

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

Kateřina Kubová

**Úraz elektrickým proudem z pohledu  
zdravotnického záchranáře**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Marinella Danosová, DiS.

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 29. dubna 2022

---

Kateřina Kubová

Děkuji paní Mgr. Marinelle Danosové za vstřícnost, ochotu a pevné nervy, které věnovala vedení této bakalářské práce. Taktéž bych chtěla poděkovat své rodině a kamarádům za podporu ve studiu.

## **Anotace:**

**Typ závěrečné práce:** Přehledová bakalářská práce

**Téma práce:** Úraz elektrickým proudem

**Název práce:** Úraz elektrickým proudem z pohledu zdravotnického záchranáře

**Název práce v AJ:** Electric shock from the view of a paramedic

**Datum zadání:** 2021-11-29

**Datum odevzdání:** 2022-04-29

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

**Autor práce:** Kateřina Kubová

**Vedoucí práce:** Mgr. Marinella Danosová, DiS

## **Oponent práce:**

**Abstrakt v ČJ:** Přehledová bakalářská práce se zabývá úrazy vzniklými bezprostředně po úrazu elektrickým proudem, a to buď vysokým napětím, anebo nízkým napětím a bleskem. Cílem této práce je sumarizace aktuálních dohledaných poznatků o úrazech způsobených elektrickým proudem. První kapitola práce je zaměřena na komplikace způsobené elektrickým proudem, a to vysokým napětím a nízkým napětím. Popisuje různé komplikace, které nastaly buď ihned po úrazu, nebo až s odstupem času. Druhá kapitola se věnuje komplikacím po úrazu bleskem. Taktéž popisuje změny, které negativně ovlivnily oběti zasažené bleskem, a komplikace s nimi spojené. Předložené poznatky byly dohledány v databázích: EBSCO, PUBMED a GOOGLE SCHOLAR.

**Abstrakt v AJ:** This bachelor thesis focuses on the injuries originated by an immediate electrical current injury, specifically either due to a high voltage, a low voltage or due to a lightning strike. The aim of this work is mainly a summarization of a traceable knowledge relevant to an electrical current induced injuries. In the first chapter the complications due to the electrical current hit are introduced. Namely due to the high or low voltage, respectively. The chapter deals with various complications which originated either immediately after the injury, or after some time has passed. The second chapter of the thesis deals with the complications relevant to a lightning strike. Furthermore negative changes and their consequences concerning victims of a lightning strikes are described. Submitted findings were found in following databases: EBSCO, PUBMED and GOOGLE SCHOLAR.

**Klíčová slova v ČJ:** úraz bleskem, poranění bleskem, úraz elektrickým proudem, úraz vysokým napětím, úraz nízkým napětím, komplikace po úrazu elektrickým proudem, komplikace po úrazu bleskem

**Klíčová slova v AJ:** lightning strike, lightning injury, electric shock, electricity injury, high voltage injury, low voltage injury, complications after electric shock, complications after a lightning accident

**Rozsah:** 39 stran/ 0 příloh

## Obsah

Úvod.....	7
1 Popis rešeršní činnosti.....	9
2 Přehled publikovaných poznatků .....	11
2.1 Komplikace vzniklé po úrazu elektrickým proudem nízkým a vysokým napětím .....	11
2.2 Komplikace vzniklé po zasažení bleskem .....	19
2.3 Význam a limitace dohledaných poznatků.....	30
Závěr.....	31
Referenční seznam .....	33
Seznam zkratk .....	39

## Úvod

Ústav zdravotnických informací a statistiky České republiky uvedl, že zdravotnické záchranné služby (ZZS) od roku 2007 mají progresivní nárůst výjezdů k traumatům. Ve Spojených státech amerických tvoří až 5 % traumat elektrické úrazy. Ročně zde zemře až 1000 obyvatel (Ali Haider et al., 2017, str. 127-131). Většina úrazů vzniká při nechtěném uchopením elektrického zdroje (Gentges J. et al., 2018, str. 1-20).

Teplo neboli elektrický proud o vysoké energii způsobí jak místní změny, tak i celkové změny vedoucí až k popáleninovému traumatu (Šeblová J. a kolektiv., 2013, str. 5-400). „Popáleninové trauma vzniká dostatečně dlouhým, přímým nebo nepřímým působením nadprahové hodnoty tepelné energie na lidský organismus. Dochází k částečné či úplné destrukci kůže, event. hlubších tkání“ (Brychta P. a kolektiv., 2017, str. 8-12).

Mezi primární elektrické poranění patří popáleniny (Kym D. et al., 2014, str. 108-114). Popáleniny způsobené elektrickým proudem jsou podceňovaná traumata, která mohou postihnout kohokoli, kdykoli a kdekoliv (Jeschke M. G. et al., 2020, str. 1-25).

V souvislosti s tímto tématem si pokládám otázku:

Jaké existují aktuální publikované poznatky o traumatech způsobené elektrickým proudem?

Cílem této bakalářské práce je sumarizovat aktuální dohledané a publikované poznatky o traumatech způsobené elektrickým proudem.

Stanovené dílčí cíle jsou:

1. Předložit aktuální publikované poznatky o komplikacích po úrazu elektrickým proudem nízkého a vysokého napětí.
2. Předložit aktuální publikované poznatky o komplikacích vzniklé po úrazu bleskem.

## Seznam vstupní literatury:

BRYCHTA, Pavel a kol. 2017. *Přednemocniční péče o termický úraz: Prvotní odborné ošetření popáleninového traumatu*. ČESKÁ LÉKAŘSKÁ SPOLEČNOST J. E. PURKYNĚ. URGMED [online], 8-12, [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: [https://www.urgmed.cz/postupy/2017\\_popaleniny.pdf](https://www.urgmed.cz/postupy/2017_popaleniny.pdf)

GENTGES, J., C. SCHIECHE. 2018. *Electrical injuries in the emergency department: an evidence-based review*. Emergency medicine practice [online]. 20(11), 1–20 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30358379/>

HAIDER, A., M. ZUBAIR, Z. ABIDEEN, SAIMA, IHSANULLAH, A. MUNER, MN. KHAN, MUSARAT, A. Khattak. 2017. *OUTCOME OF ELECTRIC SHOCK INJURIES: AN EXPERIENCE AT THE LADY READING HOSPITAL PESHAWAR*. Journal of Postgraduate Medical Institute [online]. 31(2), 127-130 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://jpmi.org.pk/index.php/jpmi/article/view/1866>

JESCHKE, M. G., M.E. van BAAR, M. A. CHOUDHRY, K. K. CHUNG, N. S. GIBRAN a S. LOGSETTY. 2020. *Burn injury*. Nature reviews. Disease primers [online]. 6(1), 1-25 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41572-020-0145-5>

KYM, D., D. K. SEO, G.Y. HUR a J. W. LEE. 2015. *Epidemiology of electrical injury: Differences between low-and high-voltage electrical injuries during a 7-year study period in South Korea*. Scandinavian journal of surgery: SJS: official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society [online]. 104(2), 108–114 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/1457496914534209>

ŠEBLOVÁ, Jana a Jiří KNOR. 2013. *Urgentní medicína v klinické praxi lékaře*. Praha: Grada Publishing, ISBN 978-80-247-4434-6



## 1 Popis rešeršní činnosti

Pro dohledání validních informací byl použit standardní postup rešeršní činnosti s využitím booleovských operátorů.

### ALGORITMUS REŠERŠNÍ ČINNOSTI



#### Vyhledávací kritéria

**Klíčová slova v češtině:** úraz bleskem, poranění bleskem, úraz elektrickým proudem, úraz vysokým napětím, úraz nízkým napětím, komplikace po úrazu elektrickým proudem, komplikace po úrazu bleskem

**Klíčová slova v angličtině:** lightning strike, lightning injury, electric shock, electricity injury, high voltage injury, low voltage injury, complications after electric shock, complications after a lightning accident

**Jazyk:** angličtina, čeština

**Období:** 2011-2022

**Další kritéria:** recenzovaná periodika, plné texty, studie, články



#### Databáze

EBSCO, PubMed, Google Scholar



## **Dohledáno**

Celkem: 136 článků



## **Vyřazující kritéria**

Název, abstrakt nebo obsah neodpovídal cílům práce, duplicitní články, kvalifikační práce



## **Sumarizace využitých databází**

EBSCO: 4

PubMed: 22

GoogleScholar: 6



## **Počet použitých dokumentů**

Pro tvorbu bakalářské práce bylo využito 33 článků

Pro tvorbu této přehledové bakalářské práce byla využita 1 knižní publikace. A pro doplnění byla použita jedna studie z roku 2011. Obě publikace jsou uvedeny v referenčním seznamu.

## **2 Přehled publikovaných poznatků**

První podkapitola předkládá poznatky o publikovaných komplikacích, které mohou vzniknout u obětí zasažených elektrickým proudem. Druhá podkapitola prezentuje výsledky o komplikacích, které se objeví u obětí po úrazu bleskem. Poslední podkapitola shrnuje význam a limitaci výsledků z uvedených studií.

### **2.1 Komplikace vzniklé po úrazu elektrickým proudem nízkým a vysokým napětím**

Úrazy elektrickým proudem jsou specifické tím, že mají devastující komplikace ovlivňující morbiditu a mortalitu. Žádná tkáň a ani orgán není vůči elektrickému proudu imunní. Ovlivňuje jakoukoli část těla. Po úrazu se mohou vyskytnout různě těžké obtíže. Ve studii o elektrickém proudu od Ali Haider 2017 mezi hlavní komplikace patří popáleniny, tupé poranění v důsledku pádů, zástava srdce, zejména fibrilace komor, zlomeniny dlouhých kostí, ztráta vědomí, poranění hlavy, zmatenost, poruchy paměti, poruchy koncentrace, poranění páteře, luxace kloubů anebo záchvaty. Studie hodnotila celkem 219 pacientů ve věkovém rozmezí 3 až 93 let. Hlavními problémy, kterým čelili, byly těžké popáleniny a polytraumata, které vyžadovala multidisciplinární přístup a péči. Devatenáct pacientů mělo polytrauma a dalších deset potřebovalo speciální péči. Drobná poranění jako jsou modřiny, bolest hlavy, mělo 10 pacientů. Třetina pacientů (29,2 %) měli velmi lehká poranění a byli propuštěni po první pomoci a stabilizaci domů. Neurochirurgická poranění byla 10,5 % z celkových případů. Ve studii byla mortalita osob ve výši 15,5 %, což je mnohem víc než v mezinárodních údajích (Ali Haider et al., 2017, str. 127-131).

Mnoho komplikací je podobných jako u tepelných popálenin. Hlava je běžným kontaktním bodem pro vysokonapěťová poranění a pacient může vykazovat popáleniny i neurologická poškození. Katarakta se vyvine přibližně v 6 % případů vysokonapěťových poranění, zejména pokud dojde k úrazu elektrickým proudem v blízkosti hlavy.

Katarakta může být přítomna ihned po úderu, nebo se může rozvinout i měsíce po nehodě (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Srdeční zástava neboli asystolie je běžným stavem přítomným u elektrických nehod. Mezi další elektrokardiografické nálezy patří sinusová tachykardie, přechodná elevace ST segmentu, reverzibilní prodloužení QT segmentu, předčasné komorové kontrakce, fibrilace

síní a blokáda raménka. Akutní infarkt myokardu je hlášen také, ale je relativně vzácný (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Kromě zástavy srdce jsou nejničivějšími zraněními, která doprovázejí úraz elektrickým proudem, popáleniny, které jsou nejzávažnější v místě kontaktu se zdrojem. Mezi nejčastější místa kontaktu patří ruce, lebka a paty. Popáleniny při těžkých úrazech se často projevují jako nebolestivé, žlutošedé, tečkovité oblasti s centrální nekrózou, nebo mohou být oblasti dokonce i mumifikované. Vysokonapěťový proud způsobuje masivní poškození svalů (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Celková plocha povrchu těla zasažená popáleninami při úrazu elektrickým proudem je v průměru 10 až 25 %. Jsou hlášeny těžké popáleniny lebky a příležitostně i tvrdé mozkové pleny. Nejčastějším úrazem elektrickým proudem pozorovaným u dětí mladších 4 let jsou popáleniny úst, ke kterým dochází při sání domácí elektrické prodlužovací šňůry. U těchto popálenin je popisováno poškození vyvíjejícího se chrupu (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

U poranění vysokým napětím se může objevit svalová nekróza a v důsledku vaskulární ischemie a svalového edému se objevují i kompartmentové syndromy. Díky rozsáhlému poškození tkáně je často nutná dekompresní fasciotomie nebo amputace dané končetiny. Masivní uvolňování myoglobinu z poškozeného svalu může vést k selhání ledvin. Poškození cévní stěny může mít za následek opožděnou trombózu, krvácení a mohou se projevit kdykoliv (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Ve studii jsou popsány i zlomeniny většiny dlouhých kostí způsobené traumatem spojeným s úrazem elektrickým proudem. Rovněž jsou hlášeny luxace ramenou způsobené spasmem svalů a také zlomeniny páteře. U úrazů vysokým napětím může dojít ke ztrátě vědomí. Rovněž je hlášeno prodloužené kóma. Pacienti mohou vykazovat zmatenost, potíže s krátkodobou pamětí anebo s koncentrací, jak uvedl Teodoreanu.

Elektrické poškození centrálního nervového systému může způsobit záchvat, buď jako izolovanou událost, nebo jako součást nově vzniklé záchvatové poruchy. Je třeba vzít v úvahu další možné příčiny záchvatů, jako je hypoxie a traumatické poškození CNS. Neurologické příznaky se mohou zlepšit, ale dlouhodobé postižení je běžné. Mezi dlouhodobé neuropsychiatrické komplikace patří deprese, úzkost a neschopnost pokračovat ve stejné profesi, agresivní chování, nebo sebevražda. Slabost dolních končetin není běžně

diagnostikována, dokud se nepokusí zasažený o chůzi (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Při vysokonapěťové expozici může dojít k poranění míchy v důsledku zlomenin nebo disrupce krční, hrudní nebo bederní páteře. Pacienti s okamžitým poškozením mají příznaky slabosti a parestázie (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

K poranění plic může dojít v důsledku souvisejícího tupého poranění, protože vzduch je špatný vodič elektrického proudu. Poranění vnitřních orgánů jsou také vzácné, ale studie uvádí poškození pankreatu, jater, močového měchýře, žlučníku nebo tlustého či tenkého střeva (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Popáleniny nízkonapěťovými zdroji bývají obvykle méně závažné než popáleniny vysokonapěťovými zdroji, pacienti si stěžují na parestázie, arytmie, nebo se může rozvinout šedý zákal očí (Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I, 2014, str. 226-236).

Elektrické popáleniny způsobené elektrickým proudem o nízkém napětí byly pozorovány u 179 případů. 29 pacientů podstoupilo amputaci končetiny. U 5 pacientů byla amputace menšího rozsahu a u 24 osob byla amputována celá končetina. Z celkových 440 pacientů zasažených vysokým proudem 329 postoupilo amputaci. Amputované celé ruce byly ve 190 případech. Z celkového počtu 329 mělo 18 středně těžkou a 89 těžkou amputaci (Kym D. et al., 2014, str. 108-114).

V důsledku vystavení elektrickému proudu může dojít k poškození myokardu jako důsledek spasmu koronárních tepen, k arytmiím, nebo buněčné smrti. Fibrilace komor může nastat při nízkonapěťovém střídavém proudu, zatímco asystolie je častější u stejnosměrného nebo vysokonapěťového střídavého proudu. Elektrokardiogram pacienta prokázalo sinusovou tachykardii s frekvencí 108 s normálními intervaly a bez ischemie. Poranění vysokým napětím může vést k rozvoji katarakty během hodin a i v několika následujících měsících po incidentu, je to obvyklý důsledek elektrické expozice obličeje. Také může dojít k zástavě dechu, nebo ochrnutí dýchacích svalů v důsledku porušení centrálního nervového systému. Svalová tetanie může vést k pádům a zlomeninám dlouhých kostí. Zasažené svaly podléhají edémům, hluboké nekróze a kompartmentovým syndromům. Popáleniny způsobené elektrickým proudem je těžké hodnotit, neboť povrchové poškození kožního krytu je spojeno s poškozením tkání a hlubokými nekrózami. Studie autorů Gemme et al. (2015) popisuje úraz vysokým napětím, kde autoři upozorňují na riziko nepřímého tupého poranění, hlubokých popálenin,

ischemie/nekrózy tkáně a zlomeniny. Od úrazu byl pacient ospalý, ale vzrušený. Nebylo zaznamenáno žádné zvracení nebo záchvaty. Pacient byl léčen na jednotce intenzivní péče, ale pátý den hospitalizace podlehl svým poraněním. Ve srovnání s úrazy nízkým proudem jsou úrazy vysokonapěťovým proudem spojeny s vyšší úmrtností (Gemme Seth, MD et al., 2015, str. 42-44).

Komplikace způsobené úrazem elektrickým proudem jsou podobné jako u popálenin tzv. infekce, která může progredovat do sepse, kompartment syndromu a rhabdomyolýzy v důsledku rozsáhlého poškození svalů vnitřními popáleninami. Kromě toho může dojít k přidruženým zraněním způsobeným vymrštěním, nebo pádem z výšky v důsledku elektrického šoku. A to může způsobit zlomeniny dlouhých kostí, zlomeniny páteře, tržné rány, nebo pneumotorax (Emily J. Bounds et al., 2021, str. 1-7).

Mohou se objevit také srdeční komplikace. Člověk může mít v době poranění arytmií. Každý, kdo pociťuje jakoukoli bolest na hrudi nebo jiné příznaky související se srdcem, je vystaven riziku arytmiie během 24 až 48 hodin od poranění. Tito pacienti by proto měli být neustále monitorováni. Jakékoli poranění vysokým napětím by mělo mít nepřetržité monitorování srdce po dobu minimálně 8 hodin. Zvláštní pozornost je věnována úrazům elektrickým proudem u dětí, ke kterým dochází v důsledku toho, že dítě vloží šňůru do úst a skousne ji, což způsobí popáleniny v koutcích úst. Tyto popáleniny mohou i 7 den po úrazu začít krváčet (Emily J. Bounds et al., 2021, str. 1-7).

Ačkoli jsou popáleniny způsobené elektrickým proudem poměrně vzácné, jsou považovány za jedno z nejničivějších zranění. Cílem této retrospektivní studie bylo analyzovat specifické aspekty úrazů elektrickým proudem. Byla provedena retrospektivní analýza zdravotních záznamů všech pacientů přijatých s popáleninami elektrickým proudem za období 10 let od roku 2006 až do roku 2015. Z 1695 pacientů s popáleninami přijatých utrpělo 99 pacientů (5,84 %) popáleniny elektrickým proudem. 97 % těchto pacientů byli muži. Zranění byla klasifikována na nízkonapěťové (24,2 %), vysokonapěťové (30,3 %) a bleskové (45,5 %). Poranění horních končetin bylo zjištěno častěji než dolních končetin. Akutní komplikace tvoří fasciotomie (30 %), operace chlopně (43,3 %), amputace (16,7 %), syndrom akutní ledviny nebo kompartment syndrom. Elektrické trauma bylo zodpovědné za 5,8 % hospitalizací na naší popáleninové jednotce (Brandão C. et al., 2017, str. 268-271).

Pacienti postižení vysokonapěťovým elektrickým proudem převažovali nad nízkonapěťovou skupinou. Komplikace po úrazu vysokým napětím jsou fasciotomie, amputace a mortalita. Amputace byla provedena ve 162 případech. Nejčastějším místem amputace byly prsty na horních končetinách (Ghavami Y. et al., 2014, str. 29-33).

Elektrická poranění zahrnují popáleniny vyžadující chirurgický zákrok k odstranění poškozeného svalu nebo dokonce amputaci, kožní transplantaci nebo operaci volné srdeční chlopně (Sahin I. et al., 2011, str. 9-13).

Popáleniny elektrickým proudem tvořily 8,98 % z celkového počtu přijatých pacientů. Čtyřicet osm pacientů s popáleninami elektrickým proudem patřilo do věkové skupiny 21-30 let. Úmrtnost na popáleniny elektrickým proudem je 6,36 % ve srovnání s celkovou úmrtností. V této studii bylo vedení vysokého napětí příčinou zranění v 76,36 %, což je výrazně vyšší číslo než ve studii od Brandão C. a kolektivu z roku 2017. Okamžité zuhelnatění tkání, nebo opožděné poškození v důsledku kompartment syndromu jsou příčinou ztráty neboli amputace končetin. Horní končetiny jsou zasaženější více. Včasná a adekvátní fasciotomie je nanejvýš důležitá při záchraně poraněné končetiny. V této studii bylo provedeno celkem 22 fasciotomií. Amputace byla provedena u 42 ze 110 pacientů s elektrickými popáleninami. Někteří pacienti podstoupili více než jednu amputaci. Ztráta tkáně a ztráta končetin jsou hlavním problémem u osob, které přežily úrazy elektrickým proudem. 100% invalidita byla pozorována u sedmi pacientů a více než padesát procent bylo pozorováno u 10 pacientů. Tři z nich měli méně než 30 % invaliditu (Lunawat A. et al., 2015, str. 2-4).

Vysoká intenzita elektrického proudu vede k zástavě srdce či dýchání, tepelnému poškození tělních tkání s rizikem způsobení koagulace proteinů, koagulační nekrózy, hemolýzy, trombózy, avulze svalů, šlach nebo dehydratace. Kromě samotného elektrického poranění může mít poranění vysokou intenzitou elektrického pole za následek masivní edém tkáně, což může vést ke kompartment syndromu. V důsledku tohoto tkáňového edému může dojít k hypovolémií a hypotenzi. Těžké svalové poranění může vést k rhabdomyolýze, myoglobinurii a dalším poruchám elektrolytů. Celkově tyto následky vystavují jednotlivce velmi vysokému riziku akutního poškození ledvin. Abnormality na EKG záznamu u pacienta po úrazu mohou být známky ischemie, fibrilace komor, sinusová tachykardie nebo předčasné komorové kontrakce (Zemaitis M. et al., 202, str. 2-24).

Pediatričtí pacienti mohou mít popáleniny ústní dutiny v důsledku skousnutí nebo sání elektrického drátu či spotřebiče. Sekundární tupé poranění v důsledku úrazu proudem může mít

za následek muskuloskeletální poranění nebo poranění hlavy včetně bubínku, krční páteře nebo obličej a potenciální následné neurologické poškození (Zemaitis M. et al., 202, str. 2-24).

Dlouhodobé následky úrazu elektrickým proudem mohou zahrnovat neurologické komplikace jako jsou neuropatie, parestázie, záchvaty, synkopa, slabost nebo ztráta rovnováhy. Potíže s pamětí, nebo pozorností, podrážděnost, deprese, či posttraumatický stres jsou komplikace psychologického charakteru. Katarakta také doprovází následky elektrického úrazu. A mezi nejčastější obtíže patří bolest, únava, horečka, bolest hlavy, snížený rozsah pohybu v kloubech, zlomeniny, nebo svalové křeče (Zemaitis M. et al., 202, str. 2-24).

Elektrické trauma může způsobit zástavu srdce, ruptury myokardu a chlopně, strukturální změny v koronárních tepnách, perikardiální výpotek a různé změny na elektrokardiografii. Ve své studii zahrnují 353 případů srdeční zástavy. U většiny pacientů lze pozorovat dočasné změny na elektrokardiogramu. Nejčastější změnou na elektrokardiogramu byla sinusová tachykardie. Asystolie a ventrikulární tachykardie jsou fatálními srdečními problémy způsobenými elektrickým proudem a kromě nich se mohou vyvinout i další změny na elektrokardiogramu jako je sinusová tachykardie, nespecifické změny ST-T, srdeční blokády, prodloužení QT intervalu, supraventrikulární arytmie a fibrilace síní. Normální sinusový rytmus přetrvával u 76 %, sinusová tachykardie u 9 %, sinusová bradykardie u 3 %, změny ST-T u 4 % a předčasné komorové tehy u 1 % ze 120 pacientů. Ventrikulární tachykardie (VT) a ventrikulární fibrilace (VF) se vyskytovala nejčastěji a těmto pacientům byl podáván amiodaron a podstoupili elektrickou kardioverzi, defibrilaci, nebo kardiopulmonální resuscitaci (Günaydin Y. et al., 2016, str. 139-143).

Poranění plic způsobené elektrinou bylo hlášeno jen zřídka, ale může se objevit po vystavení vysokému nebo nízkému napětí. V jediném příkladu plicního edému způsobeného elektrickým poraněním v literatuře byla za příčinu považována arytmie vedoucí k zástavě srdce. V jiných hlášených případech se zdá, že elektrický proud přímo poškozuje plicní tkáň. Rentgenové a histopatologické vyšetření odhalilo nekrózu a koagulopatii. Elektrické poranění může vést i k dalším komplikacím, jako je hemoptýza, akutní respirační selhání, nebo infekce (Truong T. et al., 2017, str. 1-3).

Elektrický proud může zasáhnout hluboko do tkání a způsobit hluboká a rozsáhlá poranění. V závislosti na velikosti napětí může dojít k poškození nervové, kostní a šlachové tkáně a také kůže. Retrospektivně byla vyhodnocena data od 94 pacientů, 84 mužů a 10 žen. Čtyři pacienti (4,2 %) zemřeli. Z těchto pacientů 3 zemřeli na akutní selhání ledvin a 1 na sepsi



a multiorgánové selhání. U dvou pacientů se projevila epilepsie. Dva pacienti měli žaludeční vřed, pouze 1 z nich podstoupil chirurgickou léčbu. Další dva pacienti měli onemocnění koronárních tepen po úrazu. Sedm pacientů (7,4 %) mělo trauma doprovázející úraz elektrickým proudem, přičemž všechny byly způsobeny pádem z výšky. Tito pacienti utrpěli úraz elektrickým proudem vysokým napětím. Doprovodným traumatem bylo intrakraniální poranění u 2 pacientů, poranění měkkých tkání a intraabdominální poranění u 1 pacienta. Rozvinula se infekce, horečka, hypotenze, hypo nebo hyperglykémie nebo změny i duševního stavu, které byly pozorovány u 31 pacientů (32,9 %). Bylo zjištěno, že horní končetiny byly zraněny častěji než dolní končetiny. Místa poranění byla pravá horní končetina u 58 pacientů, levá horní končetina u 47, pravá dolní končetina u 39, levá dolní končetina u 28, hrudní stěna u 22, zadní trup u 18, břicho u 15, obličej u 12, krk u 7 a oblast genitálií u 4 pacientů. Během rané fáze léčby vyžadovalo 35 pacientů (37 %) chirurgický výkon. Kožní štěp byl proveden u 32 pacientů (Kurt A. et al., 2016, str. 278-282).

Tato retrospektivní studie zahrnovala 376 pacientů s popáleninami elektrickým proudem přijatých na Klinikou popálenin a plastické chirurgie, mezi lety 2008 až 2017. Všichni účastníci měli popáleniny způsobené elektrickým proudem. U pacientů s vysokonapěťovými popáleninami bylo více komplikací a velkých amputací než u pacientů s nízkonapěťovými popáleninami. V této studii bylo kóma nejčastější komplikací, která však obvykle vedla k přechodné ztrátě vědomí a zanechala několik psychických nebo fyzických následků. Další primární komplikací s nejvyšší incidencí bylo poškození srdce, poškození jater, kompartment syndrom, šok, akutní selhání ledvin a poškození plic. U 81 pacientů (37,33 %), kteří utrpěli popáleniny vysokým napětím, podstoupilo velkou amputaci 56 pacientů. A 25 pacientů podstoupilo menší amputaci. Procento popálených lidí vysokým napětím bylo o malinko vyšší, než uvádí ve své studii Brandão C. et al., (2017), kdežto naopak výrazně nižší procento popálenin vysokým napětím uvádí Lunawat A. et al., (2015). Amputace byly provedeny u 35 pacientů (22,01 %) s nízkonapěťovými popáleninami, z nichž 8 mělo větší amputace a 27 menší amputace. U velkých amputací byly četnosti amputací jedné horní končetiny ve skupině s popáleninami vysokým napětím významně vyšší než u skupiny s popáleninami nízkým napětím (Ding H. et al., 2020, str. 1-10).

Úrazy elektrickým proudem jsou neobvyklé, ale potenciálně zničující a tvoří přibližně 0,04–5 % hospitalizovaných na popáleninových jednotkách ve vyspělých zemích a až 27 % v rozvojových zemích. Klasifikace úrazů elektrickým proudem se obvykle dělí na nízkonapěťová (<1000 voltů) a vysokonapěťová (>1000 voltů). Úrazy elektrickým proudem

v dospělé populaci postihují především muže, nejčastěji souvisí s prací a jsou jednou z hlavních příčin traumatických pracovních úmrtí. Morbidita i mortalita u úrazů elektrickým proudem jsou relativně vysoké a mají fyzické i psychické krátkodobé i dlouhodobé následky. Tato studie si klade za cíl poskytnout komplexní přehled celosvětově hlášených následků úrazů elektrickým proudem a úmrtnosti mezi úrazy elektrickým proudem nízkého a vysokého napětí (Shih J. G. et al., 2017, str. 1-14).

Ve 38 retrospektivních studiích, které se zabývaly úrazy elektrickými proudy, bylo hlášeno celkem 5485 úrazů elektrickým proudem, přičemž většina výsledků byla hlášena u pacientů, u nichž nebylo specifikováno napětí elektrického úrazu (43,7 %). Větší počet hlášených výsledků bylo u úrazů elektrickým proudem vysokým napětím ve 38,3 % a úrazy nízkým elektrickým proudem byly hlášeny v 18,0 %. Hlášené změny na elektrokardiogramu byly většinou arytmie, změny ST úseku, síňové/ventrikulární rytmy, celkové změny rytmu nebo frekvence a fibrilace síní nebo komor. Srdeční komplikace byly hlášeny zřídka, ale když byly hlášeny, zahrnovaly převážně zástavu srdce, akutní infarkt myokardu. Fasciotomie i amputace byly studií potvrzené. Zlomeniny, nitrobřišní poranění, bezvědomí či cerebrální dysfunkce, která zahrnuje záchvaty, edém mozku či intrakraniální krvácení, bylo také pozorováno u obětí zasažených elektrickým proudem. Úmrtnost na úrazy byla hlášena u 4,1 %. Multisystémové orgánové selhání, septikémie, pneumonie a selhání ledvin byly také časté příčiny smrti. Po úrazu elektrickým proudem se několik studií využívající neuropsychologické testování shodlo, že posttraumatická stresová porucha je významným problémem, který může vést ke špatné kognitivní výkonnosti člověka. Poranění vysokým napětím vedou k vyšší nemocnosti a úmrtnosti než úrazy nízkým napětím (Shih J. G. et al., 2017, str. 1-14).

Ve studii bylo léčeno pro úraz elektrickým proudem celkem 239 pacientů, z toho 80 % byli muži a 20 % ženy. V devadesáti sedmi procentech byli pacienti již dospělí. Sto procent pacientů s úrazem vysokým napětím vykazovali symptomy již při prvním kontaktu, kdežto jenom devadesát dvě procenta pacientů vykazovala symptomy při prvním kontaktu u úrazu nízkým napětím. Neurologické symptomy byly přítomny u 31 % pacientů a zahrnovaly především dočasnou bolest hlavy, závratě při první konzultaci nebo přetrvávající parestezie v místě vstupu elektřiny, což byly především ruce. Ve 23 % utrpěli pacienti popáleniny alespoň druhého stupně, nejčastěji na rukou. Pacienti trpěli bolestí v 27 % při první konzultaci. Srdeční symptomy byly přítomny u 9 % při první konzultaci u nízkonapěťových poranění, u žádného pacienta nedošlo k zástavě srdce nebo ke ztrátě vědomí. Symptomy byly především dočasná tachykardie a bolest na hrudníku, které obvykle po několika hodinách

odezněly. Elektrokardiogram byl při první konzultaci hodnocen u 98 % pacientů, s výjimkou pěti pacientů s nízkonapětovým poraněním, kteří proti doporučení lékaře toto opatření odmítli. Abnormality na elektrokardiogramu byly přítomny u 14 % úrazů nízkým napětím, z nichž 17 % přetrvávalo i po 24 hodinách. Při podrobném vyšetření se jednalo buď o sinusovou bradykardii, extrasystoly, abnormality vlny T (21 %), blokády pravého raménka (21 %), ventrikulární extra systoly (17 %), sinusové tachykardie (17 %) nebo fibrilace síní (4 %). Žádný z pacientů zasažených nízkonapětovým proudem nevyžadoval srdeční intervenci nebo medikamentózní terapii. Analýza zahrnuje velkou kohortu dospělých pacientů s úrazem elektrickým proudem a neprokázala žádnou mortalitu ani bezprostřední srdeční komplikace po úrazech nízkým napětím. Naproti tomu 12 % úrazů elektrickým proudem vysokým napětím utrpělo smrt jako komplikace nehody. Celkově tato studie ukazuje minimální úmrtnost na úrazy elektrickým proudem nízkého napětí u pacientů (Warenits A. M. et al., 2020, str. 1-7).

## **2.2 Komplikace vzniklé po zasažení bleskem**

Účinky blesku závisí na mechanismu přenosu energie. V přehledu 19 obětí úderu blesku Lichtenberg et al zjistili, že pacienti s přímým mechanismem poranění jsou spojeni s vážnější dysfunkcí myokardu a perikardiálním výpotkem. Došli také k závěru, že dysfunkce byla v jeho sérii reverzibilní do dvou týdnů (Sleiwah A. et al., 2018, str. 168-172).

Cooper, autor, který přispěl ke studii od Sleiwah a kolektivu z roku 2018 uvedl vyšší výskyt úmrtí mezi pacienty s popáleninami dolních končetin a lebky ve studii, která zkoumala 66 případů poranění bleskem. Dospěla také k závěru, že smrt je nepravděpodobná, pokud nedojde k okamžité zástavě srdce. V literatuře byly popsány komplikace, které ukazují, že resuscitace byla z větší části úspěšná (Sleiwah A. et al., 2018, str. 168-172).

Muže ve věku 36 let zasáhl blesk. Blesk do něj přímo udeřil a způsobil mu zástavu srdce a zástavu dýchání. Základní první pomoc byla zahájena téměř okamžitě na místě ze strany veřejnosti. Přijíždějící tým záchranářů zahájil pokročilou kardiopulmonální resuscitaci. Počáteční zaznamenaný srdeční rytmus byla bezpulzní elektrická aktivita, která se následně přeměnila na fibrilaci komor. Spontánní návrat oběhu byl za 50 minut po incidentu. Kombinace poranění bleskem a prodloužené doby resuscitace způsobila těžkou

metabolickou acidózu, hypoxické poškození mozku a selhání více orgánů. Natržení jater, fasciotomie pravé horní a dolní končetiny, subarachnoidální krvácení, zkolabování ledvin. Vstupní rána, která byla nalezena na levé straně krku, způsobila hluboké dermální popáleniny. Proud vystoupil na pravém palci u nohy a způsobil popáleninu v celé jeho hloubce. Jeho stav se stabilizoval až jedenáctý den. Po 49 dnech byl propuštěn z jednotky intenzivní péče. Léčba postupovala dobře, ale stále trpěl slabostí proximálních svalů a mobilizoval se pomocí berlí. Jeho rány se zcela zahojily bez chirurgického zákroku (Sleiwah A. et al., 2018, str. 168-172).

Druhou obětí byl 5letý chlapec. Na místě dostal záchvat a byl převezen na pohotovost. Byla provedena endotracheální intubace. Poranění zasažené bleskem způsobilo popálení pravé týlní oblasti, pravé strany krku, břicha, levé dolní končetiny a pravého palce u nohy. Celková spálená plocha povrchu těla u chlapce byla 4 %. Jeho popáleniny byly z velké části povrchové, oblast větší popáleniny byla na pravém palci u nohy. Popálenina na palci nohy byla vyříznuta a obnovena pomocí rozštěpeného kožního štěpu (Sleiwah A. et al., 2018, str. 168-172).

Třetí obětí úderu blesku byla 7letá dívka. Utrpěla popáleniny přibližně 3,5% těla. Popáleniny byly na levé horní končetině, obou dolních končetinách a ve tříslech. Lichtenbergovy obrazce byly patrné na obou dolních končetinách. Jednalo se o povrchové popáleniny částečné tloušťky s výjimkou velmi malé oblasti hlubokého dermálního popálení na levém předloktí. Jiná vážná vnitřní zranění neutrpěla. Po šesti dnech hospitalizace byla propuštěna domů. Její popáleniny se hojily 18 dní (Sleiwah A. et al., 2018, str. 168-172).

Studie od Nagesh I. V., et al., (2015) popisuje příjem devíti pacientů poté, co je zasáhl blesk. Blesk udeřil do blízkého stromu od nich. Všichni pacienti měli přechodnou ztrátu vědomí bezprostředně po úderu blesku, která trvala několik minut z důvodu odmrštění. Dva pacienti měli na elektrokardiogramu ventrikulární ektopická onemocnění, která po třech dnech zmizela a elektrokardiogram se vrátil zpět do sinusového rytmu. Šest z devíti pacientů mělo zpočátku bradykardii po dobu tří dnů. Pět pacientů prodělalo keraunoparalýzu postihující dolní končetiny u tří pacientů a horní končetiny u dvou. Dva pacienti měli středně závažnou bolest v levé horní končetině. Jeden pacient utrpěl zlomeninu levé klíční kosti. Dva pacienti měli pruhované erytematózní kožní změny po těle. Žádný z nich neměl výstupní zranění. Při těžkém

poranění pacienti trpí těžkou srdeční zástavou, nebo s těžkou fibrilací komor a prognóza je obvykle špatná (Nagesh I. V. et al., 2015, str. 134-137).

Ve studii se u pěti pacientů (55 %) rozvinula keraunoparalýza, typ přechodné slabosti končetiny po poranění bleskem. Paralýza se zlepšila za 48–72 hodin. Obvykle postihuje dolní končetiny více než horní končetiny. Výskyt keraunoparalýzy u poranění bleskem může být až 80 %. Dva pacienti měli svalovou bolest horní končetiny vyžadující analgetika. Ve studii utrpěl jeden pacient zlomeninu klíční kosti (Nagesh I. V. et al., 2015, str. 134-137).

Kožní nálezy jsou jedním z běžných rysů u poranění bleskem, i když charakteristické Lichtenbergovy obrazce jsou vzácné. Existují čtyři typy kožních efektů, figury Ferning nebo Lichtenberg, lineární popáleniny, bodové popáleniny a tepelné popáleniny. Ve studii mělo pět pacientů kožní nálezy a z nichž dva měli charakteristické Lichtenbergovy obrazce. Úrazy bleskem obvykle způsobují povrchové popáleniny kvůli extrémně krátké době kontaktu s proudem (Nagesh I. V. et al., 2015, str. 134-137).

Ve studii od Nagesh I. Et al., (2015) měli dva pacienti komorové ektopie a šest pacientů přechodnou bradykardii. Postižení srdce je pozorováno u 46 % pacientů, jak popsal Slesinger et al. Bylo zjištěno, že celý myokard je depolarizován při úderu blesku a že srdce zůstává v nucené, trvalé kontrakci až do ukončení proudu, což může způsobit nekrózu buněk, elevaci srdečních enzymů, T-inverzi, prodloužení QT intervalu, poškození myokardu, perikardiální výpotek, poruchy vedení a dysrytmie (Nagesh I. V. et al., 2015, str. 134-137).

Poranění bleskem se může projevit poraněním oka, které může postihnout přední nebo zadní segment a v některých případech i oba segmenty. Ve studii, která se zabývá oftalmologií, jsou zdokumentovány komplikace od keratitidy, papilitidy, odchlípení sítnice, edému rohovky, tvorby šedého zákalu, která jsou dobře známá poranění oka způsobená bleskem. Produkovaná tepelná energie může také způsobit popáleniny. U všech případů byly zjištěny parafoveální cysty. Optická neuropatie i odchlípení sítnice byly také popsány jako komplikace u poškození oka po úderu bleskem (Pradhan E. et al., 2020, str. 597-607).

Na pohotovost byla přijata 26měsíční holčička s otokem očních víček a obličeje. Z důvodu zasažení bleskem tři dny zpátky. Životní funkce pacientky byly stabilní. Při očním vyšetření se objevily známky popálení 1. stupně v oblasti obličeje, zahrnující obočí, řasy i oční víčka. Při stažení víčka byla rohovka zamlžená. Po týdenní léčbě bylo dítě přehodnoceno. Zákal rohovky a spojivková chemóza ustoupily. Nález v přední komoře byl normální, ale bylo zjištěno, že má oboustranně kataraktickou čočku. Pacientka podstoupila

operaci pravého oka a následně i levého oka s týdenním odstupem. Nakonec se pacientka bez problémů zotavila (Pradhan E. et al., 2020, str. 597-607).

Druhý případ byl u 25letého muže, kde došlo k oslabení zraku poté, co se probрал z bezvědomí, které mu způsobil blesk. Uvedl, že po úrazu bleskem měl ztrátu zraku na 4–5 hodin, která se postupně zlepšovala, ale úplně zcela se nevrátila do původního stavu. Při očním vyšetření byly nalezeny parafoveolární cysty. Po nasazení léčby se zrak vrátil do normálu za 3 měsíce (Pradhan E. et al., 2020, str. 597-607).

Třetí případ byl u 16letého muže. Po úderu blesku se objevily otoky levého oka, zarudnutí, výtoky a rozmazané vidění. Pacient byl po úderu v bezvědomí po dobu 2 hodin. Pacient měl klinický obraz zánětu spojivek a byla mu předepsána lokální antibiotika a protizánětlivé látky. Po 6 týdnech se vidění vrátilo zcela do normálu (Pradhan E. et al., 2020, str. 597-607).

Čtvrtý případ byl u 25leté ženy, která utrpěla ztrátu vědomí a náhlou ztrátu zraku po úderu bleskem. Pacientka měla edém víček, edém rohovky a zadní segmenty nebyly viditelné. Po pěti dnech byly rohovky i víčka klidné. Pravděpodobnou příčinou špatného vidění byla foveální cista a optická neuropatie. Při kontrole po čtyřech měsících byla přítomna zadní katarakta (Pradhan E. et al., 2020, str. 597-607).

Blesková zranění má mnoho klinických projevů počínaje tachykardií, hypertenzí nebo palpitací srdce. Ve studii od Parsaik a kolektivu z roku 2013 popisují případ 24letého muže zasaženého bleskem. Muž neztratil vědomí, ale utrpěl popáleniny levé ruky. Byl ihned zmatený a dezorientovaný. Počáteční vyšetření odhalilo sinusovou tachykardii 140 tepů za minutu. Další srdeční patologie byly vyloučeny elektrokardiografií, echokardiografií a srdečními enzymy. Následující magnetická rezonance nezobrazila žádné jiné patologie. Po 1–2 měsících začal zažívat palpitace srdce a epizody silného třesu v oblasti zápěstí, lokte a ramene. Tyto šoky trvaly pokaždé asi 5-10 s. Také se objevilo i mravenčení prstů na rukou i nohou. Ztráta schopnost rozlišovat mezi teplými a studenými podněty po celém těle. Tachykardie přetrvávala mezi 120 a 130 tepů za minutu spojená s pocením, hypertenzí a agitovaností. Třetí měsíc od úrazu si stěžoval na příznaky posttraumatické stresové poruchy. Trpěl úzkostí, panikou, depresí a nespavostí. Neschopnost zvládnout jakoukoliv stresovou situaci. Cítil se příliš rozrušený a nebyl schopný dosáhnout hlubokého spánku. Ve spánku trpěl apnoickými pauzami. Postupně se i vytrácela schopnost jemné motoriky. Příležitostně trpěl epizodami bolestmi hlavy, bolestmi kloubů, nezřetelné řeči, nepozornosti anebo poruchy paměti. Neurologické vyšetření bylo provedeno ve 3,5 a znovu v 5 měsících po události. Odhalilo hned několik abnormality.

Výrazné chvění. I přes normální svalovou sílu ve všech končetinách měl velmi zhoršenou jemnou motoriku v rukou. Vyšetření odhalilo i nejistou chůzi a špatnou rovnováhu těla (Parsaik A. K. et al., 2013, str. 169-173).

U pacientů vystavené úderu blesku jsou velice časté renální selhání, nekróza, dysfunkce myokardu či neurologické poruchy. Audiovestibulární abnormality jsou také často hlášeny ve spojitosti s úderem blesku. Nejčastěji hlášený typ audiovestibulární abnormality je perforace tympanické membrány a změna sluchu (Turan M. et al., 2015, str. 1-4).

Studie od Turan a kolektivu z roku 2014 uvádí studii o devatenáctiletém mladém muži, který byl zasažen bleskem. Mladík utrpěl velké popáleniny a ihned po zásahu měl poruchu vědomí. Popáleniny měl na zadní straně levého ucha, na levé straně krku a levé straně hrudní kosti. Po 10 dnech pacient navštívil otorinolaryngologa, protože začal vnímat nedoslýchavost levého ucha. Byla mu diagnostikována perforace tympanické membrány. Pacientovi byla nabídnuta tympanoplastika za 6 měsíců, pokud se rána nezhojí. Pro nedoslýchavost začal pacient nosit naslouchátko (Turan M. et al., 2015, str. 1-4).

Geary a kolektiv ve své studii z roku 2015 popsali úder blesku u 26letého muže. Muž byl zcela zdravý bez předchozí lékařské anamnézy. Po úderu měl okamžitou zástavu srdce. Krátce po incidentu byla aktivována zdravotnická záchranná služba. Po příjezdu na místo posádka pacienta defibrilovala automatickým externím defibrilátorem. Okamžitě došlo k návratu spontánního oběhu. Při transportu měl pacient druhou srdeční zástavu, která byla opět zvrácena standardní pokročilou srdeční podporou života včetně defibrilace, adrenalinu a amiodaronu. Když dorazil do nemocnice, měl puls, ale byl hemodynamicky nestabilní. Neurologicky byl otupen a na Glasgow coma scale měl 3 body. Oči 1 bod, verbální reakce 1 bod a motorická odpověď také 1 bod. Jeho počáteční srdeční rytmus byl normální sinus s frekvencí 72 za minutu. Vzhledem k jeho změnám a nízkému bodovému počtu na Glasgow coma scale byl pacient intubován. Echokardiogram ukázal globálně sníženou srdeční kontraktilitu bez známek perikardiálního výpotku. Dlouhodobá hypotenze byla řešena tekutinovou resuscitací a po dlouhodobé neúčinnosti byla nasazena farmakologická varianta. Vlastní respirační frekvence byla plně závislá na ventilátoru. Kromě tachykardie bylo vyšetření srdce normální. Měl rozšířené zornice na 6 mm. Utrpěl i povrchové popáleniny na levé přední straně hrudníku a v levém třísele. Kromě toho celé tělo měl pozoruhodně pokryto skvrnami a jeho cyanostické končetiny indikovaly špatnou perfuzi. Centrální pulzy byly přítomny, ale kvůli přetrvávající hypotenzi byly distální pulzy těžce hmatatelné. V močovém sáčku byla významná hematurie. Po počátečním stabilizováním životních funkcí byla objevena

metabolická acidóza a rhabdomyolýza. Počítačová tomografické zobrazila výraznou plicní kontuzi, vzduch ve střevních stěnách, což svědčilo o ischemii střeva. Pacient byl přijat na jednotku intenzivní péče k dalšímu chlazení a resuscitaci. Po přijetí byl pacient stále více nestabilní. Jeho požadavky na vasopresory se zvýšily. Bohužel měl i zhoršující se respirační stav. Břicho a dolní končetiny se zpevnily, což vyvolalo obavy z kompartment syndromu těchto oblastí. Pacient podstoupil abdominální laparotomii, kde se odhalilo nekrotické tlusté střevo, které bylo resekováno. Pacient poté navíc podstoupil fasciotomie dolních končetin, aby se zmírnily zvýšené kompartmentové tlaky, ale nebyly identifikovány žádné známky nekrózy svalů dolních končetin (Geary S. P. et al., 2015, str. 8-11).

Při poranění bleskem jsou popáleniny běžné a mohou být pouze na povrchu kůže nebo i hlouběji. Lichtenbergovy obrazce neboli jemná rozvětvená vyrážka, která může připomínat holé větve stromu jsou typické pro poranění bleskem. Tyto kožní změny jsou povrchové, nevyžadují léčbu a během týdnů odezní. Poranění oka včetně odchlípení sítnice a katarakty jsou také běžné u poranění bleskem. Ve dvou třetinách případů dochází k ruptuře bubínku. Srdeční komplikace zahrnují náhlou smrt, srdeční kontuzi nebo koronární vazospasmus. Vasospasmus může napodobovat cévní mozkovou příhodu, infarkt myokardu, ischemii střeva, nebo způsobit kompartment syndrom. U těchto pacientů je resuscitace pravděpodobně úspěšnější než u typických pacientů se zástavou srdce. Popáleniny hlubší než jen kůže se mohou vyhodnotit traumatizací svalů, kostí, vnitřností anebo mozku. Údery blesku jsou obzvláště problematické z neurologického hlediska. Dysfunkce centrálního nervového systému může být okamžitá nebo opožděná a může zahrnovat ischemickou cévní mozkovou příhodu, poranění míchy nebo keraunoparalýzu, dočasný stav, který napodobuje poranění míchy. U těchto pacientů se může vyvinout trvalé příznaky mrtvice a léze periferních nervů. Jsou také ohroženi neurologickou morbiditou související s traumatem, např. zlomeninami míchy a zlomeninami lebky. Ve studiích bylo popsáno mozkové krvácení, ischemie a infarkt. Zasažen může být jakýkoliv orgánový systém. Myoglobinurie a rhabdomyolýza nejsou zas tak časté (Gentges J. et al., 2018, str. 1-20).

Na rozdíl od jiných úrazů elektrickým proudem mají oběti blesku vyšší úmrtnost, konkrétně 10–30 %, a jsou vážněji zraněny se 76 % s rizikem dlouhodobých následků u přeživších. Výskyt blesků je výrazně pětkrát vyšší u mužů než u žen (Ströhle M. et al., 2018, str. 1-9).

Během sledovaného období zaznamenali Ströhle a kolektiv 38 bleskových nehod s celkovým počtem 64 zraněných osob. Čtyři osoby byly nalezeny na místě mrtvé. Mezi 64



pacienty zraněnými bleskem bylo 54 mužů (84,4 %) a 10 žen (15,6 %). Bohužel kardiopulmonální resuscitace nebyla provedena v žádném incidentu z důvodu špatného vysokohorského terénu a dlouhé doby dojezdu zdravotnické záchranné služby. Bleskový proud může paralyzovat dýchací centrum v mozku, způsobit prodlouženou apnoe a vést k sekundární hypoxii a zástavě srdce. Kvůli extrémně krátkému trvání elektrického impulsu a povrchovému efektu byly popáleniny zaznamenány převážně prvního a druhého stupně. Lehká poranění zahrnovala uzavřené zlomeniny, otevřené rány bez hemodynamicky relevantního krvácení, arytmie nebo parestázie. Těžká poranění zahrnovala traumatické poranění mozku, otevřené zlomeniny anebo postižení kardiovaskulárního systému až do srdeční zástavy (Ströhle M. et al., 2018, str. 1-9).

Dva mladí dospělí byli vyšetřeni v nemocnici poté, co utrpěli nepřímá zranění bleskem. Neztratili vědomí, ale oba uvedli, že měli několik sekund paralýzu, po níž následovaly parestázie po dobu 1–2 hodin. Zavolali záchrannou službu a záchranáři je našli v jejich stanu. Oba byli při vědomí a měli normální životní funkce. Kompletní fyzikální vyšetření lékařem poukázalo na kožní léze připomínajících kapradiny na levém boku. Výsledky elektrokardiogramů a krevního obrazu byly normální, bez známek poškození orgánů. Po 6 hodinách bezproblémového monitorování srdce byli pacienti propuštěni ve stabilizovaném stavu, ale s přetrvávajícími kožními lézemi. Lichtenbergovy obrazce jsou nespálená poranění kůže, která jsou patognomická pro expozici blesku. Mezi další stopy naznačující poranění bleskem patří arytmie a rhabdomyolýza (Mutter E. et al., 2019, str. 260).

U pacientů po úderu blesku může dojít k poranění více orgánových systémů. Protože lidská kůže má relativně vysokou odolnost vůči průchodu proudu, smrt obvykle nenastává v důsledku poranění vnitřních orgánů. Naproti tomu nervové a cévní tkáně mají v lidském těle nejhorší odolnost, což vysvětluje častý výskyt neurologických a kardiologických komplikací (Tadler M. et al., 2017, str. 1-4).

Popáleniny způsobené úderem blesku jsou většinou povrchové popáleniny druhého stupně a oběti zřídka trpí rozsáhlou destrukcí tkáně nebo velkými popáleninami kůže. Pacienti by měli být ošetřováni jako ostatní popálení. Při klinickém podezření na kompartment syndrom je nutná fasciotomie. Jednou z popsaných patognomických kožních změn pozorovaných u poranění bleskem jsou Lichtenbergovy obrazce. Kde je na kůži přechodný zarudlý kapradinový vzor. Pacient, který figuruje ve studii od Tadler měl popáleniny prvního stupně a povrchové popáleniny druhého stupně. A neměl žádné důkazy pro přítomnost Lichtenbergových obrazců (Tadler M. et al., 2017, str. 1-4).

Kardiologické projevy mohou zahrnovat přímou nekrózu myokardu a poruchy rytmu. Srdeční zástava, ventrikulární fibrilace a kardiomyopatie jsou nejzávažnějšími srdečními komplikacemi a jsou obvykle smrtelné, pokud není podniknuta okamžitá resuscitace. Diferenciální diagnóza zahrnuje přímé elektrické poranění, přímé srdeční trauma, hypoxické poranění anebo myokarditidu. Kardiologickou komplikaci pacienta ze studie lze interpretovat jako somatický projev posttraumatické stresové poruchy. Pacient byl sledován na jednotce intenzivní péče a byla mu podávána podpůrná terapie. Elektrokardiogram po čtyřech týdnech sledování neukázal žádné přetrvávající abnormality (Tadler M. et al., 2017, str. 1-4).

Neurologické projevy po úderu blesku se liší od přechodných benigních příznaků až po trvalou invaliditu. Klinické nálezy mohou zahrnovat přechodnou ztrátu vědomí, přechodnou amnézii, parézu nebo parestezii. Elektrická energie může poškodit nervové membrány a svalové tkáně. Keraunoparalýza, což je dočasná paralýza končetin, je patognomická pro poranění bleskem. Časté jsou také závažné poruchy krátkodobé paměti. Naopak poranění míchy po úderu blesku nejsou zas tak časté. Neurologické projevy pacienta zahrnovaly dysestezii a difuzní alodynii v obou dolních končetinách a potíže s chůzí. Přes určité klinické zlepšení si pacient pořád stěžoval na přetrvávající symptomy u pravé nohy a v bederní oblasti i po 6 týdnech (Tadler M. et al., 2017, str. 1-4).

Renální selhání v důsledku svalové nekrózy a následné myoglobinurie je možným nálezem u obětí blesku. Renální funkce musí být tedy pečlivě sledována. V neposlední řadě by se nemělo podceňovat akutní a dlouhodobé psychické postižení. Neuropsychologické a kognitivní deficity připomínají traumatické poranění mozku a posttraumatickou stresovou poruchu. Mezi klinické příznaky patří únava, nedostatek energie, špatná koncentrace, podrážděnost a emoční nestabilita. Tyto příznaky mohou mít progresivní průběh a narušovat zaměstnání a rodinný život. Pacienti mohou v průběhu času vykazovat zlepšení. Náš pacient byl událostí psychicky traumatizován. Psychiatrické vyšetření však odmítl (Tadler M. et al., 2017, str. 1-4).

Přímé údery blesku jsou neobvyklé a často smrtelné a tvoří přibližně 5 % případů úderu elektickým proudem. Naprostá většina úrazů způsobených bleskem je nepřímá. Nakonec zemře 10–30 % obětí blesku a většina úmrtí je buď okamžitá, nebo v důsledku zástavy srdce či dýchání (Eyerly-Webb S. A. et al., 2017, str. 246-250).

Oběti úderu blesku často trpí kožními poraněními, která zahrnují lineární nebo bleskové popáleniny, bodové popáleniny, tepelné popáleniny nebo kožní léze Lichtenbergovy obrazce. Lineární bleskové popáleniny jsou často povrchové. Tečkovité popáleniny jsou malé kruhové popáleniny, které mohou být povrchové nebo hluboké. Obvykle jsou velmi malé a nevyžadují lékařské ošetření. Méně častým kožním poraněním jedinečným pro oběti úderu blesku jsou neobvyklé vzory povrchových lézí známé jako Lichtenbergovy obrazce, které také uvádějí ve své studii tihle autoři Sleiwah A. et al., (2018), Nagesh I. V. et al., (2015), Geary S. P. et al., (2015), nebo Tadler M. et al., (2017). Obrazce jsou výhradně způsobeny bleskem a technicky se nejedná o popáleniny, protože se nejedná o tepelná poranění dermis a epidermis. Tyto dramatické obrazce obvykle vyblednou během několika dní, když se tkáň vrátí do normálu. Celkově krátké trvání úderu blesku a vysoká odolnost kůže vede k minimálnímu poškození kůže. Popáleniny a léze způsobené světlem jsou obvykle drobné, povrchové a vyžadují jen malou léčbu (Eyerly-Webb S. A. et al., 2017, str. 246-250).

Navzdory povrchným popáleninám mohou po bleskovém úderu vzniknout i vnitřní elektrická poranění smrtelná. Vnitřní svaly a orgány jsou vysoce vodivé a mohou být energií úderu vážně poškozeny. Například okamžitá srdečná zástava nebo komorová fibrilace jsou primárními příčinami úmrtí obětí úderu blesku. Úder blesku může také způsobit akutní kardiovaskulární stavy, jako jsou arytmie, ischemie myokardu a dokonce i kontuze myokardu. Kromě srdečních komplikací se u 3–15 % obětí blesku může vyvinout akutní selhání ledvin. Elektrické trauma při úderu může způsobit vážné poškození svalů. U obětí je také běžné poškození smyslových orgánů jako jsou oči a uši. Mezi další následky po úrazu bleskem patří neurologické následky, hypoxická ischemická neuropatie, intrakraniální krvácení, onemocnění motorických neuronů a poruchy hybnosti. Doporučuje se důkladná monitorace všech těchto potencionálních komplikacích (Eyerly-Webb S. A. et al., 2017, str. 246-250).

Téměř každý orgánový systém může být zasažen od úderu blesku a prognóza závisí na systémových účincích. Mezi hlavní patologie patří kožní změny včetně charakteristického erytému podobné kapradině neboli Lichtenbergovy obrazce, lokalizované a hluboké popáleniny, těžké svalové kontrakce s paralýzou a nekrózou, poranění centrálního a periferního nervového systému, sekundární multiorgánové selhání a také kardiovaskulární účinky uvedl ve své studii Christophides T. (Christophides T. et al., 2017, str. 114-117).

Obrovský nárůst napětí doprovázející úder blesku může mít za následek masivní výboj, který je schopen depolarizovat celý myokard. V důsledku přijatého výboje s přidruženou rázovou vlnou má aditivní účinky na srdeční frekvenci a rytmus. Původně se mělo za to, že elektricky navozená asystolie byla nejběžnějším přítomným rytmem. A u resuscitace těchto obětí by byla velká šance na úspěch. Následný výzkum však ukázal, že komorové arytmie, včetně ventrikulární tachykardie a fibrilace, jsou mnohem častější, než se původně předpokládalo. Ve velké sérii případů od Wetliho a kolegů byly ventrikulární arytmie hlášeny záchranáři přijíždějící na místo jako první zaznamenaný rytmus u nejméně 50 % obětí. Konkrétně z 20 obětí byla ventrikulární fibrilace zaznamenána u 10 pacientů, idioventrikulární rytmus u jednoho, bezpulzová elektrická aktivita také u jednoho a asystolie u osmi pacientů. Bylo také zjištěno, že arytmie, jako je fibrilace síní, které mohou v následujících dnech snadno přejít na sinusový rytmus, bylo pozorováno méně. Mezi další důležité změny na elektrokardiogramu, které nejsou spojeny s žádnou arytmií, patří prodloužení QT intervalu. U pacientů se většinou interval QT do 1 měsíce normalizoval. Změny na elektrokardiogramu, které svědčí pro ischemii myokardu elevace a deprese ST segmentu, stejně jako rozšířené inverze T vlny. Výše popsané tachyarytmie mohou mít také sekundární nepříznivý účinek v důsledku nedostatku kyslíku v myokardu (Christophides T. et al., 2017, str. 114-117).

Srdeční kontuze je také jedna z velkých komplikací úmrtnosti a morbidit u obětí zasažených bleskem. Může vést k okamžité smrti. Bylo zjištěno, že oběti tomuto typu zranění podlehnou i několik dní po události. V závislosti na rozsahu poškození myokardu a stupni omráčení srdce se u pacientů může vyvinout kardiogenní šok. Pečlivé kardiiovaskulární monitorování může také včas odhalit perikarditidu. Bylo zjištěno, že perikardiální výpotky se vyvíjejí během prvních 2 týdnů a ve vzácných případech se perikarditida může i znovu objevit několik měsíců po události. Je třeba i zmínit mezi komplikace spojené s úderem blesku trauma aorty, která mohou vést i k fatálním disekcím srdečnice (Christophides T. et al., 2017, str. 114-117).

Studie uvádí, že během jejich sledovací doby se na pohotovost dostavilo 9 pacientů kvůli zranění způsobenému bleskem. Pacienti byli ve věkovém rozmezím 24–58 let. Bezprostřední účinky po úderu blesku mohou způsobit asystolii, fibrilaci komor nebo přímé poškození centrálního nervového systému, nebo dýchacího centra. Poškození buněčných membrán nervů má za následek změny v buněčné permeabilitě což vede k buněčnému edému.

Údery blesku častěji postihují centrální nervový systém než periferní nervy. Dále může být navozena dysfunkce autonomního nervového systému, která vede k přechodné paralýze a parestézii. Keraunoparalýza se používá k popisu krátkodobé slabosti končetin spojené se stavem po úderu blesku. Příznaky obvykle odezní v řádu minut nebo hodin. Keraunoparalýza byla také popsána ve studiích jako komplikace spojená s úrazem bleskem u těchto autorů Tadler M. et al., (2017), Gentges J. et al., (2018) a Nagesh I. V. et al., (2015). Trvalá dysfunkce nervového systému je vzácná. Další popisované neurologické nálezy zahrnují krátkodobou ztrátu vědomí, kóma, záchvaty, bolesti hlavy, zvýšený intrakraniální tlak a intrakraniální krvácení. Nebo opožděné syndromy jako jsou myelopatie nebo spinální svalová atrofie. Hluchota je také běžná u obětí bleskového úderu. Nejčastější příčinou je ruptura bubínku v důsledku tlakových vln. Podle přehledu od Pfortmueller C. A. a kolektivu z roku 2012 trpí oběti zásahu bleskem nejčastěji poranění kardiovaskulárního systému. Bylo zjištěno, že při úderu blesku je celý myokard depolarizován a že srdce zůstává v nucené, trvalé kontrakci až do ukončení proudu. Což udávají i Christophides T. et al., (2017), a Nagesh I. V. et al., (2015) ve svých studiích. Depolarizace srdce může způsobit nekrózu buněk, nebo prodloužení QT intervalu. Úder blesku může také způsobit poškození myokardu, perikardiální výpotek, poruchy vedení vzruchu a dysrytmie. Těžké popáleniny po úderu blesku jsou vzácné. Popáleniny třetího stupně jsou zejména na vstupních a výstupních bodech blesku. Po úderu bleskem může dojít k i selhání ledvin (Pfortmueller C. A et al., 2012, str. 1-6).

### **2.3 Význam a limitace dohledaných poznatků**

Publikované studie předkládají aktuální dohledané poznatky o komplikacích spojené s elektro traumatem. Nutno podotknout, že všechny publikované studie byly prováděny v nejrůznějších státech světa, a proto se výsledky neshodují ve všech bodech. Autoři pak často uvádí demografii jako jeden z výrazně ovlivňujících faktorů, kvůli méně častým výskytům úderu blesků. Publikované studie byly tudíž limitovány zkoumaným vzorkem pacientů.

Z aktuálně dohledaných poznatků o úrazech elektrickým proudem nelze paušalizovat, jaká komplikace je zcela jednoznačná a stejná u všech zasažených osob, díky rozdílnosti v čase a délce trvání průchodu elektrické energie tělem. Ve všech publikovaných studiích nebyly zařazeny do zkoumaného vzorku těhotné ženy. Pro tuto skutečnost je vhodné v budoucnu realizovat odborné studie, které by se zabývaly tématikou úrazů elektrickým proudem z pohledu přednemocniční a navazující nemocniční péči o tyto specifické úrazy. V rámci rešerše nebyla dohledaná žádná studie, která by se zabývala touto problematikou v ČR.

Vybrané studie a informace, které byly dohledány, zařazené do této práce jsou limitovány výběrem klíčových slov při provedené rešeršní činnosti a jazykovou úrovní autorů, které tuto práci provázely.

## Závěr

Navzdory rostoucímu počtu výjezdů ZZS k traumatickým úrazům je procento obětí zasažené elektrickým proudem z celkového počtu výjezdů velmi mizivé. Přesto má elektrický proud vysokou mortalitu a fatální komplikace na obětech.

První dílčí cíl sumarizuje dohledané poznatky o komplikacích po úrazu elektrickým proudem, jak nízkým, tak i vysokým napětím. Z dohledaných výsledků jasně vyplývá, že nejčastěji zasaženou skupinou byli muži, což si autoři studií vysvětlují tím, že muži pracují více v zaměstnáních zaměřených na práci s elektřinou, než ženy.

Oběti, které jsou zasažené proudem nízkého napětí, většinou neutrpí srdeční zástavu ani ztrátu vědomí. Mezi nejčastější komplikace vzniklé po elektrickém úderu nízkým napětím patří: popáleniny, sinusové tachykardie, které se po pár dnech upraví samy, bolesti hlavy, katarakty, nebo parestezie. Autoři studií Günaydin, Bounds a Teodoreanu se shodli na tom, že u dětí v předškolním věku se jedná především o popáleniny úst z důvodu cucání elektrické prodlužovací šňůry.

Vysoké napětí má větší výčet komplikací, které vzniknou ihned po úrazu. Mezi nejčastější patří okamžitá srdeční zástava, nebo zástava dechu. Pokud pacient přežil, hrozí mu další různé fatální komplikace. Mezi jedny z nejzávažnějších se řadí srdeční arytmie. Nejčastěji oběti trpí komorovou i síňovou fibrilací a na EKG záznamu se pak objevují změny v ST úseku, nebo se prodlouží QT interval. Ztráta vědomí, poruchy paměti, poruchy koncentrace, deprese, úzkost, závratě a posttraumatická stresová porucha patří také mezi nejčastější komplikace neurologického rázu. Mezi další můžeme zařadit popáleniny, zlomeniny dlouhých kostí, nekróza tkáně, selhání ledvin, amputace končetiny, rhabdomyolýza, kompartment syndrom a s ním spojená fasciotomie. Proto u každého pacienta je velmi nutné po úrazu nepřetržitá monitorace až 48 hodin.

Druhý dílčí cíl je zaměřen na komplikace vzniklé po úderu bleskem. Autoři studií jako nejčastější uvádí srdeční zástavu, zástavu dechu, ztrátu vědomí, srdeční arytmie, jako jsou komorové arytmie, včetně ventrikulární tachykardie a fibrilace. Po natočení 12 svodového EKG se ukáže prodloužení QT intervalu a deprese ST úseku. Studie od Pfortmueller, Nagesh uvedla kardiální výpotek a depolarizaci myokardu. Popáleniny jsou nejčastěji 2 stupně, ale místa vstupu a výstupu blesku jsou postižena více a tam už studie uvádí 3 stupeň popálení. Mezi

typické popáleniny u zasažení bleskem patří Lichtenbergovy obrazce, které připomínají kapradinový vzor. Díky hlubokému popálení jsou zasaženy kosti, svaly i orgány. Může se objevit svalová nekróza a v důsledku vaskulární ischemie a svalovému edému se objevují i kompartmentové syndromy, které potřebují fasciotomii. Klinické nálezy zahrnují paralýzy, parestázie a autoři Pfortmueller, Tadler, Gentges a Nagesh uvedli i keraunoparalýzu, jako velice častou komplikaci. Tupá poranění jako jsou zlomeniny dlouhých kostí se často vyskytují u odmrštěných obětí. Mezi další závažné následky patří neurologické projevy, jako jsou neuropatie, zvýšený intrakraniální tlak, intrakraniální krvácení, poruchy paměti, poruchy koncentrace, poruchy řeči, deprese, poruchy pohybu a záchvaty. Po úderu bleskem dochází i k selhání ledvin, kataraktě anebo perforaci tympanické membrány.

Přehledová práce byla sepsána s cílem vytvoření uceleného přehledu aktuálních informací týkajících se problematiky úderu elektrickým proudem. Hlavní cíl této práce byl splněn.

Informace získané rešeršní činností mohou pomoci zdravotnickým pracovníkům a studentům zdravotnických oborů k rozšíření vědomostí o dané tématice.



## Referenční seznam

BOUNDS E. J., M. KHAN, a S. J. KOK. 2021. *Electrical Burns*. In StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. [online]. 1-7 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519514/>

BRANDÃO, C., M. VAZ, I. M. BRITO, B. FERREIRA, R. MEIRELES, S. RAMOS, a L. CABRAL. 2017. *Electrical burns: a retrospective analysis over a 10-year period*. Annals of burns and fire disasters, [online]. 30(4), 268–271 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6033477/>

BRYCHTA, Pavel a kol. 2017. *Přednemocniční péče o termický úraz: Prvotní odborné ošetření popáleninového traumatu*. ČESKÁ LÉKAŘSKÁ SPOLEČNOST J. E. PURKYNĚ. URGMED [online], 8-12, [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: [https://www.urgmed.cz/postupy/2017\\_popaleniny.pdf](https://www.urgmed.cz/postupy/2017_popaleniny.pdf)

DING, H., M. HUANG, D. LI, Y. LIN a W. QIAN. 2019. *Epidemiology of electrical burns: a 10-year retrospective analysis of 376 cases at a burn centre in South China*. The Journal of international medical research, [online]. 48(3) 1-10 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0300060519891325>

EWERLY-WEBB, S. A., R. SOLOMON, S. K. LEE, R. SANCHEZ, E. H. CARRILLO, D. L. DAVARE, C. KIFFIN a A. ROSENTHAL. 2017. *Lightning Burns and Electrical Trauma in a Couple Simultaneously Struck by Lightning*. Clinical practice and cases in emergency medicine, [online]. 1(3), 246–250 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5811/cpcem.2017.4.33706>

GEARY, S. P., T. SPENCER a P. V. TILNEY. 2015. *A 26-year-old man struck by lightning*. Air medical journal, [online]. 34(1), 8–11 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.amj.2014.10.003>

GEMME, MD, SETH, GREGORY JAY, MD a WILLIAM BINDER, MD. 2015 *An Electrical Burn* [online].42-44 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <http://www.rimed.org/rimedicaljournal/2015/07/2015-07-42-cpc-gemme.pdf>

GENTGES, J., C. SCHIECHE. 2018. *Electrical injuries in the emergency department: an evidence-based review*. Emergency medicine practice [online]. 20(11), 1–20 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30358379/>

GUNAYDIN, Y. K., C. G. YILDIZ, A. CAGLAR, N.B. AKILLI, R. KOYLU, CAND. 2016. *Investigation of electrocardiography changes and, specifically, changes in the TpTe interval and TpTe/QT ratio in patients presenting with electrical injuries*. The Free Library[online]. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: [https://www.thefreelibrary.com/Investigation of electrocardiography changes and, specifically,...-a0468141245](https://www.thefreelibrary.com/Investigation+of+electrocardiography+changes+and,+specifically,+...-a0468141245)

GHAVAMI, Y., M. R. MOBAYEN, a R. VAGHARDOOST. 2014. *Electrical burn injury: a five-year survey of 682 patients*. Trauma monthly, [online]. 19(4), 29-33 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5812/traumamon.18748>

HAIDER, A., M. ZUBAIR, Z. ABIDEEN, SAIMA, IHSANULLAH, A. MUNER, MN. KHAN, MUSARAT, A. Khattak. 2017. *OUTCOME OF ELECTRIC SHOCK INJURIES: AN EXPERIENCE AT THE LADY READING HOSPITAL PESHAWAR*. Journal of Postgraduate Medical Institute [online]. 31(2), 127-130 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://jpmi.org.pk/index.php/jpmi/article/view/1866>

CHRISTOPHIDES, T., S. KHAN, M. AHMAD, H. FAYED a R. BOGLE. 2017. *Cardiac Effects of Lightning Strikes*. Arrhythmia & electrophysiology review, [online]. 6(3), 114–117 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.15420/aer.2017:7:3>

JESCHKE, M. G., M.E. van BAAR, M. A. CHOUDHRY, K. K. CHUNG, N. S. GIBRAN a S. LOGSETTY. 2020. *Burn injury*. Nature reviews. Disease primers

online]. 6(1), 1-25 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41572-020-0145-5>

KUMAR S. S., A. R. NARAYAN, S. GOPAL, J. G. KUMAR a A. AGRAWAL. 2015. *High voltage electrical shock with multiple life-threatening injuries*. International journal of critical illness and injury science, [online]. 5(4), 266–268 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.4103/2229-5151.170847>

KURT, A., K. YILDIRIM, Ç. YAGMUR, O. KELAHEMETOGLU, O. ASLAN, M. GÜMÜS a E. GÜNEREN. 2016. *Electrical burns: Highlights from a 5-year retrospective analysis*. Ulusal travma ve acil cerrahi dergisi = Turkish journal of trauma & emergency surgery: TJTES, [online]. 22(3), 278–282 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.5505/tjtes.2015.55491>

KYM, D., D. K. SEO, G. Y. HUR a J. W. LEE. 2015. *Epidemiology of electrical injury: Differences between low-and high-voltage electrical injuries during a 7-year study period in South Korea*. Scandinavian journal of surgery: SJS: official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society [online]. 104(2), 108–114 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/1457496914534209>

LUNAWAT, A., S. M. DATEY, A. VISHWANI, R. VASHISTHA, V. SINGH a T. MAHESHWARI. 2015. *Evaluation of quantum of disability as sequelae of electric burn injuries*. Journal of clinical and diagnostic research: JCDR, [online]. 9(3), 1-4 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12243.5625>

MUTTER, E., a A. LANGLEY. 2019. *Cutaneous Lichtenberg figures from lightning strike*. CMAJ: Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne, [online]. 191(9), 260 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1503/cmaj.181221>

NAGESH, I. V., P. BHATIA, S. MOHAN, N. S. LAMBA a S. SEN. 2015. *A bolt from the blue: Lightning injuries*. Medical journal, Armed Forces India, [online]. 71, 134–137 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2013.08.004>

PARSAIK, A. K., J. E. AHLKOG, W. SINGER, R. GELFMAN, S. H. SHELDON, R. J. SEIME, J. M. CRAFT, J. P. STAAB, B. KANTOR a P. LOW. 2013. *Central hyperadrenergic state after lightning strike*. Clinical autonomic research: official journal of the Clinical Autonomic Research Society, [online]. 23(4), 169–173 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10286-013-0197-7>

PFORTMUELLER, C. A., Y. YIKUN, M. HABERKERN, E. WUEST, H. ZIMMERMANN a A. K. EXADAKTYLOS. 2012. *Injuries, sequelae, and treatment of lightning-induced injuries: 10 years of experience at a swiss trauma center*. Emergency medicine international [online]. 1-6 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2012/167698>

PRADHAN, E., A. KHATRI, A. A. AHMED, A. J. LAMA, R. KHANAL, L. BAJRACHARYA a S. ADHIKARI. 2020. *Lightning Injury to Eye: Brief Review of the Literature and Case Series*. Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.), [online]. 14, 597–607 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S242327>

SAHIN, I., S. OZTURK, D. ALHAN, C. AÇIKEL a S. ISIK. 2011. *Cost analysis of acute burn patients treated in a burn centre: the Gulhane experience*. Annals of burns and fire disasters, [online]. 24(1), 9–13 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3187939/>

SHIH, J. G., S. SHAHROKHI, M. G. JESCHKE., 2017. Review of Adult Electrical Burn Injury Outcomes Worldwide: *An Analysis of Low-Voltage vs High-Voltage Electrical Injury*. J Burn Care Res. [online]. 38(1) 293-298 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: doi:10.1097/BCR.0000000000000373

SLEIWAH, A., J. BAKER, C. GOWERS, D. M. ELSON a A. RASHID. 2018. *Lightning injuries in Northern Ireland*. The Ulster medical journal, [online]. 87(3), 168–172. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: [https://pdfs.semanticscholar.org/14c9/d3d12b98fc4337dd4f9fce7b843aae781738.pdf?\\_ga=2.253299721.1423912066.1650469434-2071412547.1637673236](https://pdfs.semanticscholar.org/14c9/d3d12b98fc4337dd4f9fce7b843aae781738.pdf?_ga=2.253299721.1423912066.1650469434-2071412547.1637673236)

STRÖHLE, M., B. WALLNER, M. LANTHALER, S. RAUCH, H. BRUGGER a P. PAAL. 2018. *Lightning accidents in the Austrian alps-a 10-year retrospective nationwide analysis*. Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine, [online]. 26(1), 74 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s13049-018-0543-9>

TADLER M., E. RÜEGG, M. NIQUILLE, B. GENCER, O. P. GAUTSCHI, B. PITTET-CUÉNOD a A. MODARRESSI. 2017. *Multi-organ injuries due to a lightning strike: a case report highlighting the importance of a multi-disciplinary approach*. Case reports in plastic surgery & hand surgery, [online]. 4(1), 1–4 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/23320885.2016.1275646>

TEODOREANU, R., S. A. POPESCU a I. LASCAR. 2014. *Electrical injuries. Biological values measurements as a prediction factor of local evolution in electrocutions lesions*. Journal of medicine and life, [online]. 7(2), 226–236 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: [https://pdfs.semanticscholar.org/30a7/271391a61e2deb4736d58cb9aebccc8b9f4f.pdf?\\_ga=2.251838473.1423912066.1650469434-2071412547.1637673236](https://pdfs.semanticscholar.org/30a7/271391a61e2deb4736d58cb9aebccc8b9f4f.pdf?_ga=2.251838473.1423912066.1650469434-2071412547.1637673236)

TRUONG, T., T. V. LEE, D. L. SMITH, S. P. KANTROW a V. N. TRAN. 2017. *Low-voltage electricity-induced lung injury*. Respiriology case reports, [online]. 6(2),1-3 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/rcr2.292>

TURAN, M., F. KALKAN, N. BOZAN, Í. ÖZCALIMLI, M. ZEKI ERDEM, A. YALINKILIC a M. F. GARCA. 2015. *Isolated Sensorineural Hearing Loss as a Sequela after Lightning Strike*. Case Reports in Otolaryngology, [online]. 1-4 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2015/738416>

ŠEBLOVÁ, Jana a Jiří KNOR. 2013. *Urgentní medicína v klinické praxi lékaře*. Praha: Grada Publishing, ISBN 978-80-247-4434-6.

WAERENITS, A. M., M. AMAN, C. ZANON, F. KLIMITZ, A. A. KAMMERLANDER, A. LAGNER, J. HORTER, U. KNESER, A. S. BERGMEISTER-BERGHOFF, K. F. SCHOGENDORFER a K. D. BERGMEISTER. 2020. *International Multi-Center Analysis of In-hospital Morbidity and Mortality of Low-Voltage Electrical Injuries*. *Frontiers in medicine*, [online]. 1-7 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.590758>

ZEMAITIS M. R., L. A. FORIS, R. A. LOPEZ, M. R. HUECKER. 2021. *Electrical Injuries* In: *StatPearls* [online]. 1-14[cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448087/>

## Seznam zkratek

USA	Spojené státy americké
ZZS	Zdravotnická záchranná služba
EKG	Elektrokardiogram