

# Účinky elektrického proudu na organismus

Účinky elektrického proudu na organismus mohou být negativní i pozitivní (využitelné pro terapii). Negativní účinky závisí na řadě faktorů, které určují, jak bude organismus reagovat na procházející proud. Lze je dělit na přímé (průchod elektrického proudu tkáněmi) a nepřímé (popáleniny při zažehnutí oděvu, zlomeniny). Kontakt s elektrickým proudem nezpůsobuje vždy jen akutní poškození, může mít i pozdní účinky, objevující se po delší době. Míra negativních důsledků závisí mimo jiné i na poskytnutí kvalitní první pomoci.

## Faktory ovlivňující účinek elektrického proudu

Účinek elektrického proudu na lidský organismus ovlivňuje řada faktorů. Závisí na druhu proudu, jeho intenzitě, napětí i frekvenci, impedanci lidského těla, dráze proudu, době průchodu proudu a na fyziologickém a psychickém stavu organismu.

### Druh proudu

Oba druhy proudu způsobují rozklad krve a buněčných membrán, svalové křeče. Střídavý proud nadto nese rizika fibrilace srdce (viz Narušení bioelektrického rytmu srdce). Nejnebezpečnější hodnoty frekvence střídavého proudu jsou 30–150 Hz. (Běžně se používají proudy o frekvenci 50–60 Hz)

### Velikost proudu

Míra poškození organismu je přímo úměrná velikosti protékaného proudu. Pro lepší představu následující rozčlenění: <sup>[1]</sup>

- 0,5 až 1 mA – práh vnímání el. proudu,
- 1 až 8 mA – podráždění v nervech, stoupání krevního tlaku,
- 6 až 15 mA – způsobuje tetanickou křeč, člověk se nemůže uvolnit
- 25 mA – tetanická křeč dýchacího svalstva
- 60 mA – chvění srdeční komory (fibrilace), přechodná zástava srdce
- nad 80 mA – zpravidla trvalá zástava srdce

### Odpor

Odpor ovlivňuje především velikost, potažmo směr protékaného proudu (dle Ohmova zákona). Závisí na něm i míra tepelných účinků (viz Tepelné poškození).

Skládá se ze dvou základních složek: odporu samotného těla a přídatných odporů jako jsou šaty a boty. Ty mohou fungovat jako izolanty, obzvláště pokud jsou z nevodivého materiálu (gumové podrážky).

Odpor těla je značně individuální. Obecně platí, že největší odpor klade kůže, kost a tuková tkáň; nejmenší naopak vlhké nebo tekuté složky jako vnitřní orgány a tělní tekutiny. Odpor těla ovlivňuje i psychický stav, resp. psychosomatika (např. pocení, míra prokrvení pokožky, tj. její zvlhčení a případná změna odporu).

### Napětí

Napětí nižší než 1000 V jsou nízká, ostatní vysoká. Působení nízkého napětí závisí na okolním prostředí organismu (Viz Bezpečné hodnoty) zejména podle vlhkosti. Každopádně lze říci, že nízká napětí mají vliv na bioelektrickou rovnováhu tkání, zatímco vysoká napětí způsobují tepelná poškození. Nemusí dojít ani k fyzickému kontaktu vodiče a organismu, protože může vzniknout na vzdálenost elektrický oblouk (Viz Zasažení bleskem).

### Směr

Proud prochází tělem (dle Ohmova zákona) cestou nejmenšího odporu. V případě průchodu proudu mezi oběma dolními končetinami se objevují popáleniny a křeče svalstva. Při průchodu mezi pravou nohou a rukou jsou to opět popáleniny, křeče mohou zasáhnout i bránici, a tak druhotně ohrozit i dýchání. Nejzávažnější je však průchod proudu cestou přes srdce – tedy mezi levou rukou a jakoukoliv další končetinou; hrozí fibrilace komor. Velmi nebezpečné je i zasažení hlavy a průchod proudu dále do těla; dochází k zasažení nervového systému na daleko rozsáhlejší úrovni – zástava srdce, dýchání, tonicko-klonické křeče – při vysokých intenzitách je nadto tepelně poškozena mozková tkáň, což s sebou nese řadu sekundárních změn.

### Doba vystavení

Riziko poškození organismu se nejdříve s dobou vystavení zvyšuje, po určité době však dojde k „nasycení“ proudem a doba již nehraje roli. Vlivy na funkci srdce přitom vyplývají z EKG. Srdeční cyklus, který trvá zhruba 0,8s, v sobě obsahuje tzv. vulnerabilní fázi- dobu, odpovídající repolarizaci komor (vlna T na EKG), kdy je srdce nejvíce náchylné k fibrilaci. Pokud tedy proud prochází tělem déle než 0,8s, zasažení srdce ve vulnerabilní fázi je stoprocentní, při kratším působení se pravděpodobnost fibrilace a případné zástavy snižuje.

# Negativní přímé účinky elektrického proudu

## Narušení polarizace membrán a bioelektrického rytmu srdce

Zásah do polarizace membrán následuje po přímém průchodu proudu tkáněmi. Každá tkáň se skládá z buněk, které za fyziologických podmínek vykazují elektrické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou určeny existencí částic nesoucích elektrický náboj, které se vyskytují na obou stranách buněčné membrány. Vzniká klidový membránový potenciál, který je dán nerovnoměrným uspořádáním iontů. Do tohoto stavu se membrána dostane aktivním transportem iontů za spotřeby energie. Jejich pohyb je zdrojem elektrického proudu, který je podstatný pro přenos informací typický pro nervovou tkáň – aktivní membránový potenciál. Při nefyziologickém průchodu proudu nastane depolarizace membrány, membránový potenciál se zvýší. Vznikne a šíří se vzruch, nyní však patologicky bez vůle organismu. Jedinec je ohrožen křečemi, nekontrolovatelnou kontrakcí kosterního svalstva, které znemožní jeho ovládní (neschopnost se pustit vodiče s proudem a hlavně neschopnost dýchání při zasažení bránice, jakožto hlavního dýchacího svalu).



V případě, že proud probíhá mezi levou rukou a kteroukoliv další končetinou je vedle možnosti vzniku křeče podstatná hrozba fibrilace srdečních komor. Může dojít vedle zástavy dýchání i k zástavě srdeční činnosti. Srdce pracuje jako krevní pumpa s frekvencí přibližně 70 tepů za minutu. Vznik a šíření vzruchu zajišťuje převodní systém srdeční: vznik vzruchu je zajištěn spontánně depolarizujícími buňkami v SA uzlu a následné jeho vedení souvisí opět s přenosem elektrického signálu. Při průchodu střídavého proudu například s frekvencí 50 Hz se srdce snaží přizpůsobit frekvenci procházejícího proudu a pokouší se kmitat s frekvencí 50 stahů za sekundu. Tím je narušena synchronizace ve vedení vzruchu za účelem stahu komor. Srdce ztrácí schopnost práce pumpy, dochází k jeho fibrilaci, která může skončit smrtí zasaženého jedince.

## Tepelné poškození

Důsledkem tepelné energie, vzniklé při průchodu elektrického proudu tělem (Jouleovo teplo:  $Q=U \cdot I \cdot t$ ), se mohou vyskytnout elektrické popáleniny různého rozsahu. Míra poškození závisí především na intenzitě proudu, elektrickém odporu dané tkáně a na délce trvání průchodu proudu. Ten vstupuje do těla v okamžiku kontaktu a nikdy neprobíhá přímočaře, naopak jde cestou nejmenšího odporu a může se i větvit. Předtím než opustí tělo, může elektrický proud procházet vnitřními strukturami a hlubšími tkáněmi těla. Elektrické popáleniny kůže, která klade velký odpor, nacházíme v místech vstupu a výstupu proudu – tzv. proudové známky, jde o příškvary kůže šedé barvy. Dále klade velký odpor kost, tudíž se objevují rozsáhlé koagulační nekrózy tkání ji obklopujících, především se jedná o kosterní svalstvo.

## Svalová tkáň

Druhotně dochází ve svalu, který je zhmožděný a vůbec poškozený, k myonekróze. Myoglobin se uvolňuje do těla a stěhuje se v tubulech ledvin, což vede k jejich akutnímu selhání – anurie z myoglobinurie. Stav je velmi podobný crush syndromu. Anurie zároveň podmiňuje (spolu s předchozím působením elektrického proudu) zvyšování koncentrace draslíku v krevní plazmě (hyperkalémii).

## Cévní struktury

Důsledkem působení elektrického proudu je poškozena i cévní struktura, protože v době působení proudu se stávají cévy vynikajícím vodičem. Mohou vznikat trombózy (později infarkt a fibrilace komor), aneurysmata (později krvácení).

## Nervové struktury

Poškození nervové tkáně s sebou nese dlouhodobé následky v podobě ztráty hybnosti, lokální bolestivosti, či necitlivosti. Poškození v oblasti neurovegetativního systému má dále za následek palpitaci, prekordiální bolest, poruchy spánku a paměti.

## První pomoc

Při poskytování první pomoci je důležité dbát především na vlastní bezpečnost. Zachránce by se nikdy neměl dotýkat postiženého, dokud si není jist, že již není v kontaktu se zdrojem el. proudu, nebo pokud leží v oblasti, kde by mohl proud probíhat. Prvním krokem je tedy zamezení průchodu proudu organismem, které se provádí vypnutím elektrického proudu vypínačem, vypnutím pojistek nebo bezpečným odstraněním elektrického vodiče z povrchu těla. Při manipulaci s el. vodiči nebo s pacientem, kterým prochází proud, je nutností použít suchou gumovou obuv, gumové rukavice a další izolační materiály.

Druhý krok – kardiopulmonální resuscitaci, zahájíme, pokud zraněný nedýchá, nebo nemá zachovanou srdeční činnost. KPR musí být rychlá a poskytnuta do několika málo minut, provádíme ji až do doby příjezdu záchranné služby. Pacient mohl také utrpět poranění krční páteře a je nutné mu poskytnout péči dle tohoto stavu (při úrazu elektrickým proudem často dochází k pádu, nebo odhození). Akutní ošetření popálenin v místě vstupu a výstupu proudu můžeme provést sterilním zakrytím popálené plochy.

## Pozitivní účinky elektrického proudu

Pro léčebné účely se používá galvanický stejnosměrný proud nebo pulzní usměrněný střídavý sinusový proud. Galvanický proud o stálé intenzitě se využívá při iontoforéze, tedy metodě, kdy je do lidského organismu po zapnutí proudu vpravena přes kůži do krevního oběhu léčebná látka ve formě iontů. Dráždivého účinku nízkofrekvenčních pulzních proudů se využívá při elektrostimulaci periferních motorických neuronů nebo přímo svalu. Využívá se u pacientů po operacích, kteří nemohou provádět aktivní pohyb. Zabraňuje se vzniku trombózy. Kardiostimulace pracuje na stejném principu, pomáhá udržet srdeční frekvenci ve fyziologickém rozmezí. Při život ohrožující fibrilaci srdečních komor, kdy dochází k nesynchronizovaným záchvěvům srdeční svaloviny a srdce nefunguje jako krevní pumpa, se využívá defibrilátorů. Elektrický výboj přístroje depolarizuje náraz všechny buňky myokardu a tím navodí podmínky pro opětovný vznik fyziologických center tvorby vzruchu. Defibrilátor je přístroj s nabíjejíci se kondenzátory, které se pomocí elektrod spojí s pacientem. Následuje elektrický výboj rychlým vybitím energie naakumulované na kondenzátoru. Tato energie musí mít nadprahovou hodnotu pro přerušení fibrilace. Používají se hodnoty energie mezi 200 - 360 J. Nabíý kondenzátor má energii:

$$E = (1/2) C U^2$$

kde C je kapacita kondenzátoru a U je napětí mezi jeho deskami.

Elektrošoku se využívá v psychiatrii při léčbě depresivních stavů a při některých případech schizofrenie. Využívá se střídavého sinusového proudu o nízké frekvenci. Vysokofrekvenční proudy využívají převažujícího tepelného účinku, který prochází tkání. Díky vysoké frekvenci prochází dobře proud jak kůží, tak ostatními tkáněmi bez dráždivého efektu. Vznikem tepla dojde k vasodilataci, potlačení bolestí či zlepšení výživy tkání. Diatermie se proto aplikuje při onemocnění pohybového aparátu.

## Bezpečné hodnoty pro práci s elektrickým proudem

Pro práci s elektrickým proudem platí bezpečnostní předpisy, které stanovují bezpečné hodnoty pro lidský organismus. Podstatná je zejména intenzita proudu, kdy však záleží, jestli se jedná o stejnosměrný nebo střídavý proud. Obecně platí, že účinek elektrického proudu na lidský organismus je přímo úměrný velikosti procházejícího proudu. U stejnosměrného proudu jsou stanoveny hodnoty intenzity do 10 mA jako bezpečné, u střídavého proudu do 3,5 mA. Důvod, proč člověk snese větší proud stejnosměrný než střídavý, spočívá v tom, že nejnebezpečnější je fáze, kdy proud mění svou polaritu, což nastává u proudu střídavého. Tehdy jsou tkáně nejvíce namáhány. Hranice bezpečných napětí závisí opět na druhu proudu, avšak výrazně i na okolním prostředí v němž se člověk nachází. Stanovena jsou tři podle bezpečnosti: bezpečné, nebezpečné a zvláště nebezpečné. Bezpečným prostředím jsou míněny klimatické podmínky s nižší vlhkostí a teplotou, kde pro stejnosměrný proud platí nejvyšší hodnota 100 V a pro střídavý proud hodnota 50 V. Naopak zvláště nebezpečné prostředí s vysokou vlhkostí bezpečné hodnoty sníží u stejnosměrného na 24 V a na 12 V u střídavého proudu. U střídavého proudu je významná při hodnocení nebezpečí také jeho frekvence. Nejnebezpečnější hodnoty se pohybují v rozmezí 50-60 Hz, což odpovídá i nejběžněji používaným hodnotám v praxi.

## Odkazy

### Literatura

Leoš Navrátil, Jozef Rosina a kolektiv, *Medicínská biofyzika*, 2013

### Externí odkazy

<https://web.archive.org/web/20160331222721/http://zdravi.e15.cz/clanek/sestra/kazuistika-popaleniny-zpusobene-elektrickym-proudem-374798>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_burn](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_burn)

### Reference

- VLADIMÍR MEDUNA, CTIRAD KOUDELKA,. *Účinky elektrického proudu na lidský organismus, Ostrava, Březen 2006* [online]. [cit. 2013-12-01]. <fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/.../Ucinky%20el.%20proudu.pdf>.

### Související články

- Vedení elektrického proudu tělem
- Úrazy elektrickým proudem
- Zasažení bleskem