



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**Algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče
při úrazech elektrickým proudem**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: [Specializace ve zdravotnictví](#)

Autor: David Buchtele

Vedoucí práce: PhDr. Andrea Hudáčková, Ph.D.

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „*Algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče při úrazech elektrickým proudem*“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 9.5.2018

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce PhDr. Andree Hudáčkové, Ph.D. za její čas, ochotu a odborné rady, které mi poskytovala při zpracování práce.

Algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče při úrazech elektrickým proudem

Abstrakt

S elektrickým proudem se v běžném životě setkáváme téměř na každém kroku. Při nedodržování bezpečnostních opatření, při náhodných situacích, při kterých dochází ke kontaktu s elektrickým proudem vznikají úrazy, které mohou člověka ohrozit i na životě. Tyto situace vznikají především vlivem nedostatečné informovanosti o rizicích, které elektrický proud přináší. U takových stavů je důležité poskytnout kvalitní přednemocniční neodkladnou péči a následnou akutní nemocniční péči.

Účinek elektrického proudu závisí na celé řadě faktorů, které naleznete v této bakalářské práci. Jedná se zejména o velikost proudu, druh proudu, odporu, frekvenci, cestě průchodu a doby jeho působení. Poranění zahrnující druh tohoto traumatu jsou z největší části popáleniny různého rozsahu. Vznikají především při působení vysokého napětí. Dalším projevem mohou být poruchy srdečního rytmu, jejichž monitoring se nesmí v akutní péči podceňovat. Dále může dojít např. k poškození mozku projevující se poruchou vědomí, renálnímu selhání a sekundárnímu poškození, které vznikne následným pádem. Nesmíme také zapomenout na pozitivní účinky elektrického proudu, které se v moderní medicíně stávají neodmyslitelnou součástí. Téma ochrany před úrazem elektrickým proudem pojednává o bezpečnostních opatření zaměřené zvláště na prevenci v zaměstnání a v domácnostech. Součástí bakalářské práce je také zmíněný úraz bleskem, jakož to silný přírodní výboj, který způsobuje celou řadu komplikací. Jedná se o popáleniny, kardiální poškození, poškození zraku a sluchu. Může nastat i náhlá smrt.

Nejdůležitějším tématem celé práce je terapie v přednemocniční a akutní nemocniční péči. Během terapie u takto závažného traumatu je zapotřebí včasné a adekvátně zasáhnout. Konečný stav pacienta se odvíjí od kvality poskytované přednemocniční neodkladné péče a navazující akutní nemocniční péče.

Cílem bakalářské práce bylo na základě dostatečného množství aktuálních informací stanovit stručný přehled o úrazech elektrickým proudem a následně sestavit stručný algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče. Algoritmus popisuje zjednodušený postup při řešení těchto závažných úrazů.

Tato bakalářská práce s názvem Algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče při úrazech elektrickým proudem byla sepsána z dostupných českých

a zahraničních zdrojů, které se tímto tématem zabývají. K získání dostatečného množství informací byla prostudována celá řada zahraničních a českých odborných časopisů, kazuistik a zahraničních odborných internetových článků sepsaných registrovanou odbornou společností.

Setká-li se zdravotnický pracovník, ale i běžný člověk ve svém životě s úrazem způsobeným elektrickým proudem a na základě znalostí získaných z této bakalářské práce by takovou situaci úspěšně zvládl, stanovený cíl by splnil svůj účel.

Klíčová slova: úraz elektrickým proudem; elektrický proud; přednemocniční neodkladná péče; akutní nemocniční péče, algoritmus.

An Algorithm of the Pre-hospital and Acute Hospital Care when Treating Electrical Injuries

Abstract

We come into contact with the electric current on daily basis. Not following the safety instructions or some unexpected situation can result in injuries that can even endanger one's life. These situations arise primarily due to the lack of awareness of the risks of the electric current. In such conditions, it is important to provide high-quality pre-hospital emergency care followed by an acute hospital care.

The effects of electrical current depend on a number of factors which are mentioned in this bachelor thesis. These include primarily the strength and type of the current or resistance, the frequency, the impact track and the duration of its action. The injuries include mostly burns of various degrees. These are caused mainly by a high voltage. Another manifestation may be heart rhythm disorders (the monitoring should not be underestimated during the acute care). In addition, they can cause brain damage - which is manifested by the loss of consciousness, - renal failure, and secondary damage as a consequence of the fall. However, we cannot forget the positive effects of the electric current, which are an essential part of the modern medicine. The topic of the electric injury protection deals with the safety measures focusing primarily on the job and household injury prevention. Part of the bachelor thesis is dedicated to the lightning strike - a strong, natural discharge - injuries, which can cause a number of complications: burns, cardiac disorders, eyesight and hearing damage. Sudden death may also occur.

The main topic of this thesis is the pre-hospital emergency care and the acute hospital care. When treating such a severe trauma, it is necessary to intervene immediately and adequately. The seriousness of the health-consequences depends on the quality of the pre-hospital emergency care and the follow-up acute hospital care.

The aim of this bachelor thesis was to provide a brief overview of electrical injuries based on a sufficient amount of current information and to compile a brief algorithm of pre-hospital emergency care and the acute intensive care. The algorithm describes a simplified procedure for dealing with these serious injuries.

Relevant Czech and foreign sources available were used in this bachelor's thesis with the title An Algorithm of the Pre-hospital and Acute Hospital Care when Treating Electrical Injuries. In order to obtain a sufficient amount of information, a number

of foreign and Czech professional journals, case reports and foreign professional internet articles written by registered professionals had to be read.

The intended goal would be fulfilled when a healthcare specialist or a normal person encounters an electric injury and successfully deals with the situation based on the knowledge gained from this bachelor thesis.

Key words: the electric injury; electric current; pre-hospital emergency care; acute hospital care; algorithm.

Obsah

Obsah	8
Úvod	11
Cíl	12
Metodika	13
1 Úraz elektrickým proudem	14
1.1 Poškození organismu elektrickým proudem	15
1.2 Faktory určující závažnost elektrotraumatu	16
1.2.1 <i>Intenzita</i>	16
1.2.2 <i>Frekvence</i>	16
1.2.3 <i>Odpor kůže</i>	16
1.2.4 <i>Dráha proudu</i>	17
1.2.5 <i>Vliv proudové cesty na charakter poškození</i>	17
1.2.6 <i>Doba průchodu a velikost kontaktní plochy</i>	17
1.2.7 <i>Stejnoseměrný proud</i>	18
1.2.8 <i>Střídavý proud</i>	18
1.2.9 <i>Účinek proudu na lidský organismus:</i>	19
1.2.10 <i>Nízkofrekvenční střídavý proud</i>	19
1.2.11 <i>Vysokofrekvenční střídavý proud</i>	20
1.2.12 <i>Druhy elektrotraumatu</i>	20
1.2.13 <i>Nízké napětí</i>	20
1.2.14 <i>Vysoké napětí</i>	21
1.3 Lokální poškození	21
1.3.1 <i>Proudové známky – přímé poškození</i>	21
1.3.2 <i>Elektrický oblouk</i>	22
1.3.3 <i>Elektrický výboj</i>	23
1.3.4 <i>Popálení ze vzníceného oděvu</i>	23

1.4	Sekundární poškození	24
1.4.1	<i>Neurologické komplikace – poranění periferních nervů</i>	24
1.4.2	<i>Kardiovaskulární a plicní komplikace</i>	25
1.4.3	<i>Břišní, kosterní, kloubní, oční a systémové komplikace</i>	26
1.4.4	<i>Psychosociální komplikace</i>	28
1.4.5	<i>Těhotenství</i>	28
1.5	Využití elektrického proudu v medicíně	29
1.5.1	<i>Elektrodiagnostika, elektrostimulace (Impulzoterapie), elektrogymnastika</i> 29	
1.5.2	<i>Elektrostimulace</i>	29
1.5.3	<i>Defibrilace</i>	30
1.5.4	<i>Kardioverze</i>	30
1.5.5	<i>Elektrochirurgie</i>	31
1.5.6	<i>Elektrošoková terapie</i>	31
1.6	Ochrana před úrazem elektrickým proudem	31
1.6.1	<i>Základní princip ochrany před úrazem elektrickým proudem</i>	32
1.6.2	<i>Prevence</i>	32
2	Terapie	33
2.1	První pomoc	33
2.2	Přednemocniční neodkladná péče	34
2.3	Akutní nemocniční péče	36
3	Úraz bleskem	38
3.1	Výskyt a patofyziologie	38
3.2	Druhy blesků	39
3.3	Mechanismus úrazu bleskem	39
3.4	Příznaky úrazu bleskem	40
3.5	Prevence	40

3.6	Diagnostika	41
3.7	Poranění oka.....	42
3.8	Porucha sluchu po zasažení bleskem	43
3.8.1	<i>Elektromechanické poškození buněčných membrán elektrickým proudem</i> 43	
3.8.2	<i>Popálení</i>	44
3.8.3	<i>Tlaková vlna</i>	44
3.9	Kardiovaskulární poranění po úrazu bleskem.....	44
3.9.1	<i>Patogeneze</i>	44
3.9.2	<i>Porucha srdečního rytmu</i>	45
3.9.3	<i>Změny na EKG</i>	45
3.9.4	<i>Poškození myokardu</i>	45
3.10	Odhad rizika a rozhodování zásahu záchranářů	46
4	Závěr	47
4.1	Výstup z práce.....	48
4.1.1	<i>Algoritmus přednemocniční péče:</i>	48
4.1.2	<i>Algoritmus akutní nemocniční péče:</i>	49
5	Seznam použitých zdrojů	50
6	Přílohy	57
7	Tabulky	58
8	Seznam použitých zkratk	63

Úvod

„Elektrina, čas, zemská přitažlivost, láska. Všechny síly, který uměj člověku skutečně nakopat zadek, jsou neviditelný“.

David Mitchell (1969)

S úrazy, způsobené elektrickým proudem, které můžou dotyčného ohrozit na životě, se v dnešním modernizovaném světě můžeme setkat doma, v práci, na ulici, ve městech, ale i ve volné přírodě. Dle dostupných statistik se s typem tohoto poranění setkávají především elektrikáři, mladí muži a děti. Lidstvo začalo elektrický proud využívat v 19. století. Četnost těchto úrazů je i přes značné úsilí dnešních preventivních opatření velická. Ve zmíněných preventivních opatření se společnost zaměřuje především na rizikové skupiny vyplývající ze statistik. Významnou roli v prevenci hrají zejména bezpečnostní opatření zaměstnanců a různé ochranné prostředky v domácnostech, které se využívají především k ochraně malých dětí.

Poranění zapříčiněné elektrickým proudem dělíme podle typu poranění na elektrické, termické a mechanické. Vlivem těchto typů poranění se u takových pacientů setkáváme s celou řadou projevů poranění. Jsou to zejména křeče, poruchy vědomí, poškození zraku, sluchu a jiná různá polytraumata způsobené sekundárním poškozením elektrotraumatu. U elektrického proudu musí mít všichni na paměti, že i bez projevů závažnějších poranění, se může stav s odstupem času závažně zhoršit. Proto by se v takových případech neměla podceňovat odborná vyšetření. Dalším faktorem, který vypovídá o závažnosti poranění způsobených elektrickým proudem, jsou jeho vlastnosti. Těmito vlastnostmi se rozumí především velikost napětí a zda se jedná o proud stejnosměrný nebo střídavý. Od těchto vlastností se odvíjí následky poranění a postupy v přednemocniční a akutní nemocniční péči.

Jak již vyplývá z předešlého textu, jsou úrazy elektrickým proudem a jejich následná přednemocniční a akutní nemocniční péče aktuálních tématem, které by se nemělo v podceňovat. Téma bylo vybráno na základě domněnky, že postup v přednemocniční a akutní nemocniční terapii není zcela jasný. Práce bude poskytovat dostatečné množství aktuálních dostupných informací o dané problematice především pro pracovníky ve zdravotnictví, ale i pro širokou veřejnost a tím může zkvalitnit a objasnit stručný postup dosud poskytované přednemocniční a akutní nemocniční péče.

Cíl

Prvním cílem této bakalářské práce je souhrnně ozřejmit na základě prostudování a porovnání nejnovějších poznatků z české i zahraniční odborné literatury komplexní problematiku úrazů elektrickým proudem v přednemocniční a akutní nemocniční péči. Po prostudování dostatečného množství aktuální odborné literatury, bylo docíleno názoru, že mnoho autorů stanovuje různé doporučení, ale jednotný a stručný postup v přednemocniční, ale i v akutní nemocniční péči není dostatečně zpracovaný. Proto je dalším cílem této práce sestavení jednoduchého postupu ve formě algoritmů, který se bude věnovat zvláště přednemocniční a akutní nemocniční péči. Při řešení úrazu elektrickým proudem je nejdůležitější v prvotní fázi s ohledem na vlastní bezpečí odhadnout o jaký druh elektrotraumatu se jedná a dále podle jeho následků postupovat v poskytování přednemocniční neodkladné péče. Podle kvality poskytované přednemocniční neodkladné péče se odvíjí kvalita akutní nemocniční péče. Tato bakalářská práce bude sloužit jako výukový materiál pro studenty, zdravotnické pracovníky a pro všechny, kteří se potýkají s úrazy elektrickým proudem. Dále bude sloužit jako podnět pro zlepšení kvality v poskytování přednemocniční neodkladné péče a akutní nemocniční péče při těchto úrazech.

Metodika

Tato teoretická práce je zpracována metodou review a syntézy informací. Po důkladném prostudování české i zahraniční odborné literatury je vytvořen na základě získaných aktuálních informací stručný přehled informací o dané problematice úrazů elektrickým proudem a algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče, který popisuje zjednodušený postup při řešení těchto úrazů.

Informace o zpracovaném tématu úrazu elektrickým proudem a jeho následné terapii jsou sepsány z vědeckých publikací. Tyto publikace se zabývají problematikou obecně, ale i ze zdrojů úzce souvisejících s daným tématem. Některé informace jsou čerpány ze zahraničních a českých odborných časopisů, kazuistik, ale především ze zahraničních odborných internetových článků sepsaných registrovanou odbornou společností.

Z odborných českých časopisů bych se zmínil především o časopisu České oftalmologické společnosti a Slovenské oftalmologické společnosti a časopisu Otorinolaryngologie a foniatrie. Ze zahraničních časopisů bych vyzdvihl především časopisy Indian pacing and electrophysiology journal, Journal of Paramedic Practice, Journal of burn care & research a Canadian Medical Association Journal. Dále bych zmínil některé odborné články vyhledané v českých a mezinárodních internetových databázích, jakými jsou např. Medscape a NCBI. Mezi takové články patří především Electrical Burn Injuries, Electrical and Lightning Injuries, Lightning-Strike Injuries a Electrical Injuries in Emergency Medicine. Z české odborné literatury vyzdvihují především publikaci Komplexní léčba popáleninového traumatu od autorů Radany Königové a Josefa Bláhy, kde je téma elektrotraumatu stručně a výstižně zpracované.

1 Úraz elektrickým proudem

Lidská populace se obávala energie blesku po dlouhých tisících let. Thomas Alva Edison v roce 1879 objevil elektrické světlo, které nám slouží, ale také ohrožuje. Jeho systémy pracovaly na principu stejnosměrného proudu, jenž nebyly vhodné k přenosu energie s vysokým napětím na velkou vzdálenost. Nikola Tesla sestrojil vynálezy obsahující střídavý proud, které dodnes ovládají naše domovy, jsou jimi např. rádio nebo bezdrátový přenos (Kent, 2013). Dalším průkopníkem byl George Westinghouse, který odkoupil od Nikoly Tesly patenty pro výrobu střídavého proudu. Ten dokázal za pomoci transformátorů zvýšit napětí k přenosu a rozdělení energie a snížit napětí pro spotřebu energie. Spory mezi zastánci střídavého a stejnosměrného proudu se vlekly dlouhých deset let. Ukončila je výstavba elektrárny na Niagárských vodopádech v roce 1895 a výroba elektrického křesla určeného popravám z roku 1900, kde byl využit střídavý proud (Königová et al., 2010).

Elektrický náboj částic, jakými jsou elektrony nebo protony, je základem veškerých elektrických jevů. Nazývá se nábojem elementárním o velikosti $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Jestliže protéká vodičem proud o velikosti 1 ampér za 1 sekundu, náboj bude 1 coulomb (Poděbradský et al., 2009).

„Elektrický proud je definován jako pohyb elektricky nabitých částic (elektronů, iontů) v elektrickém obvodu, sestávajícím ze dvou míst s různým elektrickým potenciálem (elektrody) spojených vodičem (tkání)“. (Poděbradský et al., 2009, s. 59). Průtok elektrického proudu ve vodičích z kovu je umožněn elektrony pohybujícími se v krystalové mřížce kovů. Průtok elektrického proudu v elektrolytech je dán pohybem iontů. Základní jednotkou je ampér (Königová et al., 2010).

Elektrony a ionty se v elektromagnetickém poli pohybují pomalu, v rozmezí několika milimetrů za sekundu. Na rozdíl od elektromagnetického pole šířícího se rychlostí světla. Vlivem toho se veškeré elektricky nabitě částice začnou pohybovat a narážet do jiných molekul nebo atomů, přičemž jim odevzdávají svou kinetickou energii. To způsobí rozkmitání vodivého prostředí a jeho následné zahřátí. Důležitá je také síla elektromagnetického pole, která ovlivňuje pohyb iontů k protilehlému pólu. Při velkém počtu volných iontů a komplikované struktuře, dochází k předání většího množství kinetické energie. Tímto se vytváří Jouleovo teplo, které vzrůstá spolu s odporem prostředí (Königová et al., 2010). Velikost odporu je dána Ohmovým

zákonem, jenž vyjadřuje poměr mezi odporem, napětím a proudem. Elektrický odpor má jednotku ohm (K. Eismín, 2014).

1.1 Poškození organismu elektrickým proudem

Elektrický proud pronikne do lidského organismu skrze kůži a místy, kde se nachází vývodné pochvy potních žláz a vlasové folikuly. Dále organismem prochází různými strukturami a prostředím o různém složení, kterými jsou například mezibuněčné prostory, buněčné a cytoplazmatické membrány a podobně (Štefan et al., 2012).

O účincích elektrického proudu, ať už jsou pozitivní nebo negativní vůči lidskému organismu, se zaslouží celé řada faktorů. Jedním z důležitých faktorů je typ elektrického proudu (stejnoseměrný a střídavý), dále jeho velikost, dráha proudu, frekvence, doba průchodu. Závisí také na fázi srdeční činnosti, impedanci organismu, velikosti dotykového napětí. Důležitý je především individuální zdravotní a psychický stav jedince, který byl vystaven působení elektrického proudu (Štefan et al., 2012).

Pro starší osoby, pro kardiaky, unavené a jinak indisponované osoby, je dle Štefana et al. (2012) účinek elektrického proudu výrazně nebezpečnější. Pokud je osoba na kontakt s proudem připravena, jako je to např. u elektrikářů, jsou následky mnohem menší. Tolerance vlivů elektrického proudu se dají nacvičit ve spánku, nebo v narkóze.

Navrátil (2008) taktéž uvádí, že se působící proud dělí podle závažnosti poškození do několika skupin. Nejdůležitější je, jak již bylo zmíněno, jestli se jedná o proud stejnosměrný, nebo střídavý. První skupinou je stejnosměrný proud o intenzitě menší než 80 mA a střídavý proud o intenzitě menší než 25 mA při frekvenci 50 Hz. U těchto proudů se nebojíme poškození srdečního svalu, avšak dochází k občasnému podráždění dýchacích svalů. Do druhé skupiny patří stejnosměrný proud o intenzitě 80 až 300 mA a střídavý proud o intenzitě 25 až 80 mA. Jestliže je organismus vystaven těmto proudům déle než 30 sekund, dochází často ke vzniku srdečních arytmií, nejzávažnější je fibrilace komor. Třetí skupina zahrnuje stejnosměrný proud o intenzitě 300 mA až 3 A a střídavý proud o intenzitě 80 mA až 1 A. Jestliže je organismus těmto proudům vystaven déle než 0,3 sekund, může dojít k bezprostřední fibrilaci komor. Při fibrilaci komor je pacient v přímém ohrožení života. Následuje okamžitá neodkladná resuscitace. Nedojde-li k obnově životních funkcí do 4 minut, dochází k nevratnému poškození mozku. Poslední čtvrtá skupina popisuje stejnosměrný nebo střídavý proud o intenzitě větší než 3 A. U proudů s touto intenzitou dochází k náhlé srdeční zástavě

a blokáde dechového centra v prodloužené míše. Dochází ke křečím příčně pruhovaného a hladkého svalstva a zasažený umírá. Popáleniny se nachází na místech vstupu a výstupu proudu, jestliže proud působí delší dobu. Zasažená může být i okolní tkáň, kterou proud prochází.

1.2 Faktory určující závažnost elektrotraumatu

Dle Königové et al. (2010) je během posuzování úrazu elektrickým proudem důležité znát celou řadu faktorů, které ovlivňují míru poranění. Mezi zmíněné faktory řadíme především intenzitu, frekvenci, odpor kůže, dráhu proudu a další.

1.2.1 Intenzita

Štefan et al. (2012) popisuje intenzitu jako poměr mezi napětím ve voltech a odporem v ohmech. Její jednotkou je ampér. Střídavý proud je mnohem nebezpečnější oproti stejnosměrnému proudu. Abychom dosáhli stejného efektu u stejnosměrného proudu jako u střídavého, je třeba použít třikrát takovou intenzitu. Intenzitu také určuje odpor kůže v místě vstupu a výstupu. Ševčík et al. (2014) ve své publikaci uvádí, že při intenzitě 16 mA se může zasažený od zdroje proudu bez pomoci druhého odpojit.

1.2.2 Frekvence

Nejnebezpečnější frekvence proudu je v rozmezí od 50-300 Hz. Zvýšíme-li frekvenci, zvýší se nám i prahová intenzita. U frekvencí, přesahující 100 000 Hz a více, dochází pouze k povrchovým tepelným účinkům. S povrchovými tepelnými účinky se můžeme setkat v diatermii, kde se využijí terapeuticky. Velikost střídavého proudu 50 Hz a 100-150 mA je smrtící (Štefan et al., 2012).

1.2.3 Odpor kůže

Odpor kůže je podle Hirta et al. (2016) závislý především na velikosti rohové vrstvy a také na vlhkosti kůže. Největší odpor je díky silné vrstvě kůže na chodidlech nohou, na vnitřní straně rukou je kvůli nejtenčí vrstvě kůže odpor nejmenší. V cévách a na periferních nervech je dle Štefana et al. (2012) také malý odpor, proto skrze ně prochází největší část procházejícího proudu. Odpor suché a vlhké kůže se výrazně liší. Odpor 10^4 - 10^5 ohmů, který se nachází na suché kůži, je oproti 10^2 ohmů odporu na vlhké, tenké a dobře prokrvené kůži značně velký.

1.2.4 Dráha proudu

Dráha proudu je dalším významným účinkem elektrického proudu. Dráha proudu nám určuje cestu elektrického proudu, kterou urazí mezi jeho vstupem a výstupem. U této dráhy nás nejvíce zajímají životně důležité orgány, jako je např. srdce. K zástavě srdce dochází při průchodu proudu z jedné ruky ke druhé. K zástavě srdce stačí intenzita o velikosti 30 mA. Ač to na první pohled není zjevné, je také velmi nebezpečná dráha proudu z jedné ruky ke druhé nebo z ruky do nohy na protější straně. Často dochází k ochrnutí dechového centra. To nastane při průchodu elektrického proudu mozkem, nebo mozkovým kmenem. Útlum dechového centra nastává zvláště při kontaktu s vodičem o vysokém napětí. Když nedojde k náhlému úmrtí, následuje bezvědomí často bez trvalých následků (Štefan et al., 2012, Hirt et al., 2016).

1.2.5 Vliv proudové cesty na charakter poškození

U dolních končetin dochází po působení proudu ke křečím kosterního svalstva a v místech průchodu proudu se objevují popáleniny. Při průchodu proudu v oblastech mezi pravou rukou a pravou nohou, je pacient značně ohrožen vznikem křečí a popálenin v místě průchodu proudu. Křeče zasahují kosterní svalstvo. Dále působí na brániční nerv, který inervuje bránci. Při cestě proudu mezi levou rukou a dolní končetinou (nezáleží, jestli je to pravá nebo levá), dochází taktéž ke křečím kosterního svalstva, které jsou doplněny o život ohrožující fibrilaci komor. Zasažením obou horních končetin následují křeče, komorová fibrilace a srdeční zástava. Je-li zasažena hlava a proud následně směřuje tělem k dolním končetinám, dochází k tonicko-klonickým křečím, zástavě dechu a k zástavě srdeční činnosti. Tepelné poškození tkáně mozku nastává při vyšších intenzitách (Navrátil, 2008).

1.2.6 Doba průchodu a velikost kontaktní plochy

Při průchodu elektrického proudu lidským tělem je velmi důležité, jestli se jedná o vteřiny nebo delší časové intervaly. Když prochází proud tělem v rámci vteřin, většinou nedochází k žádnému poškození ani při nebezpečných intenzitách, kde by mohlo dojít k výraznému poškození. Naopak při delším průchodu proudu tělem, nenastává smrtící účinek a dochází k přímému tepelnému poškození tkání (Jouelovo teplo). Dochází k poškození svalů, které je doprovázeno rozpadem bílkovin spolu se

vznikem toxických produktů. Tímto je zapříčiněna myoglobinurie, tubulární nekróza ledvin a anurie (Štefan et al., 2012).

Velikost kontaktní plochy určuje množství dopadající energie na danou oblast. Není přímo úměrná odporu tkání. Čím je kontaktní plocha menší, tím je poranění větší, ovšem je prostorově omezené. Je-li kontaktní plocha rozsáhlá, vznikne méně závažné poranění o velkém rozsahu (Königová et al., 2010, Hirt et al., 2011).

1.2.7 Stejnoseměrný proud

Dle Rosiny (2013) je stejnoseměrným proudem pohyb elektricky nabitých částic, který je ve vodiči neměnný. Je výrazně nebezpečnější než proud střídavý. Navrátil et al. (2008) dodává, že největší odpor kladou při šíření stejnoseměrného proudu především buněčné membrány. Špatné vodiče stejnoseměrného proudu jsou vazivové blány a tuková tkáň. Proti tomu je velmi dobrým vodičem mezibuněčná tekutina, kterou řadíme spolu s cytoplazmou buněk mezi vodiče druhého řádu. Vodiče druhého řádu přenášejí ionty, které jsou větší a pomalejší než elektrony. Nejlepší vodiče pro stejnoseměrný proud jsou v lidském organismu krev, mozkomíšní mok a svaly. Vodivost tkáně se určuje podle množství elektrolytů. Čím více má elektrolytů, tím je větší jeho vodivost. Odpor závisí především na funkčnosti tkáně. Neokysličená tkáň (anoxie) má vyšší odpor, který je zpočátku reverzibilní. Dráždivé účinky stejnoseměrného proudu se objeví při jeho zapnutí, vypnutí, prudkém zesílení, či zeslabení. Tepelný účinek se uplatňuje pouze při velkém proudu. Bezpečná hodnota při práci se stejnoseměrným proudem u člověka je 25 mA a méně, jinak dochází k poškození organismu.

1.2.8 Střídavý proud

Rosina (2013) popisuje střídavý proud jako pohyb nabitých částic, který se periodicky mění. Charakterizuje ho amplituda proudu (nejvyšší hodnota proudu v periodě), ale také frekvence period střídavého proudu, jejichž jednotkou je hertz. Sanders et al. (2012) popisuje vznik svalových křečí způsobených periodickou změnou pohybu částic. Hodnota frekvence v síti je dle Rosiny (2013) v České republice 50 Hz. V medicíně nalezneme různé druhy střídavého proudu. Při šíření střídavého proudu, kladou opět odpor především buněčné membrány, jako u stejnoseměrného proudu. Odpor buněčných membrán závisí na vzrůstající frekvenci střídavého proudu, který spolu se vzrůstající frekvencí klesá, jde o tzv. impedanci membrány. Buněčné membrány mají stejné vlastnosti jako biologické kondenzátory.

Na frekvenci střídavého proudu při průchodu organismem, jsou závislé také jeho účinky. Dráždivé účinky se začínají projevovat spolu s rostoucí frekvencí přibližně do 100 Hz. Při hodnotách frekvence kolem 10 000 Hz a více se dráždivý účinek nijak neprojevuje. Účinky těchto vysokofrekvenčních proudů jsou tepelné. Elektrolytické účinky střídavý proud nemá. U střídavého proudu je bezpečná hodnota 10 mA, jinak hrozí poškození organismu, stejně jako u stejnosměrného proudu (Navrátil et al., 2008).

1.2.9 Účinek proudu na lidský organismus:

Tabulka 1: Rozdělení úrazů elektrickým proudem

Úrazy	Proud		Popis účinku
	stejnosměrný	střídavý (50 Hz)	
1. skupina	≤ 80 mA	≤ 25 mA	Srdeční sval neovlivněn, možné slabé dráždění dýchacích cest.
2. skupina	80-300 mA	25-80 mA	Při působení déle než 30 sekund nastává riziko navození arytmie až fibrilace srdce.
3. skupina	300 mA-3 A	80 mA-1 A	Při působení delším než 0,3 sekund dochází k fibrilaci srdečních komor a následné zástavě srdce – nutná KPR!
4. skupina	3 A <	3 A <	Okamžitá zástava srdeční činnosti, blokáda dýchacího centra v prodloužené míše. Křeče dýchacího a kosterního svalstva. Při delším působení vznik popálenin v místě vstupu a výstupu proudu. Bez pomoci a KPR smrt člověka.

Zdroj: FREI, Jiří, 2015. *Akutní stavy pro nelékaře*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Vydavatelství. ISBN 978-80-261-0498-8.

1.2.10 Nízkofrekvenční střídavý proud

U buněčných membrán je měrná elektrická vodivost, oproti vodivosti mezibuněčného prostředí, či cytoplazmy, mnohem nižší. Velikost odporu buněčných membrán je zcela závislá na frekvenci střídavého (impedance membrány). Rezistence znázorňuje elektrický odpor v obvodu stejnosměrného proudu, jehož velikost se vlivem frekvence střídavého proudu nemění (Rosina, 2013). Kapacitance je vlastnost kondenzátoru kumulovat elektrickou energii (Barash et al., 2015).

V lidském těle má větší část buněk stejný charakter jako dielektrika, ve kterých nejsou náboje volně pohyblivé, jsou vázány na atomy a molekuly. Různě orientované a neuspořádané dipólové molekuly mají elektrický náboj, který se na venek ruší. Dipóly se orientují vlivem působení vnějšího elektrického pole, dochází tak k polarizaci dielektrika. Vlivem toho vznikne elektrické pole, které má opačnou polaritu než vnější pole. Posuvný proud, který je často uveden jako nízkofrekvenční střídavý elektrický proud, vzniká vlivem pohybu elektrických nábojů v dielektriku (Rosina, 2013).

1.2.11 Vysokofrekvenční střídavý proud

Dle Beneše et al. (2015) nemá vysokofrekvenční proud žádné elektrolytické účinky. Kapacitní složka elektrického odporu buněčných membrán se dle Rosiny (2013) snižuje spolu se vzrůstající frekvencí elektrického proudu. To se uplatňuje při průchodu buněčnou membránou, a tak může vysokofrekvenční střídavý proud procházet i cytoplazmou. Elektrický odpor tkání závisí na jejich aktuálním funkčním stavu. Čím je vyšší hypoxie (nedostatek kyslíku) ve tkáních, tím je vyšší elektrický odpor. Vlivem zástavy životních pochodů dojde k poklesu elektrického odporu. Mrtvá tkáň má stejný elektrický odpor jako cytoplazma, což zapříčiní rozpad buněčných membrán.

1.2.12 Druhy elektrotraumatu

Dotykem dvou bodů, mezi kterými prochází elektrické napětí, může dojít k úrazu elektrickým proudem. Během popisování elektrofyzikálních aspektů poranění elektrickým proudem, se zaměřujeme na dva základní druhy: oblouk a průchod. Při oblouku dochází k zahřátí zasažené krajiny v krátkém čase až na 2500-3000 °C. U druhého elektrofyzikálního aspektu pozorujeme popáleniny v místě vstupu a výstupu, kterými prošel elektrický proud. Při zasažení mozkových nebo srdečních center elektrickým proudem nastane s největší pravděpodobností smrt. Dále rozdělujeme úrazy na nízko a vysoko napět'ové (Zeman et al., 2011).

1.2.13 Nízké napětí

Nízké napětí, jehož hodnoty se pohybují v rozmezí do 1000 V se střídavým proudem, většinou způsobují dle Štětiny et al. (2014) úrazy v domácnostech a pracovní úrazy. Wendsche et al. (2015) dodává, že napětí do 24 V není nebezpečné. Jedná se o velkou část všech úrazů způsobených elektrickým proudem. Při takových úrazech je

zasazen převážně centrální nervový systém a krevní oběh spolu se srdcem. V důsledku těchto závažných poranění jsou místní změny méně významné. Místními změnami rozumíme kontaktní popáleniny (Zeman et al., 2011, Měšťák et al., 2015).

1.2.14 Vysoké napětí

Se střídavým proudem o vysokém napětí, jehož hodnoty se nacházejí v rozmezí od 1000 V, se dle Štětiny et al. (2014), setkáváme nejčastěji v terénu, kde z jedné třetiny způsobuje úmrtí. Zeman et al. (2011) ve své publikaci upozorňuje, že může nastat smrt i při zasazení proudem s napětím 110 V. Záleží především na vlhkosti kůže a jejím odporu. U úrazů vysokým napětím jsou závažné především místní škody, oproti funkčním poruchám. Dochází k závažným popáleninám a zuhelnatěním, jenž ohrožují celý organismus. V podkoží se mohou vyskytovat koagulační změny uvolněním myoglobinu, a to především ve svalech. V cévách se uvolňuje hemoglobin, ten zneprůchodní ledvinové tubuly, to může vyvolat anurii. Porušení stěn tepen může vyvolat jejich zúžení.

1.3 Lokální poškození

Königová et al. (2010) ve své publikaci popisuje následující mechanismy, jenž zapříčiní lokální poškození. Patří mezi ně proudové známky, elektrický oblouk a elektrický výboj.

1.3.1 Proudové známky – přímé poškození

Mačák et al. (2012) popisuje proudové známky jako malá ložiska odumřelé tkáně. Proudové známky se tvoří na kůži v místě jeho vstupu, tzn. v místě dotyku s vodičem a v místě uzemnění. Vytvoří se na základě tepelných účinků. Vznik proudových známek je dle Štefana et al. (2012) závislý na velikosti dotykové plochy. U malé plochy dotyku dochází k většímu zahuštění proudu a tím se i zvyšuje riziko vzniku proudové známky. U větší plochy dotyku to je naopak. S rostoucí plochou dotyku se hustota proudu snižuje a tím se snižuje riziko vzniku proudové známky.

Tvar a velikost proudové známky je vždy zcela odlišná. Závisí na tvaru vodiče. Mohou vypadat jako hlavička od šroubu, drát apod. Na těle je můžeme naléznout v podstatě kdekoliv, ale většinou se vyskytují na prstech ruky nebo na chodidlech, kde došlo ke kontaktu s vodičem a kde došlo k výstupu proudu. Vypadají jako puchýře.

Mají kruhovitý nebo nepravidelný tvar s bělavými okraji a centrální vkleslinou. Zevní okraj puchýře tvoří nejčastěji červený lem. Centrální vkleslinu, především její vzhled, určuje doba působení proudu, která je často zuhelnatělá (Štefan et al., 2012, Hirt et al., 2015).

Během posmrtné ztuhlosti jsou v místech ohybů prstů u ruky proudové známky tak malé a nevýrazné, že se dají lehce přehlédnout, proto kladou na tyto místa patologové zvláštní důraz. Někdy se kvůli důkladné prohlídce musí rozrušit i posmrtná ztuhlost. Tepelný účinek elektrického proudu může vypadat i jako vstřel. S tím se setkáme, když tepelný účinek proniká do hloubky a vytvoří kráterovitý defekt. Vznikají taktéž rozsáhlé nekrózy, které mohou způsobit až amputace částí těla. Proudové známky nemusí být vždy rozpoznány. Vypadají také často jako bradavice, nebo zaschlé oděrky kůže. Není vždy pravidlem, že se proudové známky vytvoří. Podle druhu kovu, ze kterého byl vodič vyroben, dochází k zabarvení proudových známek a velice často jsou zde nalezeny drobné částičky tohoto kovu, jedná se o tzv. metalizaci. Měď zbarví kůži do zelena a železo do našedlé barvy. Přítomnost a druh kovů na kůži, i když proud nezanechal žádné stopy, můžeme zjistit pomocí chemických, histochemických nebo spektrografických vyšetření. Proudové známky vznikají po zasažení proudem, jak u přeživších, tak i po úmrtí (Štefan et al., 2012).

1.3.2 Elektrický oblouk

Vlivem volných elektronů a kladných iontů v ionizovaných plynech, jimiž protéká elektrický proud, vzniká elektrický oblouk. Při termické ionizaci, při které teplota plynu dosahuje až několik tisíc stupňů Celsia, vznikají ionty a elektrony. S rostoucí teplotou se molekuly plynu rychleji pohybují a následně se střetávají. Za prvé dojde k rozpadu molekul plynu N_2 , O_2 a H_2 na dílčí atomy. Při nadále se zvyšující teplotě, dochází k růstu rychlosti a energii při vzájemných srážkách. Tím dojde k rozpadu elektronového jádra atomu spolu s odloučením jednoho a více elektronů z elektronového obalu. Tyto volné elektrony a ionty představují plazmu, po které se přenáší elektrický proud. Elektrický proud procházející obloukem vytváří teplo, které zahřívá plazmu, a to jí zanechává ve vodivém stavu. Pro pohyb elektronů mezi kladnými a zápornými póly je zapotřebí elektrostatických sil. Rozdílnost potenciálu obou pólů elektrického oblouk směřuje ionty na katodu a elektrony anodu. Při kontaktu s danou elektrodou dochází k jejich zpomalení a předání pohybové energie na vodič, která se mění na tepelnou energii. Ta zahřeje póly na vysokou teplotu. Teplota elektrického oblouku se pohybuje

v rozmezí 3000-6000 °C. Vzniká již při desítkách voltů a desítkách až stovek ampér v bezprostřední blízkosti vodiče (Königová et al., 2010, Raška et al., 2017). Pokud dojde k popálení elektrickým obloukem, zkratují pouze dva vodiče. K poškození kůže, ale dokonce i kostí dochází vlivem plazmatu a elektromagnetického záření. Zasažený nemusí být v přímém kontaktu s elektrickým proudem. Proudové známky v místě vstupu jsou spíše výjimečné (Königová et al., 2010, Beebe et al., 2012).

1.3.3 Elektrický výboj

Königová et al. (2010) popisuje samostatný výboj, vznikající v krátkém čase, jako elektrický výboj. Vytváří se vlivem vysokého napětí mezi dvěma vodiči v doprovodu zvukových a světelných efektů. Jiskra vypadá jako jasně svítící kanálky, v nichž probíhá ionizace o teplotě až 30 000 °K. Tím je schopná zapálit předměty i bez elektrického oblouku. Mezi klasické jiskrové výboje patří blesk, který dosahuje napětí až několik milionů voltů mezi mraky nebo mrakem a zemí. Vokurka (2012) dodává využití elektrického výboje v medicíně v podobě defibrilace.

Cesta výboje je určena velikostí odporu. K druhému pólu nebo k zemi si vybírá cestu s nejmenším odporem, kde může způsobit po zasažení popáleniny uvnitř nebo na povrchu těla zasaženého. Postižený se nemusí nacházet v přímém kontaktu s elektrickým okruhem, ale stačí být v silném elektrickém poli. Výboj o vysokém napětí způsobuje místní léze neboli Lichtenbergovy obrazce. Při nižších napětí může dojít k poranění bez projevů popálenin kůže. Kombinované popáleniny z vysokého napětí železniční dopravy vzniká během přímého kontaktu s vodiči nebo při přeskočení výboje. Tím dojde ke vzplanutí elektrického oblouku nebo plazmatu a následnému vznícení oděvu zasaženého. Velikost proudu u trakčního napětí začíná už na 3 000 V. (Königová et al., 2010, Gašparík et al., 2017).

1.3.4 Popálení ze vzníceného oděvu

Popáleniny vznikající ze vzníceného oděvu jsou vždy hluboké. Postižení s poruchou vědomí je vystaven tepelnému působení až do doby, kdy je mu zajištěna neodkladná první pomoc. Hluboké nebo skryté postižení kůže a různých orgánů bývají velice různorodá. To ztěžuje stanovit budoucí stav postiženého a určit způsob transportu, spolu s náhradou tekutin, u které je nesnadné vypočítat rozsah popálenin (Königová et al., 2010).

1.4 Sekundární poškození

Dle Navrátila (2008) je sekundární poškození vyvoláno přímým působením elektrického proudu. To vyvolá přímé poškození neboli proudové známky. Sekundární poškození se liší od primárního poškození jeho pozdními patologickými změnami. Bez příslušné odborné péče mohou i tyto pozdní reakce pacienta přímo ohrozit na životě.

1.4.1 Neurologické komplikace – poranění periferních nervů

Neurologické komplikace jsou nejčastější komplikace elektrotraumatu. Jsou popsány akutní a pozdní následky centrálního a periferního nervového systému. Přibližně 70 % pacientů bylo v bezvědomí, vlivem poranění způsobené vysokým napětím nebo u nich dráha proudu vedla skrze hlavu. Bezvědomí může nastat i u pacientů, u kterých proud hlavou neprocházel. Pacienti se z bezvědomí, s výjimkou zranění neslučitelných se životem, zotaví během několika hodin. Během sociální rehabilitace může dojít ke změnám v osobnosti, nebo mentálních schopnostech. Méně časté komplikace způsobené intracerebrálním poraněním zahrnují afázii, hemiplegii, epilepsii, bolest hlavy, poruchu paměti a koncentrace (Vande Ven et al., 2017).

Poranění periferních nervů je druh poranění, který může být zapříčiněn přímým poškozením nervů v místě vstupu a výstupu elektrického proudu, nebo v místech vzdálených od kontaktního místa (Vande Ven et al., 2017). Königová et al. (2010) se dále zmiňuje o působení tlaku edému na periferní nervový systém. Typickým příznakem je dle Vande Ven et al. (2017) pocit necitlivosti a parestezie. Ztráta funkce periferního nervu je často přechodná a dochází k plnému navrácení funkce, pokud nedojde k lokálnímu poškození tkáně. Takové poškození funkce nervů zasahuje pouze oblast, ve které dochází ke kontaktu nervů s tkáněmi. Nejčastěji bývají poškozeny nervy ruky jako jsou např.: n. medianus, n. ulnaris a n. radialis.

Akutní a chronické poranění míchy nenastává vlivem přímého kontaktu se zdrojem elektrického proudu. Poranění tohoto typu nastává po kontaktu s elektrickými proudy o hodnotě od 75 do 75 000 V. Charakteristicky nebyl zaznamenán žádný neurologický deficit bezprostředně po nehodě. Příznaky se projevují až s odstupem dvou let po úrazu. Vyskytuje se quadruplegie nebo hemiplegie. Dále se poranění může projevovat paralýzou, amyotrofickou laterální sklerózou nebo myelitidou. Neurologické zotavení není časté (Vande Ven et al., 2017).

1.4.2 Kardiovaskulární a plicní komplikace

Poranění elektrickým proudem o vysokém napětí může způsobit celou řadu srdečních změn. Obvykle se jedná o poruchu rytmu nebo poruchu vedení vzruchu. Zástava srdce při úrazu elektrickým proudem se často projevuje asystolií nebo fibrilací komor. Změny na obrazu EKG po vysokonapěťových poranění jsou nejčastěji sinusové tachykardie a nespecifické změny v segmentu ST-T, které trvají až několik týdnů po úraze. Po kontaktu s vodiči o vysokém napětí je rovněž často hlášena fibrilace síní. V takových případech se rytmus vrátí spontánně anebo po podání antiarytmika v podobě chinidinu nebo digitalisu. Poruchy vedení vzruchu jsou u poranění vysokým napětím hlášeny výjimečně (Vande Ven et al., 2017).

Infarkt myokardu, doložený hodnotami srdečních enzymů, je neobvyklou komplikací elektrického úrazu vysokým napětím. Popáleniny přední části hrudníku, které byly způsobené vlivem působení elektrického proudu mohou způsobit perforaci myokardu, která musí být uzavřena během kardiopulmonálního bypassu. Pomocí EKG můžeme stanovit poškození kardiostimulátoru v PNP. EKG se znovu opakuje po příjezdu do zdravotnického zařízení (Vande Ven et al., 2017).

1.4.2.1 Srdeční enzymy

Vyšetření srdečních enzymů je významným diagnostickým prostředkem při úrazu elektrickým proudem. Vysoká frakce CPK-kreatinfosfokinázi poukazuje na poškození kosterního svalstva. Avšak vysoká frakce CPK-MB nemusí indikovat srdeční poškození. Buňky kosterního svalstva obsahují až 25 % frakce CPK-MB, což naznačuje, že při zvýšených hodnotách CPK-MB dochází spíše k poškození kosterního svalstva oproti srdečnímu (Vande Ven et al., 2017).

1.4.2.2 Cévní poškození

Poškození cév vzniká především vlivem popálenin způsobených elektrickým proudem. Jestliže proud prochází velkými cévami na jeho místě vstupu a výstupu, může dojít k významné zánětlivé reakci, stejně jako k malé nekróze cévní stěny. To může vést k okamžité ruptuře cév. Proud pronikající velkými cévami, nacházejících se za místem vstupu a výstupu proudu, může poškodit cévu. To zapříčiní zrychlené vytváření trombů. Větší cévy dokáží rozptylovat teplo způsobené proudem a tím zmírňuje poškození stěn cév. V menších cévách teplo způsobí trombózu cév. Proto jsou malé cévy ve svalech

velmi náchylné k trombóze. Porucha zásobení svalů krví může být postupná. Vyskytuje se v prvních měsících po úrazu. Angiografie je schopná zobrazit pouze arteriální léze ve velkých a středních cévách, proto má omezené klinické využití (Vande Ven et al., 2017).

1.4.2.3 Akutní plicní komplikace

Akutní plicní komplikací je poškození pleury, která vede ke vzniku výpotku a lobulární pneumonie. Stolz et al. (2010) dodává, že v těchto případech je nezbytná uzavřená torakotomie, která vede k odstranění pleurálního výpotku a zabránění jeho opětovné kumulaci. Plicní infekce může být důsledkem zhoršené ventilace nebo systémové infekce (Vande Ven et al., 2017).

1.4.3 Břišní, kosterní, kloubní, oční a systémové komplikace

Při úrazech elektrickým proudem a vysokém napětí je zaznamenána celá řada abdominálních viscerálních komplikací. Tato poranění jsou způsobena buď přímým poškozením intraabdominálních struktur z kontaktních míst nad břichem nebo jsou vnitřní orgány poškozeny vlivem procházejícího proudu ze vzdálenějších míst vstupu a výstupu elektrického proudu. Při léčbě musí předvídat široký rozsah anatomických a patologických změn břišních orgánů. Nejčastějším příznakem úrazu břicha je nevolnost a zvracení. U 25 % pacientů se vyskytuje paralytický ileus. Stresová ulcerace neboli stresový vřed je jedna z nejzávažnějších komplikací. Pacient se stresovým vředem je léčen antacidy a léky ze skupiny blokátorů protonové pumpy. Při dávkování musíme být u těžkých stavů obezřetní. Když se místo vstupu nebo výstupu elektrického proudu nachází v oblasti břišní stěny, dochází k jejímu porušení spolu s poškozením vnitřních struktur, včetně tenkého a tlustého střeva, močového měchýře nebo jater. Popáleniny způsobené elektrickým proudem, jejichž místa vstupu a výstupu se nenacházejí v oblasti břišní stěny, mohou také způsobit poranění intraabdominálních orgánů. V dalším případě jsou příznaky nevýrazné a zaznamenávají se 2 až 3 týdny po úrazu. Vzácnou komplikací je poranění pankreatu. V takových případech se objevují hyperamylazemie s prodlouženým ileem, které dobře reagují na léčbu. Diabetická neuropatie se objevuje ke konci prvního týdne po nehodě. Hyperglykémie a mírná ketóza se léčí malými dávkami inzulínu (Vande Ven et al., 2017).

Kostní léze jsou často přítomné při průchodu elektrického proudu v blízkosti kostní tkáně. Průchod elektrického proudu způsobí periostální nekrózu a roztavení matrice fosforečnanu vápenatého. V době počátečního débridementu je výslednou destrukci těžké diagnostikovat. Odebrání devitalizovaného periostu zabraňuje rozsáhlejšímu poškození kostní tkáně. Po zahojení postiženého místa se tvoří oddělené části nekrotické tkáně i po jednom až osmi měsíci. Po excizi nekrotické části tkáně je další rekonvalescence většinou bez dalších komplikací. Při úrazech proudem o vysokém napětí, který procházel hlavou, je postižen zejména skalp a lebka. Proud je obvykle rozptýlen v kůži a galeu, které chrání mozek před přímým poraněním mozku. Proto jsou závažné mozkové komplikace při takových poranění spíše výjimečné. S pokrokem mikrovaskulární transplantace se za posledních deset let začal využívat při rekonstrukci poranění způsobené elektrickým proudem přenos volné tkáně. Využívá se především při poranění předloktí (Vande Ven et al., 2017).

Popáleniny postihující skalp, mohou být klasifikovány podle jejich hloubky postižení do následujících skupin. První skupinou jsou popáleniny bez přímého poškození kosti. Druhou skupinou jsou popáleniny s přímým poškozením lebky. Třetí skupina zahrnuje popáleniny s poškozením tvrdé pleny mozkové. Poslední čtvrtá skupina zahrnuje popáleniny postihující mozek. Hloubka poranění ovlivňuje jejich léčbu (Vande Ven et al., 2017).

Vzhledem k tomu, že je pacient při kontaktu se zdrojem vysokého napětí odmrštěn, dochází k poranění způsobené následným pádem. Výrazné nedobrovolné kontrakce kosterních svalů mohou způsobit zlomeniny dlouhých kostí, zlomeniny krční páteře a dislokaci kloubů. Spolu se zlomeninou je spojené výrazné postižení kůže. Skeletová trakce má přednost před interní fixací kvůli snížení pravděpodobnosti výskytu infekce kosti. Heterotopická osifikace měkkých tkání je běžným důsledkem elektrotraumatu. Tento proces se vyskytuje zejména u kloubů a jiných synoviálních povrchů. Vzniká v důsledku poškození tkáně a systémové zánětlivé reakce (Vande Ven et al., 2017).

Ztráta horní nebo dolní končetiny je jedna z nejhorších následků popáleninového traumatu. Četnost amputací způsobených popáleninovým traumatem vlivem vysokého napětí se pohybuje kolem 32 až 60 %. Hluboké popáleniny, komplikované rozsáhlou nekrózou měkkých tkání nebo invazivní infekcí, mohou způsobit amputaci. Pokroky v rekonstrukční chirurgii vedou ke snížení počtu amputací. Může dojít k amputaci např. ruky nebo celé horní končetiny (Vande Ven et al., 2017).

K poranění očí dojde zejména v případech vstupu proudu do hlavy nebo do těla pacienta. Nejčastěji bývají postiženy oční čočky. Široká škála napětí od 220 do 50 000 V vede ke vzniku šedého zákalu přibližně u 6 % pacientů. Příznaky se projevují nejčastěji v rozmezí od 3 týdnů do 2 let. Vyskytují se také léze rohovky, očního pozadí a optického nervu, aniž by došlo k poškození rohovky (Vande Ven et al., 2017).

Vlivem silného působení elektrického proudu na svalovou tkáň dochází ke dráždění, při kterém se odloučí velká část myoglobinu. Myoglobin se dále sráží v ledvinových tubulech. Srážení myoglobinu závisí na kyselosti moči. Čím je větší kyselost, tím se více sráží. Stav, kdy myoglobin ucpe ledvinové kanálky, se nazývá anurie z myoglobinurie. Tento stav pacienta přímo ohrožuje na životě. Další tomuto blízký stav se nazývá crush syndrom. Ten vzniká při mechanickém poškození svalové tkáně, vlivem zasypání pacienta. Zde následují velké ztráty tekutin z poškozených tkání a popálenin, které vyvolají hypovolemický šok. Dále se můžeme setkat s hyperkalemií, jenž vznikne vlivem poškozené tkáně. Při hyperkalemii je zvýšená koncentrace draslíku v krevní plazmě. Zvýšená hladina draslíku se zvyšuje vlivem anurie (Navrátil, 2008).

1.4.4 Psychosociální komplikace

Rosenberg et al. (2015) popisuje psychosociální komplikace u pacientů, kteří utrpěli úraz elektrickým proudem, jenž se vyhodnocovali pomocí 3 výstupních nástrojů: specifická škála Burn, dotazník pro boj s popáleninami a profil pacientů s bolestivostí. Pacienti, kteří byli 5 let po úraze, vykazovali lepší fyzickou kondici. Pacienti používali jako strategii pro zvládnání těchto stavů optimismus. Všichni pacienti trpěli významným emočním vyčerpáním. Pacienti si uvědomovali špatnou adaptaci do zaměstnání nebo sníženou kvalitu života. Dominantním rysem je emociální strach, který tyto pacienty dlouhodobě ovlivňuje.

1.4.5 Těhotenství

Poranění způsobené elektrickým proudem nebo bleskem přináší rizika pro plod i matku. Vzhledem k malé četnosti těchto případů nejsou skutečná rizika zcela známá. Mortalita plodu způsobená elektrickým poraněním je od 73 % až po 15 %, mortalita způsobená bleskem se pohybuje okolo 50 %. Zda je mortalita plodu způsobená primárním působením elektrického proudu nebo v důsledku poranění těhotné matky, není zcela známá (Vande Ven et al., 2017).

1.5 Využití elektrického proudu v medicíně

Zeman (2013) popisuje využití elektrického proudu v elektroterapii. Elektroterapie je fyzikální terapie, jejíž metodou je využití elektrického proudu jako fyzikálního podnětu. Elektroterapii dělíme na kontaktní a bezkontaktní. U kontaktní využíváme elektrody, u bezkontaktní přivádíme proud do těla pomocí elektromagnetického pole.

Vokurka (2012) se zmiňuje o využití střídavého proudu v psychiatrii a chirurgii. V psychiatrii se využívá střídavý proud s intenzitou 150 až 500 mA během elektrošokové terapie. V chirurgii je využíván vysokofrekvenční střídavý proud k elektrokauterizaci.

1.5.1 Elektrodiagnostika, elektrostimulace (Impulzoterapie), elektrogymnastika

Nízkofrekvenční proudy, a především jejich dráždivé účinky se využívají v impulzoterapii. Dráždivým účinkem rozumíme kontrakce svalů, které závisí na druhu impulsu. Pravoúhlé neboli kolmé impulsy (<10 ms) se využívají pro dráždění ochablých svalů. Pro dráždění denervovaných svalů jsou využívány impulsy šikmé (>10 ms). K vyšetření nervosvalové dráždivosti a její změn se využívá metoda elektrodiagnostiky a to především u periferních paréz pro určení pokročilosti jejich denervace a následně nastavení co nejvhodnějších parametrů impulsů pro terapii. Při terapii denervovaných svalů mluvíme o elektrostimulaci. Při posílení ochablých svalů hovoříme o elektrogymnastice (Poděbradský et al., 2009, Zeman, 2013).

1.5.2 Elektrostimulace

Vzhledem k terapeutickým účinkům se využívají především pravoúhlé impulsy o době trvání desetin až jednotek ms a frekvenci v rámci jednotek až desítek Hz. Proud má hodnotu desítek mA, napětí kolem 10 V. Stimuluje se např.: srdce, periferní nervy, mícha, močový měchýř a střeva. Dočasná kardiostimulace se využívá v případech, kde očekáváme normalizaci poruch srdečního rytmu. Nejčastěji se zavádí za pomoci katetrizace elektroda do pravé komory srdeční. Dají se využít stimulátory s pevnou frekvencí nebo „on demand“. Trvalá kardiostimulace je využívána za předpokladu, že poruchy srdečních rytmů budou trvalé. Opět se katetrizuje pravá komora srdeční. Kardiostimulátor s vlastním zdrojem je implantován do podkoží. Kardiostimulátory mohou mít pevnou frekvenci nebo „on demand“. Urostimulátory se využívá při poruše funkce močového měchýře. Stimulace zde vyvolává stah hladkého svalstva, při kterém

nesmí být podrážděny svěrače močové trubice. Elektrostimulace střev je krátkodobý proces využívaný při ileózních stavech (Beneš et al., 2015).

Ve fyzioterapii se elektrostimulace využívá na základě dráždivého účinku nízkofrekvenčních nebo sinusových proudů, které dráždí příčně pruhované svalstvo, hladké svalstvo nebo periferní motorické neurony. Je využíván neofaradický proud nebo speciální typ TENS (transkutánní elektrická stimulace). Doba vystavení svalu proudům je individuální. Nesmí dojít k energetickému vyčerpání daného svalu. Jestli byla terapie denervovaného svalu úspěšná, zjistíme pomocí I/t křivky. Při reinervaci, neboli uzdravení svalu, se křivka denervovaného svalu přiblíží ke křivce svalu zdravému, dojde k jeho kontrakci. Pokud k tomu tak dojde, přestoupíme k tzv. elektrogymnastice (Kymplová, 2008, Zeman, 2013).

1.5.3 Defibrilace

Záznam o první defibrilaci na člověku pochází z roku 1947, kdy jí na operačním sále provedl Claude Beck. Do klinické praxe se defibrilace střídavým proudem přes uzavřený hrudník dostala v roce 1956, když si představil Paul Zoll (OD'ROURKE et al., 2010). Během defibrilace protéká proud mezi dvěma elektrodami, který způsobí srdeční depolarizaci. Depolarizace umožní sinoatriálnímu uzlu převzít kontrolu nad srdeční činností. Defibrilace je indikována u fibrilace komor a komorové tachykardii. Fibrilaci komor, může způsobit úraz elektrickým proudem, infarkt myokardu, či jiné příčiny. Defibrilace se zahajuje co nejdříve od začátku neodkladné resuscitace. Defibrilační elektrodu označenou STERNUM nalepíme vlevo od hrudní kosti. Druhou defibrilační elektrodu označenou APEX umístíme do střední axilární čáry. Defibrilaci zahajujeme energií 200 J bifázického výboje. Výboj opakujeme po dvou minutových intervalech za minimální přerušování KPR (Remeš et al., 2013)

1.5.4 Kardioverze

„Indikací jsou supraventrikulární tachykardie s oběhovým selháním a komorové tachykardie s hmatnou pulzací“ (Remeš et al., 2013, s. 173). Kardioverze je léčebný postup, při kterém se využívá výboj s vysokým napětím a nízkou intenzitou. Vzhledem k možnosti vzniku fibrilace komor je zapotřebí kardioverzi synchronizovat s vlnou R. Při fibrilaci síní a komorové tachykardii se doporučuje nastavit úvodní bifázický výboj na hodnoty 120-150 J, při supraventrikulární tachykardii a flutteru síní je doporučen

výboj o síle 70-120 J. Nevede-li předchozí výboj kardioverze k nastolení sinusového rytmu, energie výboje se postupně zvyšuje až na 200 J. Dávají se maximálně 3 výboje za sebou. Defibrilační elektrodu označenou STERNUM nalepíme vlevo od hrudní kosti. Elektrodu APEX nalepíme na hrot srdeční. Kardioverze se vzhledem k její bolestivosti provádí v krátkodobé celkové anestezii (Remeš et al., 2013, Bartůněk et al., 2016).

1.5.5 Elektrochirurgie

Dle Beneše et al. (2015) se jedná o chirurgický zákrok za použití elektrického proudu. Využívají se zde vysokofrekvenční proudy k řezání a koagulaci tkání. Lze využít pro většinu řezů prováděných skalpelem. Výhodou je zastavení krvácení v místě řezu a nevýhodou zhoršení pevnosti rány po zhojení. Libovolný režim řezání, koagulace nebo kombinace obou lze nastavit. Využívají se dvě elektrody. Aktivní elektroda slouží jako samotný chirurgický nástroj, proto je nejčastěji ve tvaru čepele. Neutrální elektroda je umístěna pod tělem nebo dolní končetinou pacienta. Kontakt zprostředkovává rouška nasáklá fyziologickým roztokem.

1.5.6 Elektrošoková terapie

Sadowsky (2016) popisuje elektrošokovou terapii jako aplikaci elektriny do těla pacienta za účelem vyvolání záchvatů a následnému zmírnění příznaků duševních onemocnění. Elektrokonvulzivní terapie patří podle Orla (2016) mezi nejvíce bezpečné a účinné metody v dnešní psychiatrii. Využívá se u různých psychických poruch, jakými jsou depresivní poruchy, mánie, schizofrenie apod. Elektrokonvulzivní terapie je indikována i po selhání farmakologické terapie. Před výkonem je nutné podepsat informovaný souhlas pacient, to neplatí u vitální indikace. Dále se provádí komplexní předoperační vyšetření a dodržuje se osmi hodinové lačnění. Výkon probíhá v celkové anestezii. Proud je do pacienta dopravován pomocí elektrod, které se umístí do oblastí spánků. Dávky terapie jsou individuální a může se podat až několikrát týdně. Po aplikaci se mohou objevit bolesti hlavy, nauzea a pocity slabosti.

1.6 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

V následující kapitole bude popsán základní princip ochrany před úrazem elektrickým proudem a prevence. Prevence úrazů bude rozdělena na bezpečnost práce v zaměstnání a prevenci úrazů elektrickým proudem v domácnostech.

1.6.1 Základní princip ochrany před úrazem elektrickým proudem

Základní pravidlo, které nám pomáhá předcházet před úrazy elektrickým proudem zní: Živé části, které jsou nebezpečné, by neměli být volně přístupné a vodivé části, které jsou volně přístupné by se neměli stát nebezpečnými živými částmi (Kříž, 2014).

Živé části, které mají schopnost vodivosti, jsou určeny především pro jejich využívání, při kterém jsou pod stálým napětím. Neživé části jsou taktéž vodivé části elektrického zařízení, ale oproti živé části nejsou určeny pro jejich běžné využívání pod stálým napětím. Neživých částí je možné se dotýkat, i když nejsou chráněny izolací nebo ochrannou vrstvou. Při jejich poruše se stávají živými. Nebezpečná živá část může za určitých podmínek zapříčinit vzniku úrazu elektrickým proudem. Z toho vyplývá, že nebezpečné živé části by měli být kryty ochrannou vrstvou nebo izolací, která zamezí přímému kontaktu s nebezpečnou živou částí. Živé části spolu se všemi částmi, které jsou vodivé a je možné se jich dotýkat, by se neměli dostat pod napětí (Kříž, 2014).

Při běžném provozu bez poruchy zařízení, byl využíván termín ochrana před nebezpečným dotykem živých částí. Pokud došlo k poruše, byl využíván termín ochrana před dotykem neživých částí. Oba tyto termíny byly změněny pro jejich nedostatečné vyjádření k dosud provedeným opatření. Vzhledem k tomu, mezinárodní norma uvádí nové dva termíny. Prvním termínem je základní ochrana, která vyjadřuje ochranu před úrazem elektrickým proudem pro zařízení v bezporuchovém stavu. Druhým termínem je ochrana při poruše. Využívá se, pokud došlo k jedné poruše na zařízení (Kříž, 2014).

1.6.2 Prevence

Celé řadě úrazů elektrickým proudem lze předejít. Co se týče prevence úrazu v zaměstnání, je vyžadující, aby zaměstnanec podržoval bezpečnostní pokyny a předpisy. Zaměstnavatel je povinen své zaměstnance proškolit v dané problematice a zajistit přístup k ochranným pomůckám a bezpečnostnímu vybavení. V domácnostech, ale hlavně v podniku, se začínají využívat jističe přepětíové ochrany. Jejich úkolem je vypnout přívod elektrického proudu i při malé změně napětí (Humpl et al., 2018).

Strategie prevence na pracovišti zahrnuje bezpečnostní pokyny, pravidelné kontroly elektroinstalací, nošení oděvu zpomalující hoření, bezpečnostní školení a školení o dostupnosti resuscitačního vybavení, cvičení evakuačního plánu a cvičení kardiopulmonální resuscitace (Lin et al., 2017).

Při práci pod napětím nebo v blízkosti nějakého zdroje napětí platí zásady. Zaměstnanec nebo pracující nesmí být pod vlivem návykových látek a musí být v dobré

fyzické a psychické kondici. Oděv, který zpomaluje hoření, musí pracovníkovi dobře sedět. Rukávy má vyhrnuté a měli by být v místě zápěstí sepnuty. Dále nesmí mít pracovník na sobě žádné kovové předměty (Berka, 2017).

Humpl et al. (2018) zmiňuje, že úrazy elektrickým proudem v domácnostech se týkají převážně dětí. Rodiče jsou zodpovědní, aby poučily své děti o bezpečnosti při manipulaci s elektrickými spotřebiči a jiným elektrickým zařízením. Nejdůležitějším prvkem v domácnosti je dle P. Rundeho (2016) zaslepení zásuvek proti batolatům a vyvarování se používání elektrických zařízení např. při sprchování. Elektrické kabely se musí uchovávat mimo dosah dětí. Zvláště dávat pozor na kontakt mokrých rukou s elektrickým spotřebičem (Humpl et al., 2018). Lipový et al. (2014) ve své publikaci uvádí, že četnost výskytu úrazů elektrickým proudem u dětí za pomoci preventivních aktivit klesá.

2 Terapie

Tato kapitola se bude věnovat první pomoci, přednemocniční neodkladné péči a akutní nemocniční péči při úrazech elektrickým proudem.

2.1 První pomoc

Zvláštnosti v poskytování první pomoci při úrazech elektrickým proudem spočívají v různorodosti jejich poranění. Při kontaktu s elektrickým proudem může vzniknout celá řada stavů: poruchy dýchání, arytmie až asystolie, poruchy vědomí, popáleniny, zlomeniny, rány nebo jejich kombinace. Jaký stav je pro úraz elektrickým proudem typický nelze určit. Za prvé je důležité dodržovat vlastní bezpečnost před poskytnutím první pomoci postiženému. Při situaci v otevřeném prostoru je třeba vypnout přívod proudu. Tuto činnost obstará služba tomu určená. Mezi tím je důležité zabránit vstupu osobám do nebezpečné zóny. Při napětí nad 1000 V může být postižený zasažen až na vzdálenost 10 metrů i na suchém povrchu. Při podezření na kontakt s elektrickým proudem v uzavřeném prostoru se doporučuje vypnout jističe. Používání izolačních pomůcek, jakými jsou gumové rukavice, pneumatika nebo suché noviny nemusí vždy fungovat. Při zasažení bleskem je třeba dbát na vlastní bezpečí a důkladně zkontrolovat okolí. Můžeme se setkat se spadlým elektrickým vedením, stopami dýmu, zápachu hoření nebo ohořelými místy vegetace. Je-li elektrický proud vypnutý a další nežádoucí

účinky jsou eliminovány, může být zahájena první pomoc. Prvním krokem je zhodnocení základních vitální funkcí. Pokud zasažený nedýchá normálně nebo vůbec následuje KPR (Dobiáš et al., 2007, Bydžovský 2011). Franěk (2012) dodává, že u postiženého, který dýchá normálně, ale není při vědomí, ošetříme zjevná poranění a necháme zasaženého vleže na zádech a následně kontrolujeme základní životní funkce. Při ošetřování vzniklých popálenin je dle Freie (2015) zapotřebí dodržovat aseptický přístup, neboť je zde velké riziko zanesení infekce. Pro pacienty, kteří nejeví zjevné známky potíží, je taktéž doporučeno lékařské vyšetření zaměřené na pozorování vzniku arytmií, které mohou vyvolat tromboembolické nemoci.

2.2 Přednemocniční neodkladná péče

Pro pacienty zasaženými elektrickým proudem neexistují žádné speciální léky. Postup léčby určují především příznaky a objektivní nález (Dobiáš et al., 2007). Záchranáři musejí jako první zhodnotit vlastní bezpečí a oddělit pacienta bezpečně od zdroje proudu. Mačák et al. (2012) popisuje způsob chůze při spadlém vedení vysokého napětí. Záchranář by se měl k pacientovi přibližovat pomalými krůčky a to tak, že se zadní noha bude vždy dotýkat přední nohy, aby nedošlo ke krokovému napětí. Jakmile se záchranář může dotknout pacienta, zhodnotí jeho dech a pulz. Pokud pacient nedýchá normálně a nemá hmatný pulz, je ihned zahájena KPR (P. Runde, 2016). Úrazy způsobené nízkým napětím transportujeme na pozorování na koronární nebo interní JIP. Zasaženého, který byl vystaven vysokému napětí a má podezření na vzniklé polytrauma, uložíme s krčním límcem do vakuové matrace a směřujeme na ARO, nebo do traumacentra. Pacient s rozsáhlými popáleninami by měl být po stabilizaci převezen do popáleninového centra disponující vzdušnými lůžky sloužící k uložení pacientů s nekrózami (Bydžovský, 2016). Popáleninová centra v ČR: Fakultní nemocnice Ostrava, Fakultní nemocnice Brno a fakultní nemocnice Královské Vinohrady (Remeš et al., 2013). Hirt et al. (2015) popisuje jako faktory určující závažnost popálenin věk, lokalizaci a stupeň popálenin. Rozsah popálenin se v podmínkách PNP stanoví tzv. pravidlem devíti, u kterého je dáno procentuální vyjádření jednotlivých částí těla. Konečný rozsah popálenin se stanoví v nemocničním zařízení podle tabulek Lunda a Browdera (Zeman et al., 2011). Dospělý pacient by měl být převezen do centra během 6 hodin od poranění a děti do 4 hodin (Ferko et al., 2015). Dle Fraňka (2012) je důležité jako první sundat z pacienta prsteny a další šperky kvůli narůstajícím otokům (Franěk, 2012). Pacienti s popáleninami beze změn na EKG musejí být dostatečně hydratováni

(Dobiáš et al., 2007). K zajištění dostatečné tekutinové hydrataci musí být zajištěn intravenózní vstup dvěma žilními linkami (Remeš et al., 2013). Kanyluje se nezasažená oblast popáleninou, v tísni lze kanylovat i zasažené místo (Wendsche et al., 2015). V počáteční fázi se řídíme Parklandovým vzorcem ($4 \times \% \text{ popálené plochy} \times \text{tělesná hmotnost} = \text{objem za 24 h}$, polovinu objemu podáme do 8 hodin) nebo podáváním 10 ml/kg/h 0,9% NaCl nebo Ringerova roztoku už v prvotní fázi resuscitace (Dobiáš et al., 2007). Holubec (2017) uvádí, že k úhradě tekutin je možno použít Evansův vzorec (krystaloidní a koloidní roztoky 1:1, pro oba roztoky platí vzorec: $\text{hmotnost pacienta} \times \% \text{ popálené plochy} \times 1 \text{ ml}$) nebo Brookův vzorec (koloidní a krystaloidní roztoky v poměru 1:3, koloidy = $0,5 \text{ ml/kg} \times \% \text{ popáleniny}$, krystaloidy = $1,5 \text{ ml/kg} \times \% \text{ popálenin}$). U pacientů s popáleninami svalů a předpokladem myoglobinémie je zapotřebí přidat k objemové výzvě Furosemid nebo Manitol pro zvýšení diurézy toxického myoglobinu. Diuréza slouží jako prevence pro vzniku tubulární nekrózy a renálního selhání (Dobiáš et al., 2007). Popáleniny se chladí vodou maximálně 20 minut při rozsahu popálenin maximálně 15 % a přitom se musí dbát zvýšené opatrnosti před vznikem hypotermie. Bydžovský (2016) uvádí, že popáleniny do 10 % rozsahu těla jsou chlazeny studenou vodou nejméně 10 minut do úlevy. Pro předcházení vzniku podchlazení je využívána izotermická fólie. Pro popáleniny menšího rozsahu je doporučeno sterilní krytí Water Jel. Franěk (2012) popisuje chlazení stěžejních oblastí genitálu a krku při celotělových popáleninách. K analgézii se podává Ketamin (Calypsol) v kombinaci s Dormicem (Midazolam) nebo podání opiátu Morfinu či Fentanylu. Indikací k provedení OTI jsou popáleniny v oblasti hlavy a krku, přičemž je kontraindikováno podání Suxamethioninu (Succinylcholinjodid), které může uvolnit velké množství kalia a způsobit vznik maligní arytmie (Dobiáš et al., 2007, Remeš et al., 2013). Dle Bydžovského (2016) je podáván při popáleninách v oblasti obličeje kyslík spolu s bronchodilatancii a kortikoidy (Ventolin 1 ml a Dexamed 8 mg) formou nebulizace. Při úrazech způsobených bleskem postupujeme podle jeho projevů. Pacient bez poruchy vědomí má prognózu dobrou. (Dobiáš et al., 2007, Remeš et al., 2013).

Tabulka 2: Transport popáleninového traumatu

Lehké popáleniny	Středně těžké popáleniny	Těžké popáleniny
II. stupeň do 10 % povrchu těla III. stupeň do 2 % povrchu těla	II. stupeň do 10-24 % povrchu těla III. stupeň do 2-10 % povrchu těla	II. stupeň nad 25 % povrchu těla III. stupeň nad 10 % povrchu těla U dětí do 2 let II. Stupeň nad 5 % povrchu těla Úrazy elektrickým proudem Problematické lokalizace (obličej, krk, genitál, ruce)
Ambulantní péče	Traumatologická centra	Popáleninová centra

Zdroj: WENDSCHE, Peter a Radek VESELÝ, 2015. *Traumatologie*. Praha: Galén. ISBN 9788074922114.

2.3 Akutní nemocniční péče

Intenzivní péče je poskytována na ARO, traumacentrech nebo na specializovaných JIP pro popáleninové stavy, podle projevů vzniklých poranění. Tato péče zahrnuje celou řadu terapeutických úkonů. Oxygenoterapie nebo umělá plicní ventilace, které předchází endotracheální intubace, se poskytuje u respirační insuficience. Terapie šokových stavů zahrnuje zejména volumoterapii a analgosedaci. Ke kterým se dle Cushinga et al. (2017) kanylují periferní či centrální žíla. Heparinizace pacienta se provádí za účelem prevence trombotických onemocnění, až po vyloučení vnitřního krvácení. Dále se poskytuje terapie poruch srdečního rytmu, antibiotická a tetanická profylaxe, terapie edému, předcházení stresového krvácení, zavádění močového katétru pro kontrolu dostatečné volumoterapie a stabilizace rovnováhy vnitřního prostředí (Měšťák et al., 2015). Tetanická prevence je ve formě aktivní nebo pasivní imunizace (Wendsche et al., 2015). K předcházení ucpání ledvinových tubulů zvyšuje množství podávaných krystaloidů a 4,2% bikarbonátu sodného nebo Manitolu ve smyslu forsírované diurézy. Pro nepřetržitou analgezií je využívána svodná anestezie. Jako prevence jaterního poškození jsou podávány hepatoprotektiva (Měšťák et al., 2015).

Léčba elektrotraumat v nemocniční péči se rozlišuje podle určitého druhu poranění. U poranění způsobených elektrickým proudem o nízkém napětí je důležité monitorování zasaženého pacienta za pomoci EKG a následná terapie srdečních arytmií.

Místní patologické změny na myokardu se léčí podle kardiologických postupů. Při současném termickém a ischemickém poranění mozkové tkáně dochází často k poruše vědomí až ke kómatu. V takových případech je zapotřebí spolupracovat s neurologem. Při stavech, v nichž dochází k dysbalanci vnitřního prostředí, se reguluje hodnota pH, elektrolytová rovnováha a zahajuje se volumoterapie Ringerovým roztokem (Königová et al., 2010). Kontinuální heparinizace probíhá (100 IU/kg) za pomoci injektomatu (Pokorný 2010). Při poškození pohybového aparátu je zajištěna jeho terapie (Königová et al., 2010).

Péče o pacienta, který byl zasažen proudem o vysokém napětí, zahrnuje dle Königové et al. (2010) komplexní stabilizaci stavu zasaženého pacienta a stabilizaci základních vitálních funkcí. Důležité je při pádech ze stožáru vysokého napětí, nebo z vagónů vyloučit polytrauma, popřípadě jej řešit. Jedná se především o vnitřní krvácení. U druhu těchto poranění taktéž zahajujeme náhradu tekutin. Důsledná náhrada tekutin slouží jako prevence pro selhání ledvin, které se dle Daleye et al. (2017) projevuje hematurií a tmavou močí. Zpravidla se podává Hartmann roztok nebo Ringer-laktát ze skupiny krystaloidních roztoků. Bartůněk et al. (2016) doporučuje katetrizaci močového měchýře pro kontrolu diurézy. Daley et al. (2017) popisuje diurézu jako indikátora hemodynamického stavu a funkce ledvin. Dle sledované diurézy, která by měla mít hodnoty 0,5 až 1 cm³/kg/h, by se měly dělat neustálé úpravy v množství hrazené tekutiny. Hirche et al. (2011) udává jako cílovou hodnotu diurézy u dětí 2 krát až 3 krát vyšší, než je normální hodnota (2 ml/kg/h). Königová et al. (2010) dále popisuje zahájení forsírované diurézy 250 ml 20% Manitolem. Daley et al. (2017) doporučuje dávkování Manitolu 1 g/kg, přičemž cílová hodnota diurézy moči je 2-3 ml/kg/h. Forsírovaná diuréza se při déle trvající pigmenturii může opakovat. Daley et al. (2017) a Cushing et al. (2017) se shodují v úpravě pH vnitřního prostředí podáváním bikarbonátu, jenž alkalizuje moč. Oba autoři doporučují podání hydrogenuhličitanu sodného. Pravidelně se podávají analgetika či sedativa nebo jejich kombinaci (Cushing et al., 2017). Çinar Yasti, et al. (2015) doporučuje Ketamin v dávce 0,5 mg/kg nebo Morfin v dávce 0,03 až 0,1 mg/kg. Diskuze ohledně podávání kortikoidů u popálenin je dle Königové et al. (2010) sporná. Při poranění střev se podávají širokospektrá antibiotika. Jejich preventivní podávání není doporučeno. Kontinuální heparinizace se aplikuje ve stejných dávkách. Popálené plochy se sterilně kryjí, aby se zabránilo vstupu infekce (Königová et al., 2010). Pacienti s popáleninami na více než 30 % povrchu těla se zavádí NSG sonda (Çinar Yasti, et al., 2015). Po

přijetí pacienta po pádu z výšky, např. vedení vysokého napětí následuje CT vyšetření kvůli prohlídce vnitřních orgánů, které mohou být postiženy vlivem traumatu. Po přijetí pacienta je dle Handschina et al. (2008) důležitý počáteční debridement a dezinfekce celého těla zředěným roztokem jódu, včetně odstraňování nečistot, nekrotické tkáně a eschar. Náhlé chirurgické výkony dle Königové et al. (2010) zahrnují escharotomii a fasciotomii sloužící k uvolnění tkáně. Tyto výkony jsou indikovány při nehmatném pulzu na končetinách, prodlouženém kapilárním návratu, brněním, mravenčením, cyanózou a palpačně tvrdým otokem. V našich podmínkách jsou nejčastější uvolňující „zig zag“ nářezy kůže. Řezy by měli zasahovat až na úroveň nepoškozené tkáně. Následně se na ně nanáší antibakteriální krémy Flammazine apod.

3 Úraz bleskem

Blesk je silný elektrostatistický přírodní výboj, mezi povrchem země a atmosférou, který vzniká během bouřky. Elektrický proud procházející kanálem blesku zahřívá okolní vzduch. Jeho prudká expanze vytváří zvukový fenomén známý jako hrom. Blesk trvá řádově 10^{-10} sekundy, napětí pólů dosahuje 10^{16} V, kanálem blesku teče elektrický proud od velikosti 10 až 200 tisíc A, teplota blesku je 5x vyšší, než je na povrchu Slunce (Alexík et al., 2011).

3.1 Výskyt a patofyziologie

Úder blesku je vzácný přírodní jev, který přináší celou řadu komplikací pro mnoho orgánů a riziko úmrtí. Známé komplikace zahrnují např.: infarkt myokardu, srdeční arytmie, CMP, kožní popáleniny, respirační poruchy, neurologické poruchy, akutní poranění ledvin a smrt (McIntyre et al., 2010).

Energie blesku se změní na elektrický proud, který teče po povrchu těla, při kterém dochází k poškození buněčných membrán, tepelnému poškození tkáně a jejich ischemii, která následuje po reflexivní vazokonstrikci. Predisponovaná je zejména vaskulární a nervová tkáň. Časté je také sekundární poškození těla, jenž je způsobeno vlivem nárazu do okolních objektů, kam je tělo odhozené z místa zásahu blesku (Alexík et al., 2011). Úraz způsobený vlivem blesku, je kvůli jeho malé incidenci spíše nepravděpodobný. Pravděpodobnost, že člověk bude během 80 let svého života zasažen bleskem je tisíckrát nižší, než šance zranění při autonehodě (Mejzlík et al., 2011). Lidé bývají ve volném terénu zasaženi nejčastěji do oblasti hlavy. To je zapříčiněno

vzpřímeným postojem. Umírá zhruba jedna desetina zasažených, a to převážně na kardiorespirační selhání (Alexík et al., 2011). Postižení, kteří přežili zasažení bleskem, mají velice často dlouhodobé až trvalé následky. Mezi takové potíže řadíme bolest hlavy, závratě, zvonění v uších, nespavost, nevolnost a zvýšenou únavu. Na tyto potíže nemá většinou vliv zasažené místo. Zasažení bleskem jedince, který je v uzavřeném prostoru nebo v budově, je výjimečné. Ani při zasažení rozvodů uvnitř budovy nedojde v poranění. To vše platí, když není zasažený v blízkém kontaktu s elektrospotřebičem (pevné linky). Při telefonování je naopak zasažení jisté (Mejzlík et al., 2011).

3.2 Druhy blesků

Price (2017) rozděluje blesky na čarové, rozvětvené, plošné, perlové a kulové. Čarový blesk má obraz jasně zářící ojedinelé čáry, která má lomený nebo klikatý tvar. Rozvětvený blesk má tvar stromu, který obsahuje hlavní větev a postranní větve. Plošný, bezhlučný blesk je bělavý záblesk doprovázen bouřkovým oblakem trvajícím zlomek sekundy. Připomíná vzplanutí oblaku v jeho celé šíři. Perlový blesk je složen z jednotlivých svítících záblesků kulového tvaru připomínající perly. Jejich rozstup je v rámcích metrů. Svítící tělesa nastupují náraz, ale vymizí postupně. Jsou doprovázeny zvukovými jevy. Zvláštní formou blesku je blesk kulový. Jeho vznik je dosud nezjištěn a vzniklo mnoho teorií. Kulový blesk je plazmový útvar, který nejspíše vzniká vlivem působení vysokého tlaku, teploty a elektromagnetického pole v dráze blesku. Má tvar koule o průměru 20 cm jakékoliv barvy. Trvá v rámci desítek sekund, odstupuje tiše nebo explozivně. Pohybuje se vlivem tepelného proudění vzduchu o rychlosti několik m/s několik metrů nad povrchem země.

3.3 Mechanismus úrazu bleskem

Přímý úder nastane, jestliže blesk přímo zasáhne osobu. Následky jsou obvykle fatální (Ritenour et al., 2008). Price (2017) popisuje kontaktní úder jako dotyk postiženého objektu, který byl primárně zasažen, např. strom nebo kovový předmět. Dále Price (2017) uvádí boční splash. Boční splash je blesk, který se odkloní z objektu primárního úderu. Když blesk udeří do země a proud se rozšiřuje v kruhových vlnách z tohoto místa, hovoříme o zemním proudu. Tupá poranění vznikají při odhození osoby z místa úderu blesku vlivem výbušné síly, která nastává vlivem rychlého ochlazení přehřátého vzduchu (Price, 2017).

3.4 Příznaky úrazu bleskem

Blesky způsobují celou řadu dalších poranění. Můžeme se setkat s vnějšími známkami poranění. Dochází k poruše vědomí a amnézii. Mohou se objevit poškození srdce nebo srdeční zástava. Až dvě třetiny vážně zraněných lidí, kteří byli zasaženi bleskem, mají keraunoparalýzu neboli přechodnou slabost končetin po úderu bleskem (Kumar et al., 2012). Dále se vyskytují povrchní popáleniny, hluboké popáleniny jsou vzácné. Blesk dokáže způsobit různé druhy zlomenin a dislokací kostí. Poranění lebky a krční páteře vznikají většinou v důsledku tupých poranění. Dochází v poškození plic projevující se dušností. Poranění očí může způsobit náhlé zrakové poškození nebo tvorbu katarakty. Při protržení ušního bubínku často dochází k závratím bolesti a ztrátě sluchu (Price, 2017).

3.5 Prevence

Nejčastější výskyt bouřky je v letních měsících v odpoledních a nočních hodinách. Blesky se ve většině případů vyskytují společně s mraky, popisují se však případy, kdy blesk udeřil v řádech kilometrů od bouřky, nebo naopak s ustupující bouřkou. Vlivem toho vznikají často neočekávaně i při jasné obloze. U vysokohorské turistiky je nejvíce nebezpečný začátek a konec bouřky. Turisté se řídí pravidlem, které udává, že zvýšené riziko zasažení bleskem přetrvává, jestliže je časová prodleva mezi bleskem a hromem menší než 30 sekund. Turista by se neměl vyskytovat v otevřené krajině méně než 30 minut od posledního blesku (Hermann et al., 2017). Kukla et al. (2016) dodává, že velice rizikovým místem, kde dochází k zasažení bleskem, jsou rozsáhlé vodní plochy.

Nejbezpečnějším místem v terénu během bouřky je chata nebo dům s uzavřenými okny a dveřmi. V malých přístřešcích nebo v málo uzavřených chatách hrozí výskyt bočních blesků. Stan před blesky neochrání kvůli kovové konstrukci, která funguje jako hromosvod. V otevřené přírodě bychom se měli vzdálit od horských vrcholů, osamocených stromů a například elektrických vedeních. Méně hustý lesní porost s nízkými stromy je více bezpečný než mýtina. Na otevřeném prostranství je doporučeno dát nohy k sobě, usednou do podřepu a snažit se co nejméně dotýkat země. Není doporučeno si lehnout na plochu na zem, kvůli napětí v důsledku zemního proudu (Hermann et al., 2017).

Kovy nepřitahují elektrický proud, ale jsou dobrým vodičem. Jakýkoliv vodivý předmět, který se vyskytuje nad výškou ramen, výrazně zvyšuje riziko zásahu bleskem. Například lyže, nebo lyžařské hůlky mohou sloužit jako hromosvod. Předměty jako jsou

mobil a vysílačky by měli být uloženy uprostřed batohu. Ostatní kovové předměty (např. karabiny a další lezecké vybavení využívané ve vysokohorské turistice) se doporučuje odkládat do bezpečné vzdálenosti. Každý kovový předmět, který je v přímém kontaktu s kůží, může způsobit popáleniny. Mokrý lezecký lan také může sloužit jako vodič pro blesk. Jestliže se vyskytuje v otevřeném terénu více osob, měli by udržovat mezi sebou odstup. Dají se využívat detektory blesků, které jsou využívány nejčastěji ve spojených státech (Hermann et al., 2017).

Automobily, autobusy a další vozidla obklopená kovem poskytují bezpečný úkryt proti působení blesku. Obvyklá mylná představa je, že gumové pneumatiky vozidla poskytují ochranu. Síla úderu blesku snadno překonává malou ochranu, kterou pneumatiky nabízejí. Jedná se o kovovou konstrukci, která umožňuje rozptýlit energii podél vozidla a udržet cestující v bezpečí před poraněním, pokud nejsou v kontaktu s elektrickými zařízeními, jako je rádio nebo kov samotného vozidla (Cooper, 2008).

3.6 Diagnostika

Diagnostiku u poranění bleskem Ševčík (2014) rozděluje do tří skupin, podle závažnosti: lehká, střední a těžká. Lehká poranění se projevují především krátkodobým bezvědomím, poruchou chování, orientace, parestezií a krátkodobou ztrátou paměti. Poškození kůže se vyskytuje pouze výjimečně a jsou povrchní. Střední závažná poranění se v obecných příznacích shodují s lehkými poraněními. Po úrazu se vyskytuje částečné ochrnutí, poruchy chování, spánku a je zde velmi časté poškození kůže. Těžká závažná poranění ve většině z případů zapříčiní srdeční zástavu. Tento úraz se stává nejčastěji v otevřeném terénu a z tohoto důvodu je neodkladná kardiopulmonální resuscitace poskytována s velkým odstupem času nebo dokonce vůbec. Proto je přežití zcela výjimečné.

U poranění bleskem platí, že je většině případů převyšují především dysfunkce srdeční činnosti před poškozením kůže. Poruchy srdeční činnosti zahrnují např. (asystolie, přechodná hypertenze, poškození myokardu, poruchy srdečního rytmu, které zahrnují fibrilace síní a komor). Dále se setkáváme s neurologickými poruchami (bezvědomí, poruchy chování, retrográdní amnézie, ochrnutí), poruchami smyslů (šedý zákal, poškození rohovky, krvácení do sklivce, odchlípení sítnice, poranění optického nervu, protržení bubínku, dočasná ztráta sluchu). Ve vzácných případech jsou popsány i protržení žaludku. Určitým projevem u poranění bleskem je vegetativní nestabilita, která se projevuje fixovanými a dilatovanými zornicemi. Tato známka se nesmí zaměnit

s nezvratným poškozením mozku, v tomto případě se neodkladná resuscitace neukončuje (Ševčík, 2014).

Specifickým projevem kožního poranění způsobené bleskem jsou dle Štefana et al. (2012) tzv. Lichtenbergovy obrazce – stromkovité pruhy připomínající větvičky. Ševčík (2014) dodává, že primární laboratorní a zobrazovací vyšetření se od ostatních forem elektrotraumatu nijak neliší.

3.7 Poranění oka

Oko je postižené u většiny lidí zasažených bleskem. Většinou se jedná o nepřímý zásah těla, při kterém jsou oči postiženy až u 70 % případů (Alexík et al., 2011).

Často se vyskytují případy katarakty (šedý zákal) po úrazu bleskem. Dochází k poškození čočky a sítnice. V případě čočky je to zapříčiněno relativně malou vodivostí. Okolní prostředí komorové tekutiny a sklivce je výrazně více vodivé. K uvolnění energie dochází při výrazné změně vodivosti prostředí, což svědčí pro objevení zákalů v přední a zadní čočkové kůře. Při elektrickém šoku dojde poměrně rychle ke koagulaci proteinů čočky s následným vytvořením vakuol ve střední periférii přední čočkové kůry. Vytvoření klinicky pozorovatelného zákalu může trvat měsíce (Alexík et al., 2011).

Sítnice je jako ektodermální nervová tkáň přirozeně elektricky vodivá, přičemž těsné spojení (zonulae accludentes) buněk retinálního pigmentového epitelu tvořící hemoretinální bariéru hrají roli polovodiče na přechodu sítnice – cévnatky (chorioidea) a z toho teoreticky vyplývá možnost častého poškození buněk RPE (pigmentové buňky) při zásahu bleskem (Alexík et al., 2011).

Z dalších poranění to jsou popáleniny očních adnex, ptóza (pokles) horní řasy, otok rohovky, keratopatie (alergická reakce) s tvorbou rohovkového vředu a poměrně časté je také krvácení do sklivce. Zrakový nerv bývá poškozený otokem s tvorbou termální papilitidy (zánět papily) a poškození tkání mozku má za následek nystagmus, případně poškození jader hlavových nervů až symptomatologii trvalého ochrnutí okohybných svalů (Alexík et al., 2011).

Úrazy bleskem, které většinou doprovází bezvědomí a amnézie, často souvisejí s poraněním struktur oka. Proto by při poranění bleskem měli být vždy vyšetřeny oči včetně vyšetření očního pozadí v mydriáze a pacient následně sledován, protože k vytvoření klinických příznaků může dojít až s odstupem času (Alexík et al., 2011).

3.8 Porucha sluchu po zasažení bleskem

První zmínky o poškození sluchu vlivem zasažení blesku bylo popsáno v roce 1925. Při působení blesku na lidský organismus může docházet k řadě poškozen sluchového ústrojí. Hrom způsobí náhlé akustické poranění, které nepoškodí bubínek ani středoušní kůstky. Vlivem blesku, působí na odlišné části statoakustického orgánu elektrický výboj. Dalšími obtížemi, které nalezneme u nemocných s poraněním ucha nebo hlavy jsou např. dvojité vidění, částečné ochrnutí končetin, porušená funkce n. facialis apod. Tyto poranění vypovídají o porušení CNS a hlavových nervů (Mejzlík et al., 2011).

Nedoslýchavost až hluchota způsobená vlivem zasažení blesku může být zapříčiněna třemi způsoby: elektromechanickým poškozením buněčných membrán elektrickým proudem, popálením a poraněním tlakovou vlnou. Z toho vzniká teorie, která popisuje, že při zasažení pacienta bleskem během telefonování z pevné linky může dojít ke kombinaci již zmiňovaných mechanismů poškození. Dochází ke vzniku popálenin na kůži v oblasti zvukovodu a na okrajích proděravěného bubínku. Elektrický výboj způsobí poranění v kochleární a vestibulární části vnitřního ucha, periferní poškození lícního nervu a laterální oblasti mozkového kmene v oblasti očního pozadí. Tlakové působení je způsobeno uzavřením zevního zvukovodu sluchátkem od telefonu (Mejzlík et al., 2011).

3.8.1 Elektromechanické poškození buněčných membrán elektrickým proudem

Při elektromechanickému působení primárně dochází k funkčnímu postižení buněčných membrán. Sekundárně se buněčné membrány stávají více propustné vlivem působení elektrického proudu o vysokém napětí. Tím je zapříčiněna ztráta nitrobuněčné tekutiny, která uniká do mimobuněčného prostoru. To má za následek morfologické změny, které se projeví v podobě otoků, hematomu a trombóz v místě poškození. Dochází také k postižení vestibulární (statokinetické) dráhy a mozkového kmene. Při působení vysoké elektrické energie blesku, mohou být způsobeny deformity v oblasti bradavkovitého výběžku (processus mastoideus). Naopak při působení energií s malou intenzitou dochází ke zvrtným změnám (Mejzlík et al., 2011).

3.8.2 Popálení

Vlivem působení blesku vznikají teploty o velké intenzitě, které se projeví v podobě popálenin především v místech, kde elektrický výboj do těla vstupuje a vystupuje. Stejný efekt nalezneme i v oblastech, kde dochází ke styku s kovovými předměty, jakými jsou např. spony, prsteny nebo hodinky. Vzniklé popáleniny najdeme při otoskopii na středoušních kůstkách. Dále je nalezneme na kůži bubínku a zvukovodu. Zvýšená teplota pravděpodobně může také poškodit některé části (rovnovážné, kochleární) vnitřního ucha (Mejzlík et al., 2011).

3.8.3 Tlaková vlna

Elektrický výboj při vysokém napětí zapříčiní spolu s tepelnými změnami náhlý vzestup akustického tlaku. Termické změny vedou k ionizaci měkkých tkání. Plyny vlivem velkého zahřátí se v malém prostoru zevního zvukovodu rozpínají a mohou spolu s vysokou teplotou poškodit, nebo až protrhnout bubínek na podkladě barotraumatu. Často také dochází k poškození vnitřního ucha. Rekonvalescence je ve většině případech komplikovaná hnisáním spolu s výtoky a vytvářením granulací. Proto se chirurgická léčba u nedoslýchavých odkládá až několik měsíců (Mejzlík et al., 2011).

3.9 Kardiovaskulární poranění po úrazu bleskem

Včasné rozpoznání příznaků a předvídaní komplikací nám pomáhá zlepšit výsledný stav pacientů po zasažení bleskem. Mezi nejzávažnější komplikace po úrazu bleskem zařídíme ty, které souvisejí s kardiovaskulárním systémem. Vyšetření pacientů, u kterých došlo k úrazu bleskem, by mělo zahrnovat podrobnou anamnézu a fyzikální vyšetření, 12 svodové EKG a stanovení hladiny troponinu. Dlouhodobé elektrokardiografické monitorování pacienta pro ventrikulární arytmie a jeho hodnocení může opodstatnit po úrazové hemodynamické komplikace (McIntyre et al., 2010).

3.9.1 Patogeneze

Poranění bleskem může nastat při přímém úderu blesku do zasaženého, kontaktu se zasaženým předmětem nebo jako tupé trauma z rázové vlny blesku. Je popisována celá řada mechanismů, které vysvětlují kardiovaskulární projevy po úrazu bleskem. Mezi ně patří spasmus koronárních arterií, účinky ketacholaminu, přímé tepelné poškození,

ischemie vedoucí ke vzniku arytmií a ischemie koronárních tepen, které jsou součástí generalizovaného vaskulárního poškození (McIntyre et al., 2010).

3.9.2 Porucha srdečního rytmu

Srdeční frekvence a rytmus mohou být ovlivněny přímo i nepřímo v důsledku úrazu bleskem. Přímý účinek mají elektrická a mechanická traumata. Nepřímý účinek může způsobit nadměrné uvolňování ketacholaminu. Přímý proud blesku může způsobit srdeční depolarizaci a asystolii. Jsou zaznamenány případy vzniku fibrilace síní a ventrikulární arytmie po zasažení bleskem, včetně výskytu u dříve zdravých srdcí. Je pravidlem, že u těchto pacientů dochází k návratu sinusového rytmu do několika dní. Náhlý vznik komorové fibrilace se nejčastěji vyskytuje při nepřímém úderu blesku do nějakého předmětu nebo do země poblíž osoby. Asystolie je nejpravděpodobněji zapříčiněna přímým průchodem blesku zasaženým pacientem (McIntyre et al., 2010).

3.9.3 Změny na EKG

V důsledku působení blesku byla zaznamenána celá řada změn křivky EKG. Mezi ně patří specifické a nespecifické změny úseku ST, přechodná inverze T-vln, prodloužení úseku QT a změny v šíření R-vlny. Byly také pozorovány změny, které jsou v souladu s ischemií, výpotkem perikardu, kontuzí a změnami v depolarizaci. Byly zaznamenány případy, kdy se u pacienta po zasažení bleskem vyvinulo přechodné prodloužení úseku QT, které mohou být podkladem pro ventrikulární arytmie. Toto zdůrazňuje důležitost monitorování EKG u zdánlivě stabilního pacienta, který byl zasažen bleskem (McIntyre et al., 2010).

3.9.4 Poškození myokardu

Úder blesku může vést k přímému mechanickému poškození myokardu. To se projeví na biochemickém výsledku krevních testů, kde je zvýšený troponin a kreatinkináza. Kontuzi stanovíme na podkladě abnormálních pohybů stěn myokardu pomocí echokardiografie (McIntyre et al., 2010).

K infarktu myokardu dochází v důsledku přímého poškození tkáně bleskem, v tomto případě mluvíme o kontuzi. Dále může dojít ke křečovitému zúžení cév neboli k vazospasmu (McIntyre et al., 2010).

Takotsubo kardiomyopathie (apikální balónkový syndrom) je charakterizována přechodnou levostrannou komorovou dysfunkcí, elektrokardiografickými změnami, které mohou napodobovat AIM, minimálním zvýšením srdečních enzymů za nepřítomnosti ischemické choroby srdeční. Rekonvalescence je u většiny zasažených bez vážnějších komplikací a dojde k obnově levostranné dysfunkce zhruba do jednoho týdne. Léčba zahrnuje diuretika, ACE inhibitory, betablokátory a sledování EKG (Latib et al., 2009).

3.10 Odhad rizika a rozhodování zásahu záchranářů

Zásahy záchranářů v průběhu bouřky jsou velice riskantní. U letecké záchranné služby může dojít k přímému zásahu vrtulníku bleskem, který vede k pádu vrtulníku. Taktéž může být zasažen sám záchranář při pomoci pacientovi. Vyskytuje-li se nebezpečí přítomnosti blesků, je na samotném záchranáři, aby posoudil, zda je pro něho zásah bezpečný nebo nikoliv (Hermann et al., 2017).

4 Závěr

Dnešní moderní svět si bez využívání elektrického proudu nelze ani představit. Stačí jen pomyslet na situaci, ve které by se na celém světě najednou vypnul veškerý elektrický proud. Naráz by přestala fungovat všechna zařízení, které jsou na elektrickém proudu závislá. Mnoho dnešních domácností by neměla čím topit, neměla by teplou vodu a všude by byla tma. Elektrický proud poskytuje nespočet výhod, ale také sebou přináší velká rizika a nebezpečí. O těchto rizicích jsme informováni už od útlého věku. I přesto, že každý riziko elektrického proudu zná a jsme vychováni, abychom s elektrickým proudem manipulovali se vší opatrností, můžeme se setkat s řadou situací, kdy elektrický proud způsobí závažná poranění či dokonce smrt. Tato bakalářská práce se zabývá sestavením algoritmů přednemocniční a akutní nemocniční péče při úrazech elektrickým proudem. Vypovídá o důležitosti řešení takto vzniklých poranění.

Cílem teoretické práce bylo ozřejmit komplexní problematiku úrazů elektrickým proudem v přednemocniční a akutní nemocniční péči. Na tuto problematiku následně navazují sestavené jednoduchého a stručné postupy v podobě algoritmů, které se dají využít při poskytování přednemocniční, ale i v akutní nemocniční péči. K dosažení takového cíle bylo zapotřebí prostudovat dostatečné množství aktuálních informací.

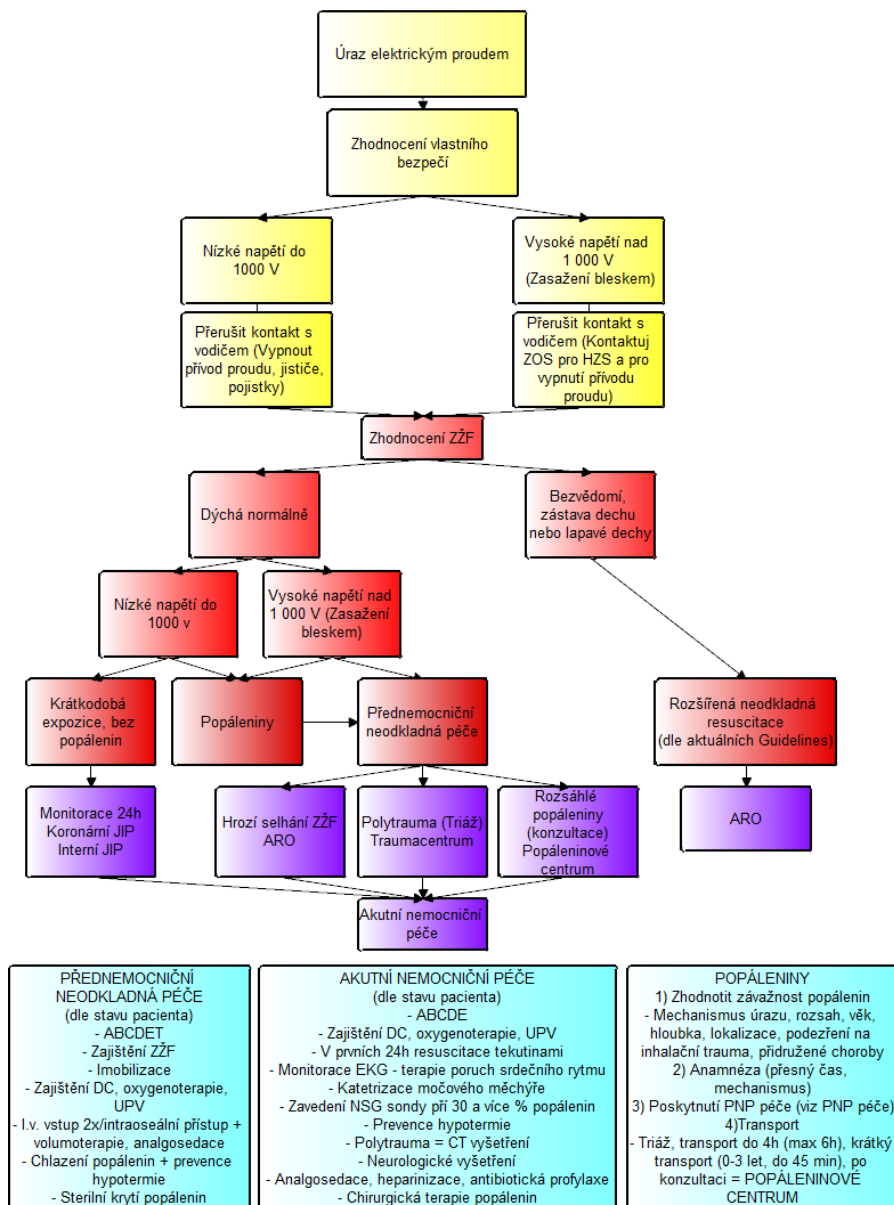
Důležitým zjištěním po prostudování informací k vypracování této práce byla absence algoritmu pro přednemocniční neodkladnou péči při úrazech elektrickým proudem v současných informačních zdrojích. V odborných publikacích jsou k dohledání pouze obecná doporučení, jak postupovat v přednemocniční neodkladné péči. Během vypracování bakalářské práce bylo dále zjištěno, že druh poranění, jenž pacient utrpěl se odvíjí od druhu elektrického proudu, který na pacienta působil. Proto je důležité v přednemocniční neodkladné péči odhadnout druh elektrického proudu, rychle, kvalitně a bezpečně poskytnou neodkladnou péči a následně správně určit cílové zařízení, kam bude pacient po stabilizaci stavu transportován. Na základě tohoto tvrzení byl sestaven algoritmus přednemocniční neodkladné péče. Terapie v nemocniční akutní péči je taktéž poskytována na základě obecných doporučení. Algoritmy, které jsou k dohledání, jsou zaměřeny pouze na konkrétní druh poranění, např. popálenin. Algoritmus bakalářské práce týkající se akutní nemocniční péče při úrazu elektrickým proudem, je sestaven na základě obecných doporučení, který je cílen pro jejich zjednodušení.

Doufejme, že jednotlivé vypracované algoritmy, jež jsou výstupem této bakalářské práce, budou přispívat k poskytované péči při úrazech způsobených elektrickým proudem.

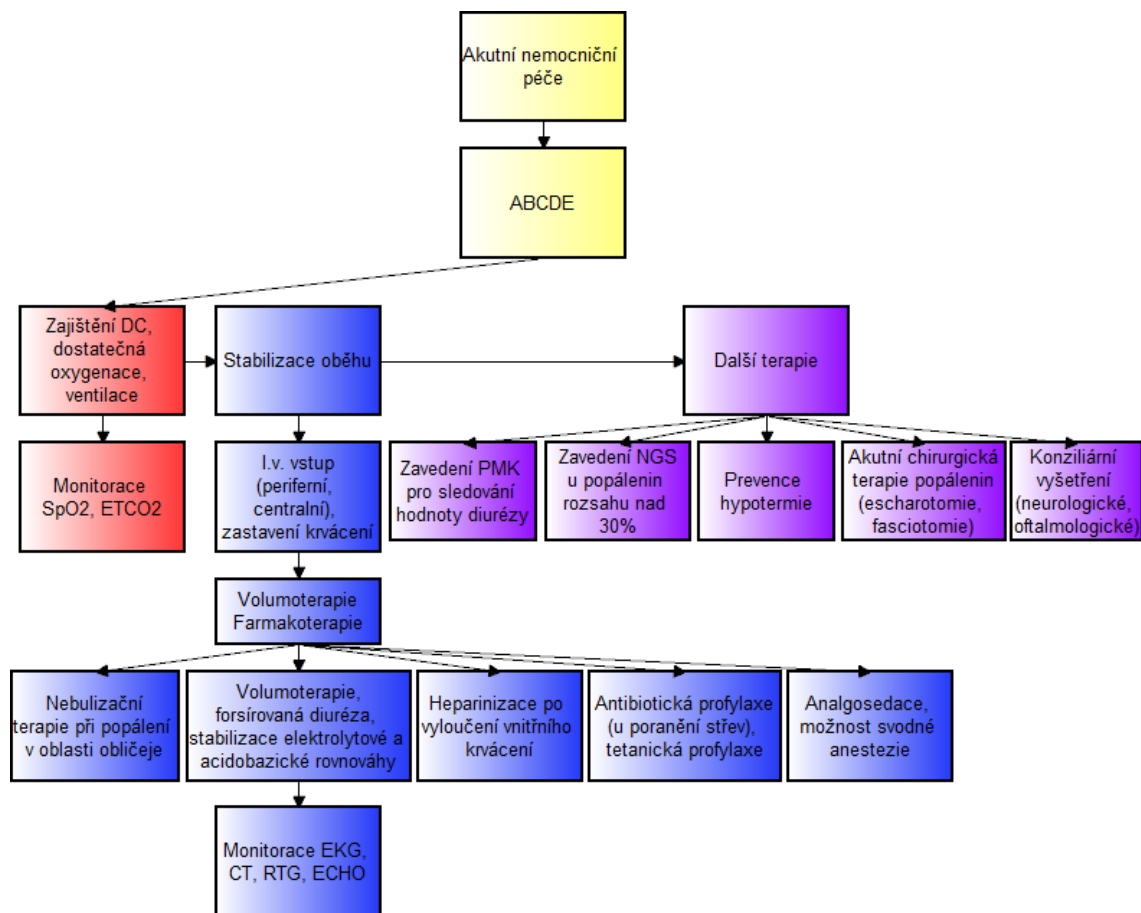
4.1 Výstup z práce

Výstupem bakalářské práce je již zmiňovaný algoritmus přednemocniční a akutní nemocniční péče.

4.1.1 Algoritmus přednemocniční péče:



4.1.2 Algoritmus akutní nemocniční péče:



5 Seznam použitých zdrojů

1. ALEXÍK, M.; STUBNA, M.; KÁCERIK, 2011. M. Cataract after lightning injury-case report. *Česká a slovenská oftalmologie: časopis České oftalmologické společnosti a Slovenské oftalmologické společnosti.*, 67.1: 27-29. ISSN 1211-9059.
2. BARASH, Paul G., Bruce F. CULLEN a Robert K. STOELTING, 2015. *Klinická anesteziologie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4053-9.
3. BARTŮNĚK, Petr, Dana JURÁSKOVÁ, Jana HECZKOVÁ a Daniel NALOS, ed., 2016. *Vybrané kapitoly z intenzivní péče*. Praha: Grada Publishing. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-4343-1.
4. BEEBE, Richard W. O. a Jeffrey. MYERS, c2012. *Trauma care & EMS operations*. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning. ISBN 9781428323483.
5. BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK, 2015. *Základy lékařské fyziky*. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 9788024626451.
6. BERKA, Štěpán, 2017. *Elektrotechnická schémata a zapojení v praxi*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4860-0.
7. BRUGGER Hermann, Werner BEIKIRCHER a Peter PAAL, 2017. *Prevence úrazu po zásahu bleskem* [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <https://www.oeav.cz/aktuality/prevence-urazu-po-zasahu-bleskem>
8. BYDŽOVSKÝ, Jan, 2011. *Předlékařská první pomoc*. Praha: Grada. Zdraví & životní styl. ISBN 978-80-247-2334-1.

9. BYDŽOVSKÝ, Jan. *Základy akutní medicíny*, 2016. Druhé, aktualizované a rozšířené vydání. Příbram: Ústav sv. Jana Nepomuka Neumanna Vysoké školy zdravotnictva a sociální práce sv. Alžbety, n.o. ISBN 9788090614659.
10. ÇINAR YASTI, Ahmet, Emrah ŞENEL a Mutlu SAYDAM, 2015. Guideline and treatment algorithm for burn injuries: Trauma. *Journal agent* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.journalagent.com/travma/pdfs/UTD-88261-REVIEW-YASTI.pdf>
11. COOPER, MA. Beyond the Basics: Lightning-Strike Injuries, 2008. *Emsworld* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.emsworld.com/article/10321223/beyond-basics-lightning-strike-injuries>
12. CUSHING, Tracy a Ronald K WRIGHT, 2017. Electrical Injuries in Emergency Medicine Medication: Emergency medicine. *Medscape* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://emedicine.medscape.com/article/770179-treatment#d9>
13. DALEY, Juan GALLEGOS a Jose GOICOLEA, 2017. Electrical Injuries Treatment & Management: Trauma. *Medscape* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://emedicine.medscape.com/article/433682-treatment#d9>
14. DOBIÁŠ, Viliam, 2007. *Prednemocničná urgentná medicína*. Martin: Osveta. ISBN 978-80-8063-255-7.
15. FERKO, Alexander, Zdeněk ŠUBRT a Tomáš DĚDEK, ed., 2015. *Chirurgie v kostce*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada. ISBN 9788024710051.
16. FRANĚK, Ondřej, 2012. První pomoc při úrazu elektrickým proudem. *Záchranná služba* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://www.zachrannasluzba.cz/zajimavosti/2011_elektroinstalater_uraz%20elektrickym%20proudem.pdf

17. FREI, Jiří, 2015. *Akutní stavy pro nelékaře*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Vydavatelství. ISBN 978-80-261-0498-8.
18. GAŠPARÍK, Jozef a Jiří KOLÁŘ, 2017. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí*. Praha: Grada Publishing. ISBN 8027100585.
19. HANDSCHIN, Alexander E., et al., 2009. A Case-matched Controlled Study on High-voltage Electrical injuries vs Thermal burns. *Journal of burn care & research*, 30.3: 400-407.
20. HIRCHE, Christoph, et al., 2011. Emergency prehospital care of burn injuries: thermal, electrical and chemical burns. *Journal of Paramedic Practice*, 3.1: 10-18.
21. HIRT, Miroslav a František VOREL, 2016. *Soudní lékařství*. Praha: Grada Publishing. ISBN 9788024756806.
22. IRT, Miroslav a Michal BERAN, 2011. *Tupá poranění v soudním lékařství*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4194-9.
23. HOLUBEC, Luboš, 2017. *Chirurgie pro zdravotnické nelékařské obory*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 9788026107231.
24. HUMPL, Lukáš a Milan KRÁTKÝ, 2008. Úraz elektrickým proudem. *Zdravotnická záchranná služba Moravskoslezského kraje* [online]. [cit. 2018-02-4]. Dostupné z: <http://www.uszsmsk.cz/Default.aspx?clanek=2862>
25. KENT, David J, 2013. *Tesla: the wizard of electricity*. New York: Fall River Press. ISBN 1435142977.
26. KÖNIGOVÁ, Radana a Josef BLÁHA, 2010. *Komplexní léčba popáleninového traumatu*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1670-4.

27. KŘÍŽ, Michal, 2014. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků: požadavky na základní odbornou způsobilost*. 10., aktualiz. vyd. Praha: IN-EL. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-87942-01-7.
28. KUKLA, Lubomír, et al., 2016. *Sociální a preventivní pediatrie v současném pojetí*. Grada Publishing as. ISBN 9788027192243.
29. KUMAR, Ashish, Vinjumari SRINIVAS a Barada P. SAHU, 2012. Keraunoparalysis: What a neurosurgeon should know about it? *US National Library of Medicine National Institutes of Health* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3669472/>
30. KYMPLOVÁ Jaroslava, 2013. Katalog metod v biofyzice. *Multimediální podpora výuky klinických a zdravotnických oborů: Portál 1. lékařské fakulty Karlovy Univerzity* [online]. [cit. 2018-03-08] Dostupný z [www: <http://portal.lf1.cuni.cz/clanek-793-katalog-metod-v-biofyzice>](http://portal.lf1.cuni.cz/clanek-793-katalog-metod-v-biofyzice). ISSN 1803-6619.
31. LATIB, Azeem, et al., 2009. Broken heart syndrome: tako-tsubo cardiomyopathy. *Canadian Medical Association Journal*, 180.10: 1033-1034.
32. LIN, Michelle a Eddy LANG, 2017. Electrical injuries. *Dynamed plus* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.dynamed.com/topics/dmp~AN~T116526/Electrical-injury#Treatment>
33. LIPOVÝ, B., et al., 2014. High voltage electrical injury: an 11- year single center epidemiological study. *Annals of burns and fire disasters*, 27.2: 82.
34. MAČÁK, Jiří, Jana MAČÁKOVÁ a Jana DVOŘÁČKOVÁ, 2012. *Patologie*. 2., dopl. vyd. Praha: Grada. ISBN 9788024735306.

35. MCINTYRE, William F., et al., 2010. The lightning heart: a case report and brief review of the cardiovascular complications of lightning injury. *Indian pacing and electrophysiology journal*, 10.9: 429-434.
36. MEJZLÍK, J.; CHROBOK, V.; JELÍNKOVÁ, H., 2011. Porucha sluchu vzniklá po zasažení bleskem. *Otorhinolaryngology & Phoniatics/Otorinolaryngologie a Foniatrie*, 60.1: 46-50
37. MĚŠŤÁK, Jan, Martin MOLITOR, Ondřej MĚŠŤÁK a Lucie KALINOVÁ, 2015. *Základy plastické chirurgie*. Vydání druhé. V Praze: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-2839-4.
38. NAVRÁTIL, Leoš et al., 2008. Vnitřní lékařství pro nelékařské zdravotnické obory. Praha: Grada. ISBN 9788024723198.
39. OD'ROURKE, Robert A.; WALSH, Richard A.; FUSTER, Valentin 2010. *Kardiologie: Hurstův manuál pro praxi*. 1. české vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3175-9.
40. OREL, Miroslav, 2016. *Psychologie: nauka o nemocech duše*. 2., aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada. Psyché (Grada). ISBN 9788024755168.
41. P. RUNDE, Daniel, 2016. Electrical injuries: Electrical and Lightning Injuries. *Marck manuals* [online]. [cit. 2018-02-8]. Dostupné z: <https://www.merckmanuals.com/home/injuries-and-poisoning/electrical-and-lightning-injuries/electrical-injuries#v827259>
42. PODĚBRADSKÝ, Jiří a Radana PODĚBRADSKÁ, 2009. *Fyzikální terapie: manuál a algoritmy*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2899-5.
43. POKORNÝ, Jan, c2010. *Lékařská první pomoc*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén. ISBN 9788072623228.

44. PRICE, Timothy, 2017. Lightning Strike. *Emedicinehealth* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: https://www.emedicinehealth.com/lightning_strike/article_em.htm#lightning_strike_facts
45. RAŠKA, Filip; LIPOVÝ, Břetislav; SUCHÁNEK, Ivan, 2017. Vysokonapěťová elektrotraumata mladistvých, stále aktuální téma. *Pediatr. praxi.*; 18(4): 243–245.
46. Redakce časopisu, 2013. *Konvenční meze dovolených dotykových napětí* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/legislativa/konvencni-meze-dovolonych-dotykovych-napeti>
47. REMEŠ, Roman a Silvia TRNOVSKÁ, 2013. *Praktická příručka přednemocniční urgentní medicíny*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4530-5.
48. RITENOUR, Amber E., et al., 2008. Lightning injury: a review. *Burns*, 34.5: 585-594.
49. ROSENBERG, Marta, et al., 2015. Immediate and long-term psychological problems for survivors of severe pediatric electrical injury. *Burns*, 41.8: 1823-1830.
50. ROSINA, Jozef et al., 2013. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Vyd. 1. Praha: Grada. 224 s. ISBN 978-80-247-4237-3.
51. SADOWSKY, Jonathan, 2016. *Electroconvulsive Therapy in America: The Anatomy of a Medical Controversy*. Taylor & Francis. ISBN 9781315522838.
52. SANDERS, Mick J., Lawrence M. LEWIS, Gary. QUICK a Kim. MCKENNA, c2012. *Mosby's paramedic textbook*. 4th ed. St. Louis, Mo.: Elsevier/Mosby Jems. ISBN 9780323072755.

53. STOLZ, Alan, et al., 2010. *Komplikace v plicní chirurgii*. Grada Publishing as. ISBN 9788024774435
54. VANDE VEN, Heather a SILVIO PODDA, 2017. Electrical Burn Injuries. *Medscape: DRUGS & DISEASES* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://emedicine.medscape.com/article/1277496-overview#a7>
55. ŠEVČÍK, Pavel a Martin MATĚJOVIČ, ed., c2014. *Intenzivní medicína*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-066-0.
56. ŠTEFAN, Jiří a JIŘÍ HLADÍK A KOLEKTIV, 2012. *Soudní lékařství a jeho moderní trendy*. Praha: Grada. ISBN 8024735946.
57. ŠTĚTINA, Jiří, 2014. *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4578-7.
58. K. EISMIN, Thomas, 2014. *Aircraft electricity and electronics*. Sixth edition. New York: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 9780071799164.
59. VOKURKA, Martin, 2012. *Patofyziologie pro nelékařské směry*. 3., upr. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 9788024620329.
60. WENDSCHE, Peter a Radek VESELÝ, 2015. *Traumatologie*. Praha: Galén. ISBN 9788074922114.
61. ZEMAN, Marek, 2013. *Základy fyzikální terapie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-403-2.
62. ZEMAN, Miroslav a Zdeněk KRŠKA, 2011. *Chirurgická propedeutika*. 3., přeprac. a dopl. vyd. [i.e. 4. vyd.]. Praha: Grada. ISBN 9788024737706.

6 Přílohy

Příloha 1 – Přímý a nepřímý dotyk

Příloha 2 – Tabulka rozsahu popálenin

Příloha 3 – Určení rozsahu popálenin

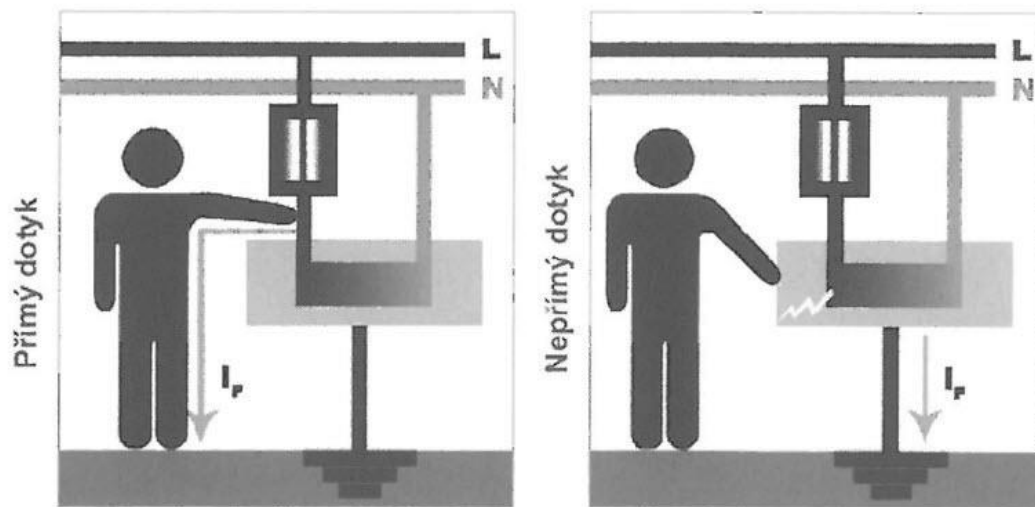
Příloha 4 – Elektrochirurgie

7 Tabulky

Tabulka 1: Rozdělení úrazů elektrickým proudem.....	19
Tabulka 2: Transport popáleninového traumatu	36

Příloha 1

Přímý a nepřímý dotyk živé a neživé části.





Zdroj: KRÍŽ, Michal, 2014. Příručka pro zkoušky elektrotechniků: požadavky na základní odbornou způsobilost. 10., aktualiz. vyd. Praha: IN-EL, 247 s. Elektro(IN-EL). ISBN 978-80-87942-01-7.

Příloha 2

Tabulka rozsahu popálenin dle Lunda-Browdera.



Část těla	Novorozené %	1 rok %	5 let %	10 let %	15 let %
Hlava	19	17	13	11	9
Krk	2	2	2	2	2
Přední část trupu	13	13	13	13	13
Zadní část trupu	13	13	13	13	13
Obě paže	8	8	8	8	8
Obě předloktí	6	6	6	6	6
Obě ruce	5	5	5	5	5
Genitálie zevní	1	1	1	1	1
Hýždě	5	5	5	5	5
Obě stehna	11	13	16	17	18
Oba bérce	10	10	11	12	13
Obě nohy	7	7	7	7	7

tabulka podle Lunda-Browdera

První nález		
Povrchní		%
Hluboká		%
Celkem		%

Část těla u dospělých	%
Hlava	7
Krk	2
Přední část trupu	13
Zadní část trupu	13
Obě paže	8
Obě předloktí	6
Obě ruce	5
Genitálie zevní	1
Hýždě	5
Obě stehna	19
Oba bérce	14
Obě nohy	7

tabulka podle Lunda-Browdera

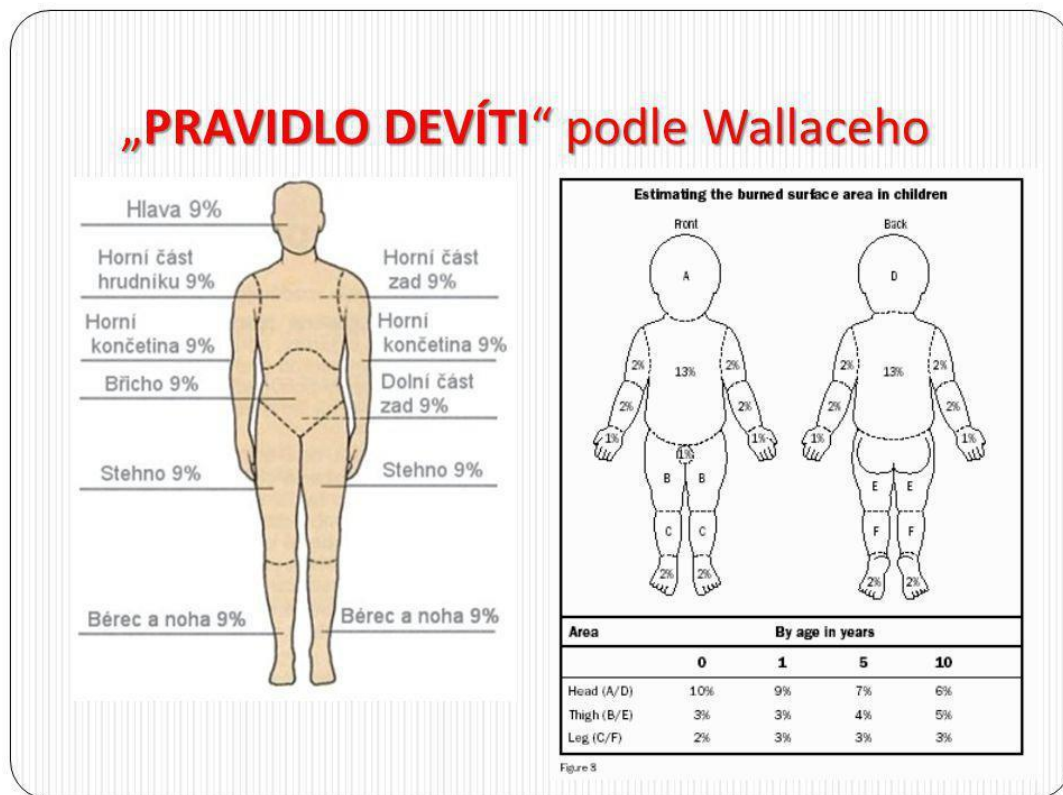
První nález		
Povrchní		%
Hluboká		%
Celkem		%

Zdroj: VACHTA, Václav, 2016. Vše o popáleninách: Základní pojmy, první pomoc i prevence. In: *Medifin* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z:

<http://www.medifin.eu/vse-o-popaleninach-zakladni-pojmy-prvni-pomoc-i-prevence/>

Příloha 3

Určení rozsahu popálenin podle Wallaceho.



Zdroj: ŠKORŇÁK, 2011. Popáleniny pro posádky RZP. In: *SlidePlayer* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2621188/>

Příloha 4

Znázornění elektrického okruhu v elektrochirurgii.

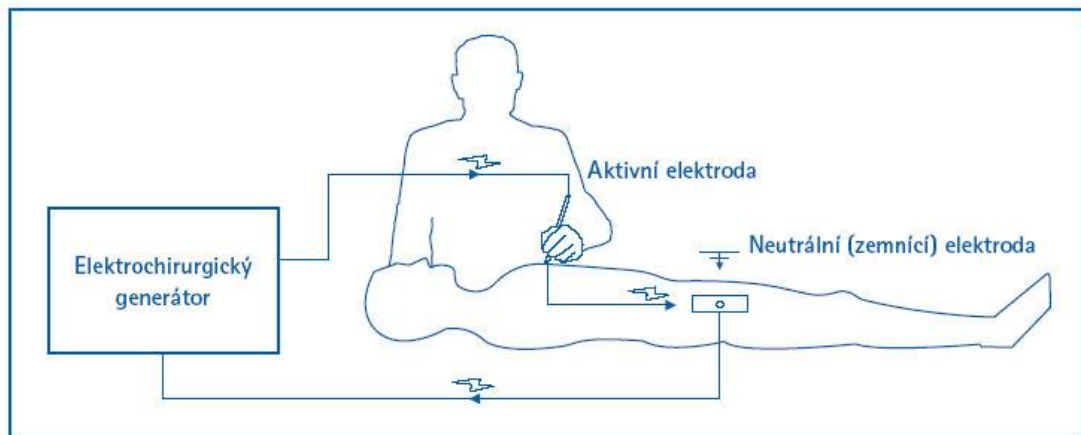


Diagram 1

Zdroj: BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK, 2015. *Základy lékařské fyziky*. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 9788024626451.

8 Seznam použitých zkratek

A – Ampér

AIM – Akutní infarkt myokardu

ARO – Anesteziologicko-resuscitační oddělení

CMP – Cévní mozková příhoda

CNS – Centrální nervový systém

CT – Počítačová tomografie

ECHO – Echokardiografie

EKG – Elektrokardiogram

Et al. – A kolektiv

Hz – Hertz

JIP – Jednotka intenzivní péče

KPR – Kardiopulmonální resuscitace

m/s – metr za sekundu

mA – Miliampér

ms – milisekunda

NCBI - National Center for Biotechnology Information

NSG – Nasogastrická sonda

OTI – Orotracheální intubace

PNP – Přednemocniční neodkladná péče

RTG – Radioizotopový termoelektrický generátor, rentgenové záření

V – Volt