

Úrazy nervového systému elektrickým proudem a bleskem

doc. MUDr. Edvard Ehler, CSc., FEAN¹, prof. MUDr. Ivana Štětkářová, CSc., MHA²

¹Neurologická klinika, FZS Univerzity Pardubice a PKN, Pardubice

²Neurologická klinika, 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a FNKV, Praha

Při zásahu elektrickým proudem záleží na napětí, délce průchodu proudu, typu proudu a na tělesné lokalizaci. Zásah bleskem je vždy nebezpečný a je spojen s vysokou mortalitou. Může se jednat o přímý zásah, nepřímý zásah svedený z okolních struktur, či zásah zemními proudy. Ze struktur nervového systému bývají často poškozeny periferní nervy, ale také mozek, mícha, svaly. Poškození elektrickým výbojem jsou často těžšího stupně, jejich léčba je zdlouhavá, výsledná úprava poškozeného nervového systému nebývá dokonalá. Důležitá je proto prevence, a to u úrazů elektrickým proudem i úrazů způsobených bleskem.

Klíčová slova: elektrický výboj, blesk, poškození tkání, encefalopatie, neuropatie.

Electrical injury and lightning injury of the nervous system

When an electric shock occurs, it depends on the voltage, the length of the current, the type of current and where is the localization on the human body. A lightning strike is always very dangerous and connecting with a high mortality. A person can be affected by a direct hit, an indirect hit from surrounding structures, or a hit by ground currents. Nervous system can be damaged at the periphery (peripheral nerves), but also the brain, spinal cord, and muscles. Electric shock injuries are often of a more severe degree. The treatment is usually long-lasting. The final clinical outcome of the damaged nervous system is usually not perfect and may be incomplete. Prevention is therefore important, both for electric shocks and lightning injuries.

Key words: electric shock, lightning, tissue damage, encephalopathy, neuropathy.

Úvod

Úrazy elektrickým proudem či bleskem se naštěstí nevyskytují často a postižení nervového systému (mozku, míchy nebo periferních nervů) je poměrně vzácné.

Úrazy elektrickým proudem

V České republice tvoří elektrotrauma 3,4 % popáleninových údajů. Elektrotrauma je definováno jako poškození organismu při průchodu elektrického proudu. Poranění závisí na typu elektrického proudu (střídavý nebo stejnosměrný), na jeho napětí, intenzitě proudu i na odporu tkáně. Produkce tepla je v tkáni způsobena prů-

chodem elektrického proudu za daného odporu tkáně a za daný čas (Ševčík et al., 2014).

Poškození elektrickým proudem lze rozdělit do čtyř kategorií (Ševčík et al., 2014):

1. elektrický impulz, který vyvolá membránovou depolarizaci a tetanický stah svaloviny,
2. průchod elektrického proudu o vysokém napětí a intenzitě tkáně s produkcí velkého množství tepelné energie s masivní termickou destrukcí tkáně,
3. sekundární traumata způsobená pádem z výšky či zlomeniny vzniklé na podkladě svalové kontrakce,
4. popáleniny.

Vysoké napětí nad 1 000 V vede často ke kardiopulmonální zástavě, převládá termické poškození kůže, měkkých tkání i hlubokých orgánů (crush syndrom).

Nízké napětí pod 1 000 V s převládajícími elektropolarizačními poruchami – poruchy srdečního rytmu, srdeční zástava, vyžadují monitorování nemocných včetně EKG (Horký et al., 2003).

Střídavý proud v domácnosti (50 Hz, 12–220 V) prochází napříč myokardem a může být příčinou fibrilace komor. Tetanická kontrakce svalů ruky vede k prodloužení kontaktu s vodičem, a tedy i časovou expozici elektrickému proudu. Postižený se nemůže



doc. MUDr. Edvard Ehler, CSc., FEAN
Neurologická klinika FZS Univerzity Pardubice a PKN, Pardubice
edvard.ehler@nempk.cz

Cit. zkr: *Neurol. praxi.* 2023;24(5):369-372

Článek přijat redakcí: 20. 2. 2023

Článek přijat k publikaci: 29. 5. 2023

pustit předmětu pod proudem. Při intenzitách střídavého proudu do 75 mA je schopen zasažený uvolnit provokovaný stisk ruky – jedná se „uvolňovací proud“ (Ševčík et al., 2014).

Stejnoseměrný vysokonapěťový proud (více než 1 000 V) vyvolává vysokoenergetický náraz, který může zasaženého odmrstit od zdroje. Dochází k výrazným tepelným nekrózám svalů, kostí, orgánů (Ševčík et al., 2014).

Existují konkrétní situace, kdy typicky dochází k úrazu elektrickým proudem – kontakt s vodičem (domácí spotřebiče), zásah trojfázovým proudem (elektrický kotel či sporák), zásah výbojem proudu (elektrické vedení – přeskok výboje přes volný prostor). Při zásahu elektrickým proudem postižený nepříjemně vnímá elektrický výboj, následuje kontrakce svalů, pocit bolesti na kůži v místě zásahu a často i v hlubších strukturách. Charakter i stupeň poškození elektrickým proudem je závislý na kontaktu zasažené osoby s vodičem, ale rovněž na oblečení i obutí. Podomácku vyrobené elektrické přístroje (např. sekačky) jsou pro spotřebitele nebezpečné – nemají nezbytná ochranná zařízení a nesplňují bezpečnostní normy.

Úrazy elektrickým proudem jsou provázeny poraněním různých oblastí těla a různých systémů. K poškození tkání dochází při produkci tepla, při popálení kůže, průchodu elektrického proudu tkáněmi, poškozením buněčných membrán či poruchou elektrické aktivity orgánů (srdečního rytmu či řízení respirace). Elektrický oblouk způsobí popálení (zapálení oděvu), ale vzniká i poškození řady orgánů, např. ucha akustickou explozí („blast“). Vysoký odpor kostní tkáně a koster-ních svalů vede k nekróze kosti a k poškození svalů. Nekróza tkání, poškození arteriálního zásobení a rhabdomyolýza často vyžadují amputaci, rozvíjí se kompartmentový syndrom a případně vzniká i selhání ledvin. Kritické je poškození v hloubce uložených tkání, jejich úprava je zdlouhavá a negativně ovlivňuje výsledný klinický stav (Stockly et al., 2020).

Úrazy elektrickým proudem postihují nejčastěji mladé muže. Ve velkých statistikách vedou k amputacím v 15–39 %. Neuropatie se objevují v 11–60 %. Při výskytu popálení je většinou nutné podstoupit několik chirurgických zákroků, aby došlo ke zhojení

popálených tkání (Stockly et al., 2020). Tyto komplikace ovlivňují fyzické i psychické funkce, prodlužují návrat do zaměstnání a snižují kvalitu života. Velmi často se vyvíjí posttraumatická stresová porucha a objevují se i depresivní stavy.

V mnoha kazuistikách i v obsáhlých přehledech se vyskytují přechodné nervové příznaky ihned po zásahu elektrickým proudem. Keraunoparalýza vzniká po zásahu bleskem (keraunos) a je charakterizována plegií dolních končetin (někdy všech 4 končetin), s poruchou čítí a přitom bez poruchy vědomí. Jsou přítomné také příznaky trvající delší dobu (míšni, mononeuropatie), ale objevují se choroby, které mohly být vyprovokovány zásahem elektrickým proudem, např. míšni degenerativní procesy. Vznikají akutní i opožděná poškození nervového systému. Při průchodu elektrického proudu mozkem se následně objevují různé intenzivní neuropsychologické syndromy. Závažné jsou také pády, které velmi často provázejí zásah elektrickým proudem (Nielsen et al., 2022).

Typy úrazů elektrickým proudem

Úrazy elektrickým proudem lze rozdělit na poškození výbojem střídavého či stejnosměrného proudu a na poškození bleskem. Jedná se o poškození centrální nervové soustavy a periferních nervů. Poranění mozku a míchy elektrickým výbojem je v literatuře spojováno se zvýšeným rizikem epilepsie, Parkinsonovy nemoci, amyotrofické laterální sklerózy, ale v současných přehledových sděleních nebyl prokázán vztah mezi zásahem elektrickým proudem a zvýšením rizika Parkinsonovy nemoci, ALS (amyotrofická laterální skleróza), roztroušené sklerózy či Alzheimerovy demence. Avšak časový vztah mezi elektrotraumatem a vznikem ALS syndromu není blíže definován (Sidique et al., 2003). Nielsen et al. nezjistili časový vztah mezi zásahem elektrickým proudem a rozvojem ALS a uzavírají, že se nejspíše jedná pouze o náhodnou koincidence. Bylo však prokázáno zvýšené riziko vzniku migrény, závratí a epileptických záchvatů. V mnoha kazuistikách byl zásah elektrickým proudem dáván do souvislosti s bolestmi hlavy, zvýšenou únavností či s tremorem (Andrews et Reisner, 2017).

Zásah elektrickým proudem

Zásah elektrickým proudem může poškodit strukturu periferní nervové soustavy (PNS). Často se vyskytují mononeuropatie i polyneuropatie, které jsou provázeny poruchou čítí, neuropatickou bolestí, parézou a atrofiemi svalů, autonomními příznaky. Poškození PNS se vyskytuje zejména u poranění proudem vysokého napětí. Z dalších parametrů je důležitý typ proudu, trvání zásahu proudem, rezistence zasažené tkáně, vlhkost prostředí (Nielsen et al., 2022).

Zásah bleskem

Jedná se o zasažení vysokonapěťovým stejnosměrným výbojem atmosférické elektřiny. Jde o velmi krátké (0,1–0,001 s) působení stejnosměrného proudu o napětí často přesahující 10⁶ voltů.

Riziko zásahu bleskem je malé a zvyšuje se v horách a v divočině (wilderness environment). Podle propočtů každou vteřinu dochází asi k 100 úderům blesku v rámci celé zeměkoule. Zasažení bleskem tvoří pouze 2–4 % všech úrazů proudem s vysokým napětím. Může dojít k přímému zásahu osoby bleskem. Jindy může jít o nepřímý zásah, např. výboj z nedalekého objektu (strom, stožár či drát, přenos z druhé osoby). Je možný i zásah zemními proudy, např. vstup přes jednu končetinu a výstup druhou končetinou. Přitom mohou být poraněny orgány, přes které je výboj přenášen, což je srdce, plíce, nervová soustava. Oběti zásahu bleskem mají vysokou mortalitu (10–30 %). U vážně zasažených osob se trvalé následky vyskytují ve vysokém procentu (76 %). V Německu je ročně poraněno bleskem asi 1 000 lidí. Celosvětově je ročně 24 000 úmrtí a 240 000 poranění po zásahu bleskem. V rozvinutých zemích došlo v průběhu posledních desítek let k podstatnému snížení incidence zásahu bleskem. Snížila se intenzita práce osob na polích a v terénech exponovaných bouřím a bleskům. Došlo sice ke zvýšení rekreační aktivity ve volné přírodě, ale rovněž se podstatně zvýšila informovanost o nebezpečí zásahu bleskem, o racionální prevenci zásahu bleskem a o chování v průběhu bouřky.

Ströhle et al. (2018) uvádějí retrospektivní analýzu poranění bleskem v rakouských Alpách v průběhu 10 let (2005–2015). Za toto

období bylo rakouskou horskou policií evidováno 109 168 ošetřených pacientů. Bleskem byly zasaženo 64 osob, z nich bylo 54 mužů. Čtyři osoby zemřely na místě zásahu. Dva z nich byli lovci, kteří byli zasaženi stejným bleskem. Celkem 63 osob bylo zasaženo bleskem při rekreační aktivitě, a to turistice a horolezectví (54), při jízdě na horském kole (6), při lovu zvěře (3). Pouze jeden člověk byl zasažen při těžbě dřeva. Všechny 64 osob bylo zasaženo v červnu až srpnu a téměř polovina (46,9 %) v sobotu či v neděli, zejména mezi 12–22 hodinou (95,3 %).

Gasser (2022) uvádí výsledky retrospektivní analýzy zásahu bleskem ve švýcarských Alpách za období 12 let (2009–2020). Data byla získána z různých organizací – horské služby, záchranné letecké služby, z registru švýcarského alpského klubu. Za 12leté období bylo zachráněno horskou službou 4 687 alpinistů, ale také 11 125 horských turistů, 3 044 lyžařů (backcountry skiers). Mezi horskými turisty se vyskytlo 15 poranění bleskem. Mezi lyžaři se nevyskytl žádný zásah bleskem. Téměř všechna poranění bleskem byla v letním období a pouze po jednom případě v září a listopadu. Největší význam v prevenci zásahu bleskem má přesné plánování túry, sledování předpovědi počasí, konzultace počasí s tíží túry na chatě před výstupem. Při zastížení bouří v horském terénu je nutné racionální chování s výběrem míst, kde je zásah bleskem nejméně pravděpodobný. Nacvičená kardiopulmonální resuscitace v horském terénu má velkou šanci na úspěch. V tabulkách 1 a 2 uvádíme klasifikaci poškození elektrickým proudem a bleskem na podkladě rozvoje příznaků (Tab. 1) a na podkladě poškozené anatomické struktury (Tab. 2) (volně dle Andrews et Reisner, 2017).

Postižení bazálních ganglií

Centrální syndromy mohou být spojeny s frakturou lebečních kostí. Bazální ganglia mají značnou dispozici k poškození elektrickým výbojem. Často jsou uváděny poruchy hybnosti jako následek zásahu elektrickým výbojem – parkinsonský syndrom, choreoatetóza, dystonie, myoklonus (Stockly et al., 2020).

Léze míšních motoneuronů

Poškození míšních motoneuronů se uvádí jako následek zásahu elektrickým proudem

Tab. 1. Klasifikace poškození elektrickým proudem a bleskem na podkladě rozvoje příznaků (volně dle Andrew et Reisner, 2017)

Typ potíží a příznaků	Jednotlivé příznaky
Bezprostředně vzniklé a přechodné příznaky	Keraunoparalýza Lichtenbergovy obrazce
Bezprostředně vzniklé a déletrvající příznaky	Hypoxická encefalopatie, intrakraniální krvácení, cerebrální infarkt, cerebelární příznaky, léze periferních nervů
Neurologické syndromy s výskytem po delší latenci (po zásahu proudem s vysokým napětím)	Léze motoneuronu s latencí dnů až roků – avšak podle současných názorů toto míšní poškození nemá charakter amyotrofické laterální sklerózy
Sekundární vzniklé syndromy (např. po „blast“ syndromu)	Intrakraniální hemoragie, barotrauma, ruptura bubínku, katarakta

Tab. 2. Klasifikace poškození elektrickým proudem a bleskem na podkladě poškozené anatomické struktury (volně dle Andrews et Reisner, 2017)

Poškozená tělesná struktura	Jednotlivé syndromy
Centrální syndromy	Mozková hemoragie či mozkový infarkt Encefalopatie (včetně hypoxické) Konvulze Poruchy hybnosti (movement disorders) – parkinsonský syndrom
Cerebelární syndromy	Ataxie trupu, končetin
Léze hlavových nervů	Lícni nerv, oko-hybné nervy, dysfonie/dysartrie
Léze autonomního systému	Komplexní regionální bolestivý syndrom Posturální hypotenze Cerebral salt wasting syndrom
Míšní syndromy	Transverzální myelopatie Poškození motoneuronů
Paralýzy	Keraunoparalýza Paraplegie, tetraplegie
Poruchy periferních nervů	Mononeuropatie, polyneuropatie, plexopatie
Poruchy senzitivní inervace	Různé lokalizace i rozsahu

(Lakshminarayanan et al., 2009). Vždy se zdůrazňovala dlouhá latence, po které došlo ke vzniku klinického syndromu. Po zásahu elektrickým proudem či bleskem se může vyskytovat postižení periferního motoneuronu nebo kombinace s lézí centrálního motoneuronu, avšak nejedná se o amyotrofickou laterální sklerózu. Toto postižení nespĺňuje klinická ani elektrofyziologická kritéria MND/ALS (Awaji-Shima).

Postižení mozečku

Cerebelární syndromy vznikají často bezprostředně po zásahu. Suri a Vijayan (1978) popsali vojáka, který za bouře telefonoval polním telefonem a byl přitom zasažen přes sluchátko do ucha. Následně se objevila mozečková porucha řeči a ataxie.

Postižení oko-hybných nervů

Projevují se diplopií, mydriázou, anizokorií, poruchou akomodace. Někdy se vyskytne Hornerův syndrom. Při očním vyšetření se často zjišťuje katarakta, která vzniká termickým poškozením čočky při výboji.

Porucha artikulace, fonace, abnormální pocity na jazyku se vyskytují při postižení dalších hlavových nervů. Kochleo-vestibulární poruchy se manifestují poruchou sluchu, tinnitem i závratěmi.

Autonomní poruchy

Autonomní dysfunkce se může projevit hypertenzí i výraznou hypotenzí až s nemožností vertikalizace a posazení. Poruchy elektrolytové rovnováhy vznikají na podkladě dysfunkce hypotalamu či hypofýzy.

Keraunoparalýza

Jde o přechodný syndrom, trvající většinou několik hodin. Jedná se o plegii končetiny, přes kterou procházel výboj. Předpokládá se lokalizovaný cévní spasmus. Končetina je chladná, bledá, na pohmat je bez pulzu. Může se proto zaměnit s kompartmentovým syndromem. Někdy se jedná o chabou či spastickou kvadruplegii. Zasažený člověk dobře vidí, paralýzu si uvědomuje, ale neslyší. Tento syndrom je však přechodný. Předpokládá se vliv masivního

uvolnění katecholaminů následkem úrazu (Ritenour et al., 2008).

Postižení periferních nervů a svalů

Poškození periferního nervového systému bývá ve formě léze několika nervů – např. *n. medianus*, *n. ulnaris*, *n. radialis* na paži. Na dolních končetinách bývá poškozen *n. femoralis* spolu s *n. ischiadicus*. Nejvýraznější periferní léze bývá v linii průchodu elektrického výboje. Léze nervů postupně regredují, avšak dlouhou dobu přetrvává atrofie svalů i únavnost (Nielsen et al., 2022).

LITERATURA

1. Andrews CJ, Reisner AD. Neurological and neuropsychological consequences of electrical and lightning shock: review and theories of causation. *Neural Regeneration Research*. 2017;12(5):677-686. doi: 10.4103/1673-5374.206636.
2. Gasser B. Cases of lightning strikes during mountain-sports activities: an analysis of emergencies from the Swiss Alps. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(7):3954; <https://doi.org/10.3390/ijerph19073954>.
3. Horký K, et al. Lékařské repetitorium. Praha: Gallén; 2003:464-465.
4. Lakshminarayanan S, Chokroverty S, Eshkar N, Grewal R. The spinal cord in lightning injury: a report of

Kognitivní poruchy

Neuropsychologické symptomy jsou velmi časté. V popředí bývají poruchy paměti (71 %), koncentrace (63 %) a ztráta duševní energie (50 %). Postiženo je učení a paměť, zejména na podkladě vnímání sluchových informací. O něco méně je postiženo zrakové vnímání. Neuropsychologickým vyšetřením bývá diagnostikována lehká až střední kognitivní porucha (Andrew et Reisner, 2017).

Závěr

Úrazy nervové soustavy elektrickým proudem se vyskytují zřídka. Vlastní poško-

zení nervové tkáně je závislé na typu proudu, délce expozice, na současném výskytu dalších poranění. Jedná se jak o akutní léze nervového systému (periferních nervů, míchy, mozku), tak o poruchy, které se rozvíjejí s delší latencí. Poranění bleskem se vyskytuje vzácně. Je spojeno s vysokou morbiditou a mortalitou. Znalost výskytu těchto poranění a zhodnocení meteorologické situace je důležité pro prevenci poranění bleskem.

Práce byla podpořena výzkumným projektem UK Cooperatio 38 Neuroscience.

two cases. *J Neurol Sci*. 2009;276(1-2):199-201.

5. Nielsen KJ, Carstensen O, Kaergaard A, et al. Neurological symptoms and disorders following electrical injury: A register-based matched cohort study. *PLoS ONE*. 2022;17(3): e0264857. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264857>.
6. Ritenour AE, Morton MJ, McManus JG, et al. *Lightning injury: a review*. *Burns*. 2008;34(5):585-94.
7. Sidique N, et al. Degenerative motor, sensory, and autonomic disorders. In: Goetz CG: *Textbook of Clinical neurology*. Chicago: Saunders. 2003:759-785
8. Stockly OR, Wolfe AE, Espinoza LF, et al. The impact of

electrical injuries on long-term outcomes: a burn model system national database study. *Burns*. 2020; 46(2): 352-359. doi: 10.1016/j.burns.2019.07.030.

9. Ströhle M, Wallner B, Lanthaler M, et al. Lightning accidents in the Austrian Alps – a 10-year retrospective nationwide analysis. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*. 2018;26:74. doi.org/10.1186/s13049-018-0543-9.
10. Suri ML, Vijayan GP. Neurological sequelae of lightning (A case report). *J Assoc Physicians India*. 1978;26:209-212.
11. Ševčík P, et al. *Intenzivní medicína*, Praha: Gallén. 2014:906-907.