s elektrickým nábojem (elektronů a iontů). Jeho účinek na lidské tělo je dán elektrickými vlastnostmi tkání, jde o tzv. pasivní elektrické vlastnosti, tj. chování v elektrickém poli, a aktivní elektrické vlastnosti určitých tkání s elektrickými jevy na membránách excitabilních buněk (nervových a svalových).

Do organismu proud vstupuje přes kůži, eventuálně sliznici, cestou nejmenšího odporu např. přes vlasové folikuly a vývody potních žláz. V těle prochází skrze buňky a mezibuněčný prostor, které vzhledem k různé struktuře a chemickému složení mají také různou měrnou elektrickou vodivost. V případě stejnosměrného proudu tak pouze 2–3 % prochází skrze buněčnou membránu, jejíž měrná vodivost je výrazně nižší než měrná vodivost mezibuněčného prostředí. To je dáno zejména tím, že mezibuněčnou a buněčnou tekutinou (cytosolem) se vedení elektrického proudu děje elektrolyticky, tj. pomocí iontů. Nejlepšími vodiči lidského těla jsou krev, mozkomíšní mok a nervy, naopak elektrický proud minimálně prochází svaly, vazivem a tukovou tkání. Elektrický odpor tkání závisí na jejich funkčním stavu, zejména na přítomnosti kyslíku, jehož nedostatek vede k vzestupu odporu. Zástava životních funkcí má za následek pokles odporu. Jeho konečná hodnota u mrtvé tkáně odpovídá řádově hodnotě elektrického odporu cytoplasmy, což svědčí pro rozpad buněčných membrán, tedy poškození buněk. V případě střídavého proudu je situace mírně odlišná, neboť se vzrůstající

proLékaře.cz | 24.9.2026

frekvencí proudu klesá elektrický odpor buněčných membrán, které se tak chovají jako určitý biologický kondenzátor. Vlastní účinek spočívá v polarizaci, neboť většina buněk lidského těla má charakter dielektrika, tzn. že náboje jsou vázány na atomy a molekuly, dipólové molekuly jsou neuspořádané a vzhledem k jejich různé orientaci se účinek jejich elektrického náboje vzájemně ruší. Vlivem průchodu elektrického proudu se však dipóly orientují a vzniká tak vnitřní elektrické pole, které má polaritu opačnou než vnější pole. Pohybem elektrických nábojů následně vzniká posuvný proud, kterým je střídavý proud převážně veden (1).

PATOFYZIOLOGIE ÚRAZU ELEKTRICKÝM PROUDEM

Poškození organismu elektrickým proudem je závislé na typu proudu, tedy zda je střídavý či stejnosměrný (bezpečná hodnota nízkofrekvenčního střídavého proudu /frekvence do 50 Hz/ je uváděna do 10 mA, zatímco u stejnosměrného proudu do 25 mA), dále na jeho velikosti, napětí, odporu v místě vstupu a dráze vedení tělem. Nebezpečí se zvyšuje za zvýšené vlhkosti, a pokud v místě dotyku těla s proudovodičem chybí izolační vrstva (např. obuv).

Nejcitlivějším orgánem je vzhledem ke své elektrické aktivitě srdeční sval. Stejnosměrný proud intenzity 80–300 mA může navodit poruchu srdečního rytmu, případně až fibrilaci, při intenzitě 0,3–3 A již hrozí smrt následkem fibrilace komor. Vzhledem k výše zmíněným vlastnostem střídavého proudu hrozí obdobné zdravotní komplikace při intenzitách zhruba třetinových. Pokud proud, ať už stejnosměrný či střídavý, přesáhne 3 A a prochází přes prodlouženou míchu, dochází k zástavě srdeční a nervové činnosti porušením center v prodloužené míše.

Důležitým faktorem je rovněž hodnota napětí. V praxi se napětí pod 1000 V nazývá nízké, od 1000 V vysoké. Napětí 220 V, které je běžné v elektrických rozvodech, navozuje fibrilaci komor, a tím bezprostředně ohrožuje na životě. U vysokého napětí není třeba ani přímého kontaktu, často vzniká elektrický oblouk o vysoké teplotě, který zároveň vede k rozsáhlým popáleninám kůže a měkkých tkání.

Dráha průchodu elektrického proudu tělem ovlivňuje, které tkáně, resp. orgány budou zasaženy. Při průchodu mezi pravou horní končetinou a pravou dolní končetinou je zpravidla zasažena bránice, hlavní dýchací sval, což může vést k její křeči a k udušení. Pokud proud prochází mezi levou horní končetinou a některou z dolních končetin nebo mezi oběma horními končetinami, hrozí výše zmíněná fibrilace komor. Pokud je místem vstupu hlava, dechová a srdeční činnost ustává poškozením center v prodloužené míše (2).

ÚČINKY PRŮCHODU ELEKTRICKÉHO PROUDU NA KARDIOVASKULÁRNÍ SYSTÉM

Při průchodu elektrického proudu srdcem dochází k poruchám srdečního rytmu, jako je sinusová tachykardie, fibrilace síní, ale také komorová tachykardie a fibrilace komor. U zásahu vysokým napětím může dojít i k okamžité asystolii. Tyto poruchy rytmu vznikají nejen časně, resp. bezprostředně po zásahu, ale u přeživších se mohou objevit i s odstupem více hodin po vlastním úrazu. Jakým způsobem dochází k těmto pozdním arytmiím, není zcela jasné. Bioptické vyšetření takto postižené srdeční svaloviny prokázalo ložiska vaziva se zvýšeným počtem transmembránových iontových pump, které by vlivem změny koncentrace iontů mohly vést ke změnám membránového potenciálu a následně poruchám srdečního rytmu ve smyslu fibrilace (3). Závažnou, případně i smrtící komplikací může být dále srdeční selhání, hemoragická perikarditida, akutní hypertenzní krize při vasospasmu apod. (4). Při průchodu elektrického proudu se dále uvolňuje teplo a toto termické působení vede k přímému poškození srdečního svalu, pravděpodobně jevem zvaným elektroporace (strukturální přeskupení či rozpad buněčné membrány při výrazném vzestupu buněčného transmembránového potenciálu vlivem účinku elektrického proudu), majícím za následek rychlou difúzní nekrózu kardiomyocytů. Elektroporace není popisována pouze u buněk srdeční svaloviny, obdobným mechanismem účinku na membránu nervových buněk je vysvětlován rychlý nástup poruchy vědomí i v případech, že prokazatelně nedošlo k zásahu elektrickým proudem do hlavy. Větší buňky bývají elektrickým proudem poškozeny více než malé. To je dáno tím, že elektrický proud malé buňky obtéká, ale většími protéká cytoplasmou. Z tohoto důvodu se poškození mechanismem elektroporace uplatňuje zejména u svalových a nervových buněk, které jsou větší (5-8).

Průchod elektrického proudu srdcem může kromě výše zmíněných akutních forem poškození vést i k pozdním následkům, a to k srdečnímu infarktu při spasmu věnčitých tepen či jejich uzávěru krevní sraženinou, s časovou prodlevou se mohou objevovat poruchy rytmu jako je sinusová bradykardie, různé formy ramínkových, sinoatriálních a atrioventrikulárních bloků apod. Důvodem mohou být změny membránového potenciálu vazivové tkáně jako reparativního procesu nekrózy srdečního svalu, vedoucí k abnormální arytmogenní aktivitě buněk (3, 9).

Poškození je možné pozorovat i v cévním systému, který je vzhledem k vysokému obsahu vody výborným vodičem elektrického proudu, toto poškození může být rovněž akcentováno přítomností compartment syndromu v rámci hlubokých popálenin, doprovázejících hlavně úraz vysokým napětím. Změny stěny tepen malého průsvitu, kterými proud vzhledem k jejich průměru protéká pomaleji a vznikající teplo tak působí na stěnu déle než u cév většího kalibru, jsou pozorovány zejména u úrazů vysokým napětím. U velkých cév hrozí riziko vzniku výdutí v důsledku poúrazové medionekrózy stěny, případně disekce, oboje s možným fatální krvácením. U malých cév naopak převládá poškození intimy s hrozící trombózou a uzávěrem průsvitu, opět s následnou nekrózou (3). Poškození endoteliálních buněk bude pravděpodobně souviset s přímým působením proudu na stěnu za vzniku pórů v jejich membránách, tzv. elektroporace, se změnou transmembránového potenciálu, jak již bylo výše zmíněno (8).

V rámci experimentálních zvířecích modelů vystavených elektrickému proudu jsou popisovány změny stěny tepen v místě proudové známky velmi krátce po inzultu, zejména ve vrstvě intimy a medie, mající charakter koagulační nekrózy, posléze se vznikem trombů a postupným formováním neointimy, které přímo svědčí pro účinek elektrického proudu na endotelové buňky v místě jeho vstupu do těla. Toto tkáňové poškození je možno imunohistochemicky detekovat za užití specifických primárních protilátek k průkazu tkáňového antigenu, v daném případě poškozených endotelových buněk (např. erg, CD 31, CD 45, HMGB 1 apod.). V blízkosti proudové známky dochází k nekróze a krvácení do svaloviny se zánětlivou buněčnou infiltrací asi 24 hodin po inzultu, přítomná nervová vlákna jsou demyelinizovaná. Na vnitřních orgánech je pozorováno edematózní prosáknutí s výrazným městnáním krve až ložiskovým krvácením, v srdečním svalu koagulační nekróza, dále vakuolární degenerace hepatocytů, která je přítomna též v proximálních tubulech ledvin (8,10-13).

PITEVNÍ NÁLEZ U SMRTELNÝCH ÚRAZŮ ELEKTRICKÝM PROUDEM

Diagnostika smrtelného úrazu elektrickým proudem je snadná v případech, kdy proud zanechá v místě vstupu do těla, event. i v místě výstupu tzv. proudovou známku, která je prakticky jediným signifikantním důkazem svědčícím pro působení elektrického proudu. Tento termickým účinkem vznikající kožní

proLékaře.cz | 24.9.2026

defekt může být variabilního vzhledu, někdy zcela nenápadný a snadno přehlédnutelný, typicky charakteru tuhého puchýře s centrální vkleslinou a bělavými okraji s červeným lemem, přičemž v závislosti na době kontaktu může dojít až k ložiskovému zuhelnatění (14). Histologickým vyšetřením je patrno protažení a pyknotický vzhled jader bazální vrstvy epidermis, zejména na periferii defektu, může být přítomna až částečná ztráta epidermis a dermo epidermální separace (tzv. voštinovitá struktura) s koagulační nekrózou (15,16). V důsledku elektrolýzy může být makroskopicky patrna metalizace, tj. depozita kovového materiálu z vodiče uvolněná do tkání při toku elektrického proudu, která lze případně prokázat i pomocí chemického (aplikací kyseliny dusičné či chlorovodíkové spolu se specifickými reagencii do místa proudové známky), imunohistochemického, resp. histochemického vyšetření (průkaz přítomnosti na základě reakce antigenu s protilátkou, resp. enzymatické aktivity - např. průkaz železa pomocí Berlínské modři, tzv. Perlsova reakce, či reakcí s Turnbullblue) a spektrografického vyšetření (17). V některých případech k vytvoření proudových známek nedochází, např. při zásahu elektrickým proudem ve vaně či obecně ve vodním prostředí, kdy je plocha vstupu velká a odpor kůže vlivem vlhka výrazně snížen. Někdy bývá patrna pouze lineární známka na rozhraní vodního prostředí a vzduchu (18).

Samotný makroskopický pitevní nález je v případě absence proudových známek zcela necharakteristický, vyskytující se i u jiných typů úmrtí, včetně smrti přirozené; přítomny jsou obecné známky dušení, tj. otok mozku, otok plic, akutní překrvení orgánů, tečkovité krevními výronky pod serózními blanami atd. (14).

Mikroskopickým vyšetřením orgánů bývá zachycena ztráta barvitelnosti jader kardiomyocytů, jejich zvlnění, fragmentace a koagulační nekróza srdečního svalu, trombóza nitrosvalových větví cév myokardu, v některých případech fokální nekróza tunica media charakteru kontrakčních proužků a fokální degenerace vrstvy hladkých svalových vláken koronárních arterií, v případě delšího přežívání též zánětlivá reakce (4). Je třeba vzít v úvahu případná přidružená poranění z důvodu např. následného pádu z výše, provádění resuscitace apod., která mohou vést k obdobným změnám na orgánech a hodnocení takového nálezu pak může být zavádějící (19).

ZÁVĚR

Úrazy elektrickým proudem představují sice minoritní kapitolu v rámci násilných úmrtí, nicméně výrazně ovlivňují zdraví a život člověka. Část poškozených v důsledku zásahu elektrickým proudem umírá, přičemž určení vlastní příčiny smrti může být mnohdy značně nesnadné, což je z forenzního hlediska závažné, zejména pokud připadá v úvahu úmyslné cizí zavinění, tedy vražda. Vzhledem k tomu, že není zcela objasněn účinek elektrického proudu na organismus, zůstává otázkou, zda přeživší nebudou ohroženi trvalými následky, jako např. rozvojem arytmií, zvýšeným rizikem vzniku trombóz, možným srdečním selháváním při fibróze srdečního svalu atd. Experimenty na zvířecích modelech přinášejí výsledky, svědčící o poškození zejména kardiovaskulárního systému a otevírají tak možnosti ke zlepšení jak diagnostiky úmrtí v důsledku zásahu elektrickým proudem, tak následné péče o pacienty, kteří tato poranění přežili.

DEDIKACE

Podpořeno grantovým projektem Grantové agentury Univerzity Karlovy č. 436222 *Morfologické aspekty poškození tkání následkem úrazu elektrickým proudem*

PROHLÁŠENÍ

Autor práce prohlašuje, že v souvislosti s tématem, vznikem a publikací tohoto článku není ve střetu zájmů a vznik ani publikace článku nebyly podpořeny žádnou farmaceutickou firmou. Toto prohlášení se týká i všech spoluautorů.

LITERATURA

1. **Rosina J, Navrátil L, Malay M, Sabo J.** Biofyzika elektrických projevů a účinků elektrické energie, diagnostické a terapeutické metody využívající elektrické energie. *In*: Navrátil L, Rosina J a kolektiv. Medicínská biofyzika, Grada, 2019.
2. **Rosina J, Vránová H, Kolářová H.** Elektrický proud. *In*: Rosina J, Vránová H, Kolářová H. Biofyzika pro zdravotnické a biomedicínské obory, Grada, 2021.
3. **Waldmann V, Narayanan K, Combes N, Jost D, Jouven X, Marijom E.** Electrical cardiac injuries: current concepts and management. *Eur Heart J* 2018; 39: 1459-1465.
4. **Fineschi V, Di Donato S, Mondillo S, Tirillazzi E.** Electric shock: Cardiac effects relative to non fatal injuries and post mortem findings in fatal cases. *Int J Cardiol* 2006; 111: 6-11.
5. **Bryan BC, Andrews ChJ, Hurley RA, Taber KH.** Electrical Injury, Part1: Mechanisms. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 2009; 21(3): 240-244.
6. **Lee RC.** Cell Injury by Electric Forces. *Ann NY Acad Sci* 2005; 1066: 85-91.
7. **Tsong TY, Su Z-D.** Biological effects of electric shock and heat denaturation and oxidation molecules, membranes and cellular functions. *Occupational electrical injury: An international symposium* 1999; 888(1): 211-232.
8. **Wang Y, Liu M, Cheng W-B, Li F, Liao Z, Wang Y.** Endothelial cell membrane perforation of aorta and pulmonary artery in the electrocution victims. *Forensic Sci Int* 2008; 178: 204-206.
9. **Koren O, Paz E, Rozner E, Mahamid M, Turgeman Y.** Late myocardial sequelae of eletrical injury. *Clin Case Rep* 2020; 8: 3407-3410.
10. **Carmeliet P, Moons L, Stassen J-M, De Mol M, Bouché A, Van der Oord JJ, Kockx M, Collen D.** Animal Model: Vascular Wound Healing and Neointima Formation Induced by Perivascular Electric Injury in Mice. *Am J Pathol* 1997; 150 (2): 761-776.
11. **Jia-ke Ch, Li-gen L, Quan-wen G, Xiao-peng S, Hai-jun Z, Zhi-yong S, Zhi-qiang W, Cai Z.** Establishment of soft-tissue injury model of high-voltage electrical burn and observation of its pathological changes. *Burns* 2009; 35: 1158-1164.
12. **Lanier ST, McClain SA, Lin F, Singer AJ, Clark RAF.** Spatiotemporal progression of cell death in the zone of ischemia surrounding burns. *Wound Repair Regen* 2011; 19(5): 622-632.
13. **James TN, Riddick LR, Emry JH.** Cardiac abnormalities demonstrated postmortem in four cases of accidental electrocution and their potential significance relative to nonfatal electrical injuries of the heart. *Am Heart J* 1990; 120(1): 143-157.
14. **Štefan J, Hladík J, Adámek T.** Forenzní traumatologie. *In*: Štefan J, Hladík J a kolektiv. Soudní lékařství a jeho moderní trendy, Grada, 2012.
15. **Patil RN, Tijare J, Raut W.** Histopathological examination of skin in electrocution deaths: one year autopsy study. *Indian J Forensic Community Med* 2017; 4(4): 255-260.
16. **Dolinak D, Matshes E, Lew E.** Environmental Injury. *In:* Forensic Pathology Principles and Practise. Elsevier Academic Press, 2005.
17. **Saukko P, Knight B.** Knight´s Forensic Pathology. New York: Arnold-Oxford University Press Inc.; 2015: 326-337.
18. **Řehulka H.** Poranění elektrickým proudem. *In*: Hirt M. a kolektiv. Soudní lékařství I. díl, Grada, 2015.
19. **Dettmeyer RB.** Forensic Histopathology Fundamentals and Perspectives. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag; 2011: 155-159.