

UNIVERZITA KARLOVA

FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ

KATEDRA BIOFYZIKY A FYZIKÁLNÍ CHEMIE

**Biofyzika elektrických projevů a
účinků elektrické energie na lidský
organismus**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hradec Králové, 2017

Dominika Všetická

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych zde poděkovala vedoucí bakalářské práce Mgr. Monice Kuchařové, Ph.D., za její cenné rady a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky.

Dále bych ráda poděkovala mé rodině a přátelům za podporu během studia.

„Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním autorským dílem a veškeré myšlenky, data a jejich zdroje, z nichž jsem pro zpracování čerpala, řádně cituji. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.“

Hradec Králové, 30.4.2017

podpis

Obsah

Úvod	6
1 Základní pojmy a definice	7
1.1 Elektrický náboj a elektrický proud	7
1.1.1 Coulombův zákon a permitivita	8
1.2 Elektrické napětí a elektrický odpor	8
1.3 Elektrický potenciál	9
2 Elektrické procesy v živém organismu	10
2.1 Elektrický proud	10
2.2 Elektrické a magnetické pole	11
2.3 Elektrické napětí	12
2.4 Membránový potenciál	12
2.4.1 Klidový membránový potenciál	12
2.4.2 Akční membránový potenciál	13
3 Struktura buněčných elementů	15
3.1 Buněčná membrána	15
3.1.1 Komunikace mezi buňkami	17
3.2 Svalová buňka	19
3.2.1 Kosterní svalovina	19
3.2.2 Hladká svalovina	19
3.2.3 Srdeční svalovina	20
3.3 Nervová buňka	20
3.3.1 Synapse a vzruch	21
4 Vedení elektrického proudu	23
4.1 Dráždivost	24
5 Účinky elektrického proudu na lidský organismus	25
5.1 Úrazy elektrickým proudem	25

5.1.1	První pomoc při poranění elektrickým proudem	27
6	Využití elektrického proudu v medicíně a laboratořích	28
6.1	Využití akčních potenciálů v diagnostice	28
6.1.1	Elektrokardiografie	29
6.2	Metody založené na elektrické dráždivosti	33
6.2.1	Elektrodiagnostika v neurologii a při rehabilitaci	33
6.2.2	Elektrostimulace	33
6.3	Elektrochirurgie	34
6.4	Využití střídavého proudu v diagnostice	34
6.5	Léčebné využití elektrického proudu	35
6.5.1	Galvanický proud	35
6.5.2	Magnetoterapie	35
6.6	Laboratorní instrumentace	36
6.6.1	Elektroanalytické metody	37
6.7	Elektroforéza	38
6.7.1	Kapilární a gelová elektroforéza	38
6.7.2	Izoelektrická fokusace	39
6.7.3	Izotachoforéza	39
	Závěr	41
	Literatura	42

Úvod

V této bakalářské práci s názvem „Biofyzika elektrických projevů a účinků elektrické energie na lidský organismus“ se zabývám především fyzikálními pochody v živém těle. Snažím se přiblížit čtenářům princip a důsledek všech základních projevů elektrického proudu v organismu nejen z fyzikálního, ale i z biologického hlediska. Dále kladu důraz na význam elektrického signálu v našem těle a na úrazy, které úzce souvisí s elektrickým proudem.

Dnes již prokazatelně víme, že elektrický proud působí v organismu spolu s biochemickými procesy a s membránovými potenciály. Buněčná membrána se skládá z vrstev, jež jsou v této bakalářské práci popsány. Popisují zde i principy průchodu iontů mezi vnitřním a vnějším prostředím buňky. Správná funkce všech pochodů v organismu vede k určitým fyziologickým hodnotám. V opačném případě můžeme diagnostikovat onemocnění, popřípadě patologické stavy v těle.

Cílem bakalářské práce je seznámení čtenáře se základními fakty a seskupení nových poznatků v rámci daného tématu za několik posledních let. V první kapitole se věnuji základním pojmům a principům z fyzikálního hlediska. Dále vysvětluji a popisují cytoplazmatickou membránu a přibližují princip biochemických pochodů, které probíhají na plazmatické membráně. Další kapitoly popisují elektrický proud, jak je veden v těle, jaké jsou jeho účinky, a nejvíce se zaměřuji na oblast diagnostiky. Bakalářská práce může posloužit jako doplňkový studijní materiál pro předmět biofyzika.

Kapitola 1

Základní pojmy a definice

Elektrický náboj je přítomný ve všech orgánech našeho těla. Jedná se o jednu ze základních fyzikálních vlastností elementárních částic, a zároveň patří k základním fyzikálním veličinám. Tento náboj může být kladný nebo záporný. Celkový náboj 1 molu látky se nazývá Faradayova konstanta. V každém systému platí zákon o zachování elektrického náboje. [1]

1.1 Elektrický náboj a elektrický proud

Mezi základní fyzikální veličiny patří elektrický náboj Q , jehož jednotkou je coulomb C. Elektrický náboj 1 C je „náboj, který proteče vodičem při konstantním proudu 1A za 1s.“ [2] Elektricky nabitá látka se k sobě přitahuje nebo se od sebe odpuzují a na sebe vzájemně působí určitou silou. Pokud dochází k pohybu takto nabitých částic, mluvíme již o elektrickém proudu I . Elektrický proud má jednotku ampér A a jeho hodnota je závislá na elektrickém náboji Q . Elektrický proud je definován vztahem 1.1, kde Q je elektrický náboj a t je doba průchodu elektrického náboje vodičem. [3]

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Elektrický proud dělíme na dva druhy - střídavý a stejnosměrný. Střídavý proud je charakterizován periodou T (doba, za kterou proběhne jeden cyklus), časem a frekvencí (kmitočtem) f (počet period za sekundu). Rovnice 1.2 určuje vztah mezi periodou T a frekvencí f .

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.2)$$

Stejnoseměrný proud představuje pohyb částic ve stejném směru. U střídavého proudu se naopak mění směr částic. Aby došlo k průchodu elektrického proudu, je nutný uzavřený obvod. [1, 2, 4]

1.1.1 Coulombův zákon a permitivita

Coulombův zákon pojednává o síle, kterou působí na sebe dva náboje, nesoucí kladný či záporný náboj. Tato síla je odpudivá, nebo přitažlivá a je přímo úměrná součinu jejich velikostí a nepřímo úměrná jejich vzdálenosti. V rovnici 1.3 značí F sílu, Q_1, Q_2 jednotlivé náboje, r vzdálenost mezi náboji a konstanta ϵ udává permitivitu.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1.3)$$

Permitivita úzce souvisí s elektrickým polem; charakterizuje elektrické vlastnosti prostředí. Vysokou permitivitu má především voda. Díky vyšší permitivitě dochází ke snadnému rozpouštění solí. Voda poskytuje i výhodu pro ionty, jelikož ty se ve vodě mohou různě oddalovat nebo přibližovat a tím dochází ke změně velikosti přitažlivých sil mezi danými ionty.

1.2 Elektrické napětí a elektrický odpor

Elektrické napětí U je charakterizováno rozdílem dvou elektrických potenciálů. Jeho jednotkou je volt V. V běžné praxi můžeme napětí získat z baterií či elektráren. Ovšem z hlediska biologického se nejčastěji měří napětí na membráně U_{mem} mezi vnitřní a vnější stranou membrány. Rovnice 1.4 vychází z Nernstova vztahu pro elektrodotový potenciál E , kde se místo aktivity jednotlivých iontů vyskytuje koncentrace iontů uvnitř a vně membrány c_i^{ex}, c_i^{in} . R vyjadřuje univerzální plynovou konstantu, T absolutní teplotu a F Faradayův náboj. [1, 2]

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{c_i^{ex}}{c_i^{in}} \quad (1.4)$$

Z tohoto vztahu tak můžeme odvodit kolísání membránového napětí. Zjistíme i hodnotu membránového potenciálu, který nám ukazuje koncentraci iontů na obou stranách membrány a dokážeme tak určit pohyb iontů přes membránu.

S elektrickým napětím úzce souvisí i elektrický odpor R , jehož jednotkou je ohm Ω . Při měření hodnot v organismu se nejvíce řídíme Ohmovým zákonem 1.5, který vyjadřuje vztah mezi napětím U a proudem I . [1, 2, 3]

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.5)$$

Elektrický odpor je především důležitý pro vedení proudu, jelikož každá tkáň organismu má hodnotu odporu jinou a elektrický proud prochází cestou nejmenšího odporu. Spolu s nábojem iontů určuje odpor iontový pohyb.

1.3 Elektrický potenciál

Elektrický potenciál ϕ je fyzikální veličina, která udává množství práce potřebné k přenesení elektrického náboje do daného místa.

Mezi nejčastěji sledované a měřené potenciály v lidském organismu patří vnitřní potenciál (Galvaniho potenciál) ϕ a elektrochemický potenciál μ .

Vnitřní potenciál ϕ je závislý na práci W , kterou je nutné vykonat, aby došlo k přesunu náboje Q do elektricky nabitého místa. Celý tento vztah je vyjádřen rovnicí 1.6:

$$\phi = \frac{W}{Q} \quad (1.6)$$

Při pohybu iontů dochází také k oxidaci nebo redukci, kde můžeme měřit elektrochemický potenciál μ_i . Ze vztahu 1.7 vyplývá, že do výpočtu zahrnujeme i vykonanou práci, která je potřeba k přesunu náboje z chemického i elektrického hlediska.

$$\mu_i = \mu + z_i F \phi \quad (1.7)$$

F vyjadřuje Faradayovu konstantu, z počet elektronů a μ chemický potenciál.

Obecně lze tedy říci: aby vznikl potenciál, musí docházet k výměně elektricky nabitých částic, čímž dochází k chemickým reakcím. [1, 2, 3]

Kapitola 2

Elektrické procesy v živém organismu

Každý živý organismus se skládá z mnoha buněk, ve kterých probíhá nespočet mezibuněčných procesů, jejichž hlavními produkty jsou elektrický proud, elektrické napětí a membránový potenciál (klidový a akční membránový potenciál). Všechny procesy jsou pro organismus důležité z mnoha důvodů. Buňka může růst, metabolizovat různé živiny a především konat práci (některé z nich konají práci mechanickou, jiné osmotickou či elektrickou). Základem mnoha funkcí je potřeba mít dostatek energie. Hovoříme tedy o energii adenosintrifosfátu (ATP), která vzniká právě z chemických pochodů či fyzikálních dějů. Proto nejprve vysvětlím základní pojmy, které souvisí s metabolickými přeměnami v živém organismu. [3, 5]

2.1 Elektrický proud

Činností buněk živého organismu vzniká soubor elektrických signálů, jehož součástí je mimo jiné i elektrický proud. Elektrický proud můžeme definovat jako usměrněný pohyb částic s elektrickým nábojem. V živém organismu vzniká jako produkt různých dějů na membránách buněk zejména ve vzrušivých tkáních a orgánech.

Elektrický proud se v lidském těle dokáže rychle přenášet hlavně díky tělním tekutinám, které se chovají jako elektrolyty. Pro elektrolyty je typickou charakteristikou vodivost neboli konduktance, jež určuje schopnost látky vést elektrický proud. Špatná vodivost proudu je především v tukových buňkách a jistý odpor proudu kladou i buněčné membrány.

V živém organismu můžeme na elektrický proud pohlížet ze dvou úhlů. Pokud zkoumáme činnosti orgánů a tkání v elektrickém poli, jedná se o pasivní elektrické vlastnosti. Aktivní elektrické vlastnosti vznikají, jestliže sledujeme elektrický proud přímo na buněčných membránách.

Pasivní elektrické vlastnosti tkání souvisí především s tím, jakým je prostředí

organismu vodičem elektrického proudu a jak se chovají tkáně v elektrickém poli. To vše můžeme zjistit díky elektrické vodivosti a odporu dané tkáně. Hlavní překážku při průchodu elektrického proudu do těla představuje kůže, poté se proud setkává s orgány a tělními tekutinami. Každou složkou prostupuje různě rychle. Záleží na struktuře a chemickém složení prostředí, kterým proud prochází. Tekutiny obsahují různé ionty, jež zvyšují měrnou vodivost. Naopak jiné tkáně se vyznačují vysokým odporem proti elektrickému proudu. Odpor kůže může být snížen například jejím navlhčením, jelikož voda je jedním z vodičů elektrické energie. V situaci, kdy elektrický odpor dosáhne hodnoty odporu cytoplazmy, se jedná o patologický stav buněčných membrán (jedná se o mrtvou tkáň). Pasivní elektrické vlastnosti zkoumáme z důvodu možnosti poškození cév i změny elektrochemických pochodů v těle.

Aktivní elektrické vlastnosti tkání popisuje klidový i akční membránový potenciál. Za jejich vznikem stojí především aktivita vzrušivých tkání. Pro snímání elektrické aktivity z povrchu různých tkání jsou zapotřebí elektrody, které se rozlišují na různé podtypy dle potřeby a systému měření. Pro správné změření biosignálů je důležité mít mezi elektrodou a daným povrchem vhodný elektrolyt, který zlepší kvalitu a přesnost měření. Nejvíce se měření elektrických signálů přes elektrody používá v diagnostice srdečních, svalových a mozkových poruch. U srdečních poruch je výsledkem měření elektrokardiogram (EKG), který ukazuje zápis srdečních akčních potenciálů. Na této srdeční akci se podílí několik částí srdce - sinoatriální vzruch, atrioventrikulární uzel, Hissův svazek a Purkyňova vlákna. Elektroencefalogramem (EEG), záznamem elektrické aktivity mozku, se zjišťuje epilepsie a různé nádory na mozku. [6, 7, 8]

2.2 Elektrické a magnetické pole

K elektrickým jevům je nutné přidat i vliv magnetického pole.

Magnetické pole bylo již dlouhou dobu využíváno v odvětvích techniky i bankovníctví. Před několika lety se začlo využívat toto pole i v lékařském odvětví. S vývojem těchto diagnostických metod začal být sledován také vliv elektromagnetického pole na lidský organismus. Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se množstvím elektropotřebičů dochází k většímu výskytu nádorů. Nejnovější informace nasvědčují tomu, že *„elektromagnetické pole ovlivňuje vlastnosti buněčného cyklu, proliferaci a diferenciaci buněk“*. [9] Elektromagnetická pole v buňkách jsou spojena s přítomností kanálků, které jsou propustné a selektivní pro různé ionty a transportéry. Při modulaci těchto kanálků magnetickým polem je možná změna struktury membrán a tím dochází k rozvoji vzniku embryonálních tumorů. Dalšími negativními účinky elek-

elektromagnetického pole na lidský organismus může být stimulace růstu patogenních mikrobů v těle člověka. [2, 4, 10]

Z fyzikálního hlediska je magnetické pole jednou ze složek elektromagnetického pole. Působení magnetického pole na nabitou částici vyjadřujeme magnetickou indukcí. [3, 7]

2.3 Elektrické napětí

Mezi vnitřním a vnějším prostředím buňky vzniká elektrické napětí. Elektrické napětí souvisí s elektrickým potenciálem ϕ , jelikož napětí se rovná rozdílu potenciálů dvou různých míst. Podstata vzniku elektrického napětí je v rozdílné koncentraci iontů uvnitř a vně buňky. Principem je přenos elektricky nabitých částic, kdy se buňka přijetím nabitých částic redukuje a podléhá chemické reakci. Toto elektrické napětí závisí na druhu i stavu biologického materiálu. Hodnota elektrického napětí se zpravidla pohybuje v řádech jednotek až desítek milivoltů, např. ve svalové buňce v klidu lze naměřit kolem 90 mV a v nervové asi 60 mV. Tyto klidové hodnoty se prudce mění během šíření signálu, kdy se hovoří o akčním napětí. Důležitá je i rychlost šíření signálu nervovými vlákny, jež je předmětem zájmu lékařských věd. [7]

2.4 Membránový potenciál

Pojem membránový potenciál je důležitý pro pochopení základních principů probíhajících na buněčných membránách. Vzniká z důvodu pohybu kladně a záporně nabitých iontů z vnější strany membrány do vnitřní strany membrány. Průchod iontů vzniká na základě elektrochemického gradientu; permeabilita pro různé ionty se liší a tím se mění i jejich poměr na každé straně membrány. Membránový potenciál dělíme na klidový a akční membránový potenciál. [2, 6, 7]

2.4.1 Klidový membránový potenciál

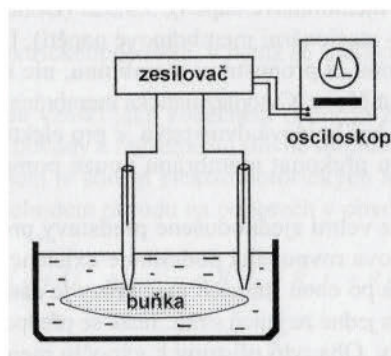
Pokud je na buněčných membránách vzrušivých tkání fyziologický klid, dochází zde k přenosu iontů (hlavně se jedná o ionty chloridové, draselné, vápenaté a sodné) a vzniká klidový membránový potenciál, jehož hodnota se pohybuje v rozmezí -50 mV až -90 mV. Záporná hodnota se vyskytuje především u vzrušivých tkání organismu.

Jak již bylo zmíněno, na vnitřní a vnější straně membrány jsou ionty nerovnoměrně rozloženy. Klidový membránový potenciál se snaží díky iontům vyrovnat koncentraci po obou stranách membrány. V intracelulární části buňky nacházíme K^+ ionty a bílkoviny, které nesou záporný náboj. Naopak na extracelulární straně

membrány jsou ionty sodné a chloridové. Pro jejich pohyb je potřeba přidat do děje určitou energii. Pokud ionty putují proti elektrochemickému gradientu, musí být tomuto úkonu přidávána energie - ATP nebo se využívá ATPázová pumpa, pomocí které K^+ ionty prochází dovnitř buňky, Na^+ ionty jsou čerpány z buňky ven.

Přes membránu ovšem neprochází zcela všechny látky, pro některé látky je membrána nepropustná. Díky těmto iontům, které se hromadí na jedné straně membrány vzniká Donnanova rovnováha a Donnanovo napětí, jež je důležité pro vysvětlení výskytu napětí na biomembránách.

Klidový membránový potenciál se měří pomocí mikroelektrod, které musí být velice tenké, aby nedošlo k poškození buněčné membrány. Kapilára obsahuje vnitřní roztok KCl. Dojde k propojení s měřícím obvodem pomocí chloridostříbrné elektrody. Ve vnějším prostředí je druhá elektroda. Výstupní signál je přiváděn na osciloskop, anebo je převáděn do počítače. Jednoduché schéma tohoto měření je na obr. 1.

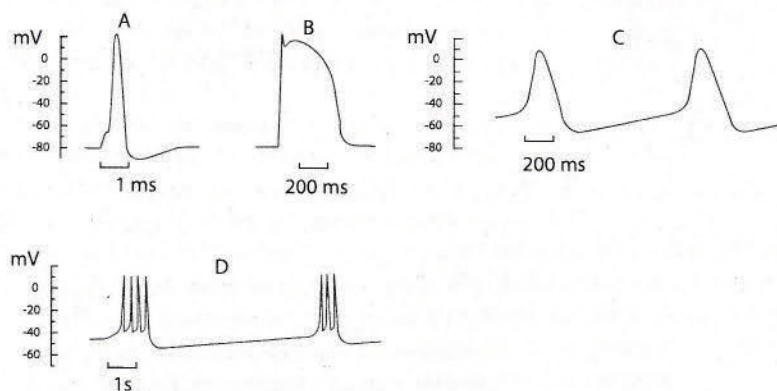


Obrázek 1: Schéma měřícího zařízení pro měření klidového membránového potenciálu. Převzato z [3].

Pomocí těchto elektrod můžeme měřit i koncentraci iontů uvnitř buňky. [2, 3, 7]

2.4.2 Akční membránový potenciál

Pod pojmem akční membránový potenciál rozumíme rychlou změnu hodnot potenciálů na buněčné membráně. Hlavními předpoklady pro vznik akčního potenciálu je dráždivost a schopnost buněk na ni odpovědět vzrušivostí. Akční potenciál vzniká v době, kdy dráždění překoná tzv. prahový potenciál, tím se změní záporná hodnota potenciálu na kladný potenciál, dojde ke změně propustnosti membrány pro ionty. Celý princip vzniku akčního potenciálu stojí na depolarizaci a repolarizaci buněčné membrány. Akční potenciál začíná vznikat v momentě vychýlení hodnoty potenciálu oproti klidovému stavu. Děj pokračuje otevřením iontových kanálů. Ionty Na^+ proudí do nitra buněk, zvyšuje se potenciál. Tento stav se označuje jako depolarizace membrány. V tomto okamžiku se membrána stává více propustnou pro K^+ , jež



Obrázek 2: Srovnání akčních potenciálů: A - nervové vlákno, B - srdeční sval, C - sinoatriální uzel, D - hladký sval. Převzato z [2].

naopak proudí z buňky ven. Hodnota potenciálu se snižuje; dochází k tzv. repolarizaci membrány. Dalším krokem je navrácení potenciálu do klidového stavu. Příčinou vzniku akčního potenciálu bývají většinou sodíkové ionty. Jednou z výjimek je myokard, kde akční potenciál spouští vápenaté ionty. Srovnání akčních potenciálů pro jednotlivé buňky ukazují grafy na obr. 2.

Všechny vzrušivé tkáně jsou schopné vytvořit akční potenciál a dokáží vytvářet kolem sebe i elektrické pole. [1, 2, 6, 7]

Kapitola 3

Struktura buněčných elementů

Předtím, než přejdu ke kapitole o elektrických účincích, představím nejprve dané buněčné struktury a vzrušivé tkáně. Vysvětlím jejich funkci a popíši vedení vzruchu ve svalové a nervové buňce.

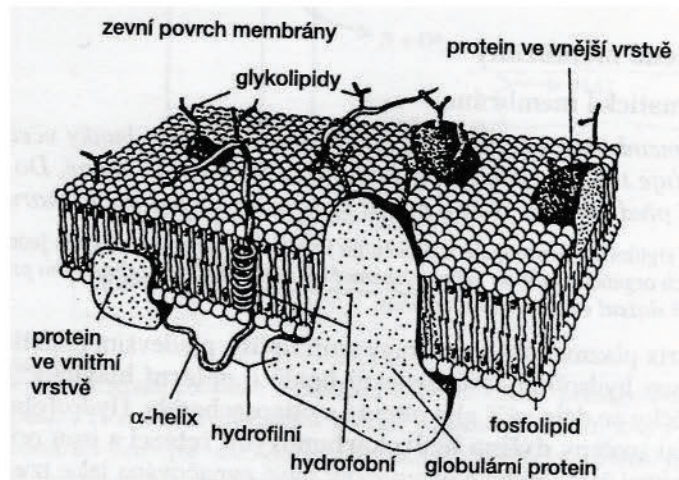
3.1 Buněčná membrána

Pro vysvětlení vzniku a velikosti membránového potenciálu je nejdůležitější složkou živé buňky buněčná membrána (cytoplazmatická membrána, plazmatická membrána).

Membrána tvoří povrch buňky a slouží k několika účelům. Udržuje tvar buňky, zajišťuje komunikaci mezi intracelulárním a extracelulárním prostředím, odděluje od sebe jednotlivé buněčné organely navzájem a ukrývá v sobě mnoho transportních mechanismů, které zajišťují regulaci a průchod jednotlivých iontů, a tím se podílí na tvorbě membránového potenciálu. Nejnovější informace uvádějí, že interakce membrán biomolekul hrají rozhodující roli při regulaci mnoha důležitých biologických procesů, jako je pohyb proteinů, buněčná signalizace a tvorba iontových kanálů. Na základě těchto studií byly vyvinuty optické biosenzory, které dokáží identifikovat a charakterizovat membránové interakce. Nyní dochází k růstu počtu studií o použití této techniky pro zkoumání membránových interakcí. Nejvíce se z biofyzikálního hlediska zkoumá struktura bílkovin. [12, 13]

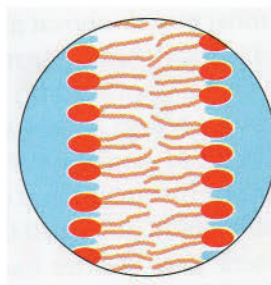
Stavebními složkami plazmatické membrány jsou především lipidy, které tvoří většinou největší podíl celé membrány. Dále zde můžeme najít proteiny a sacharidy. Stavební úspořádání je znázorněno na obr. 3.

Lipidy spolu s proteiny určují fluiditu (tím pádem i propustnost) membrány, díky níž se mohou jednotlivé ionty při průchodu membránou selektovat. Lipidy obsahují hydrofilní hlavičku (je schopna reagovat s vodným prostředím) a hydrofobní konec



Obrázek 3: Trojrozměrné schéma plazmatické membrány. Převzato z [14].

(skládá se z uhlíkových řetězců směřujících dovnitř buňky). Lipidové složky můžeme rozdělit na fosfolipidy, steroly, glykolipidy. Fosfolipidy jsou v membráně nejhojněji zastoupené ve formě dvojvrstvy a každý z nich se skládá ze dvou hydrofobních konců. Kvůli postavení dvojvrstvy se membrána neustále pohybuje a tím dochází k propuštění některých látek dovnitř buňky. Schéma dvojné vrstvy fosfolipidů spolu s hydrofilním a hydrofobním koncem je na obr. 4. Propustnost membrány závisí na složení uhlovodíkových řetězců ve fosfolipidech. Většinou je propustná pro menší molekuly a vodu. Fosfolipidy se pohybují různými mechanismy přes rotaci až po flip-flop systém, kdy dochází k přechodu fosfolipidů z jedné vrstvy do vrstvy druhé.



Obrázek 4: Pohled na dvojnou vrstvu fosfolipidů v příčném řezu. Převzato z [15].

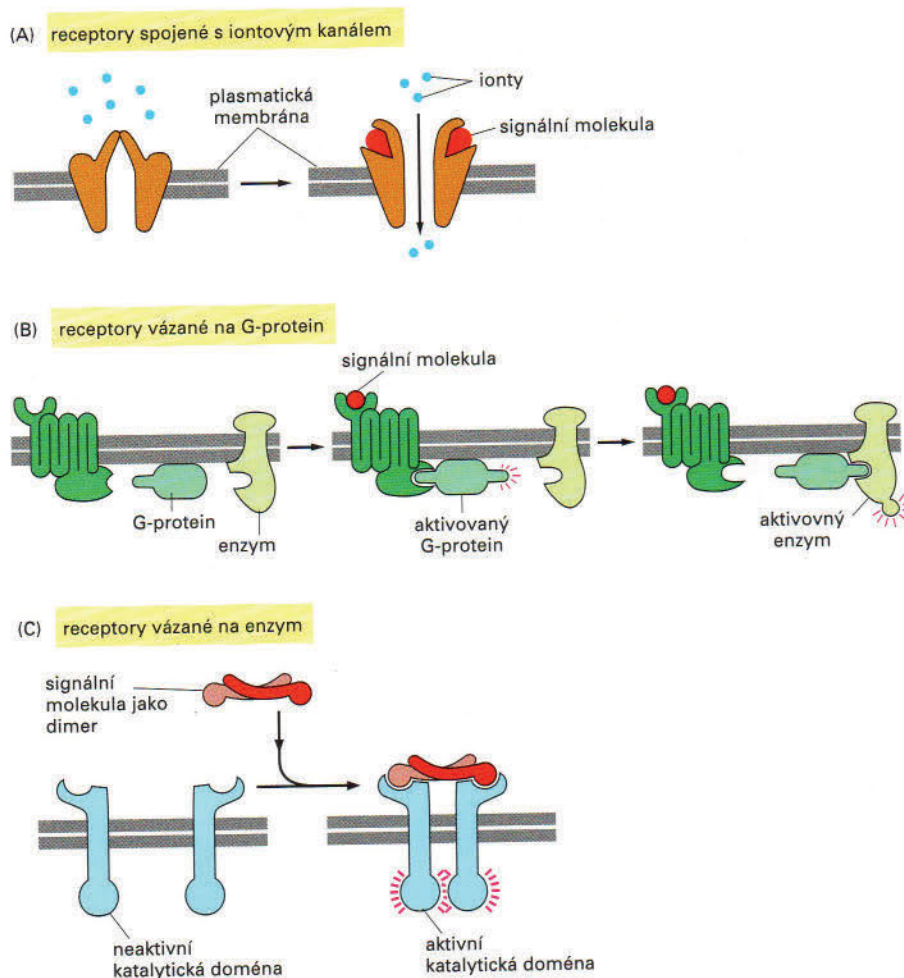
Proteiny se do membrány různě zanořují. Často se podílí na transportu látek přes membránu, vytváří vodní póry a iontové kanály.

Sacharidy fungují jako ochrana buňky před mechanickým poškozením, jsou zdrojem energie a hrají roli v buněčné signalizaci. [14, 15]

3.1.1 Komunikace mezi buňkami

Buňka reaguje na stovky podnětů ve svém okolí. Tuto reakci spouštějí receptory v cílových buňkách, jež jsou tvořeny specifickými proteiny. Ty jsou lokalizované na povrchu, v cytosolu (vnitřní oblast buňky) nebo v jádře buňky. Signální buňka se váže na receptor a může tak vyvolat různé odpovědi, tzn. že stejný signál na receptoru může vyvolat jiný efekt.

Receptory mohou přijímat signál chemické povahy. V tomto případě se jedná o chemoreceptory. Nebo bývá signál fyzikální povahy - ty pojmenováváme jako mechanoreceptory či fotoreceptory. Jeden z nejdůležitějších způsobů příjmu signálů představují membránové receptory, které přijímají objemné signální buňky hydrofilního charakteru. Receptor je umístěn na povrchu cytoplazmatické membrány, signální buňka tak neprochází danou membránou. Membránové receptory dělíme do 3 kategorií: receptory s G-proteinem, receptory s iontovými kanály a na receptory spojené s enzymy. Povrchové receptory jsou znázorněny na obr. 5.



Obrázek 5: Tři třídy povrchových buněčných receptorů. Převzato z [15].

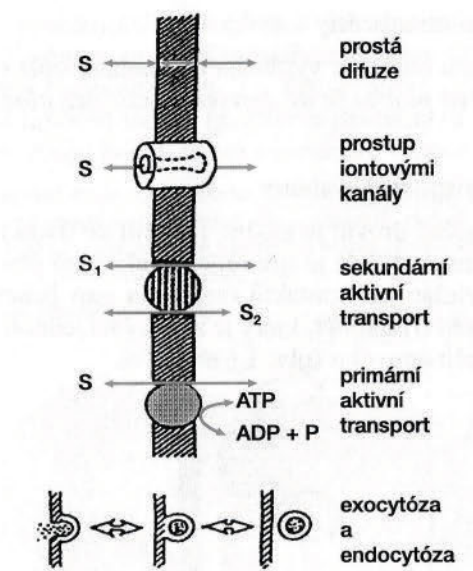
G-proteiny jsou membránové proteiny, jejichž aktivovaný stav je označován jako guanozitrifosfát (GTP). Po aktivaci se spouští kaskáda dalších reakcí. Skládá se ze tří podjednotek (alfa, beta a gama), jež se po navázání signální molekuly konformačně mění. Poté se aktivuje článek signální kaskády, hydrolyzuje GTP na GDP a následně je proces ukončen.

Receptory s iontovými kanály zprostředkovávají tok iontů skrze plazmatickou membránu. Příčinou je změna membránového potenciálu. Iontové kanály řadíme do pěti základních skupin: iontové kanály stále otevřené, řízené napětím, řízené chemicky, řízené napětím i chemicky a řízené mechanicky. Každá z těchto podskupin iontových kanálů řídí svoji propustnost dle principu uvedeného v jejich názvu.

Receptory spojené s enzymy jsou jako jedny z mála lokalizovány uvnitř buňky. Odpovědi receptorů jsou velice pomalé a mnohdy jsou doprovázeny změnami genové exprese.

Dalším mechanismem sloužící k přenášení molekul skrze buněčnou membránu je prostá difúze, při níž dochází k samovolnému propouštění látek rozpuštěných v tucích, malých neutrálních molekul a případně i vody. Dále se může uplatnit primární aktivní transport (je zapotřebí volné energie) a sekundární aktivní transport (transport spřažený jiným systémem).

Řada látek nemůže kvůli své struktuře projít přes lipidovou dvojvrstvu. Proto se uplatňují transportní vezikuly, které jsou využívány skrze endocytózu a exocytózu. Na obr. 6 je znázorněno 5 základních transportních mechanismů uplatňujících se v živém organismu. [14, 15]



Obrázek 6: Pět základních transportních mechanismů. Převzato z [14].

3.2 Svalová buňka

Svaly mají schopnost kontrakce a patří mezi vzrušivé tkáně. Principem fungování svalové tkáně je změna chemické energie na energii mechanickou. Svalové buňky můžeme rozlišit do 3 kategorií: kosterní svalovina, srdeční svalovina a hladká svalovina. [14]

3.2.1 Kosterní svalovina

Kosterní svalovina, často označovaná jako příčně pruhované svalstvo, obsahuje hlavní funkční jednotku sarkolemu, ve které je cytoplazma nazývaná sarkoplazmou. Sarkolema má viditelné pruhování označované jako Z-linie, jejímž obsahem bývají velmi tenká, aktinová filamenta. Ve středu sarkomery jsou naopak umístěna silná myozinová vlákna. Při kontrakci svalstva tak dochází k pohybu aktinových a myozinových vláken, které se překrývají a zkracují, tím způsobují stah svalstva. Celé kosterní svalstvo je řízeno nervovým systémem. Principem vzniku stahu svalstva připomíná chemickou synapsi v centrální nervové soustavě (CNS). Na sarkolemě vzniká akční potenciál díky uvolnění acetylcholinu; poté se spustí aktivace Na^+ kanálů a vzniká depolarizace. Svalová buňka pak reaguje vzruchem do nervového zakončení.

Elektrické projevy svalu můžeme sledovat pomocí přístroje elektromyografu, díky kterému diagnostikujeme aktivitu svalových buněk. [14]

3.2.2 Hladká svalovina

Hladké svalstvo obsahuje oproti svalstvu příčně pruhovanému menší buňky. Není ovládané vůlí a vyskytuje se především jako výstelka v cévách. Má mnoho společného s kosterním svalstvem, avšak na povrchu hladkého svalstva je velké množství receptorů a vchlípenin. Hladké svalstvo se rozlišuje na dva podtypy: jednotkový hladký sval funguje na principu spojení svalových buněk elektrickou vazbou s buněčnými membránami. Dochází zde k depolarizaci z jedné buňky na druhou. Na povrchu membrány vzniká akční potenciál, který způsobí vznik kontrakce. Vícejednotkový hladký sval je velmi podobný kosternímu svalstvu, buňky nejsou propojeny a vzruch se zde tedy obtížně šíří. Typicky se vyskytuje v místech, kde je potřeba velké citlivosti a jemného pohybu. [14]

3.2.3 Srdeční svalovina

Srdeční svalovinu nebo-li myokard nemůžeme ovládat vůli. Princip stahu je velmi podobný stahu kosterní svaloviny. Do práce svalu se zapojují hlavně vlákna aktinu a myozinu. V první fázi je sval v klidu, poté se podílí aktin na vypuzení energie ve formě ATP. Na aktinu jsou různá vazebná místa - pro myozin, troponin a tropomyosin. Troponin a tropomyosin zakryjí v klidové formě vazebné místo pro myosin. Pokud se začínají vázat vápenaté ionty na troponin, dojde k jeho prostorovému přeskupení a odkryje se následně vazebné místo pro myosin. Při spojení aktinu a myosinu se začne uvolňovat energie ve formě ATP, vznikne kontrakce svalu. Celý děj se ukončuje opět navázáním molekuly ATP, která ovlivní odsun myosinu z aktinu, odpojí se vápenaté ionty a je ukončená svalová kontrakce.

Látka troponin se v biochemické analýze použije jako marker pro indikaci prodělaného infarktu myokardu. [14]

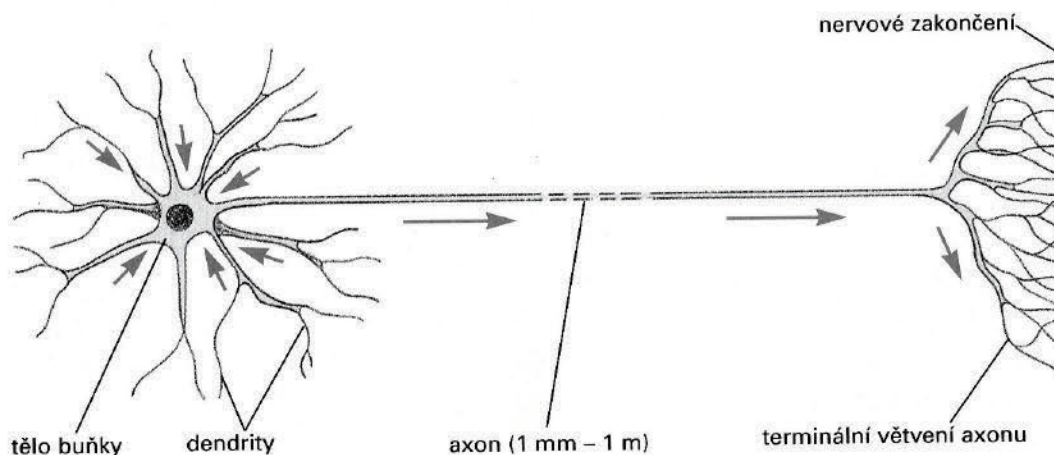
3.3 Nervová buňka

Nervová soustava patří mezi systémy, které dokáží v rychlosti přijmout, zpracovat a změnit informaci z receptorů a přenést ji na určité místo. Základní složkou nervové tkáně jsou neurony, které mezi sebou vytváří vzruchy, a ty dále zpracovávají.

Neuron se skládá z těla, z něhož vystupují různě dlouhé výběžky. Výběžky dělíme do dvou skupin: na dendrity a axony. Dendrity přijímají informaci, většinou jsou větvené a kratší délky. Axon nebo-li neurit je výběžek, který vede vzruch směrem od těla neuronu. Je většinou jeden. Povrch má pokrytý myelinovou pochvou, která slouží k urychlení přenosu vzruchu. Rychlost šíření vzruchu ovlivňují i tzv. Ranvierovy zářezy, jež umožní skákavý pohyb vzruchu a tím jeho rychlost stoupne. Popis neuronu je znázorněn na obr. 7.

Nedávné studie ukazují, že neuronální aktivita se podílí na regulaci chování progenitorových buněk oligodendrocytů (nervové buňky, které se podílí na tvorbě myelinu) během myelinizace. Dále se díky pokusech na myších zjistilo, že progenitorové buňky jsou elektricky aktivní a mohou být depolarizované, což naznačuje, že neuronální aktivita může mít modulační úlohu v jejich vývoji a hraje i velkou úlohu na remyelinizaci (znovuobnovení) potenciálu. [16]

Jedním z úspěchů neurovědy byl popis funkčních mechanismů neuronu pomocí matematického modelu. Vědci se snažili přijít na prostorové rozložení synapsí v lidském organismu. K tomu bylo nutné přijít na neuronové trojrozměrné (3D) struktury a zajistit novou univerzální morfometrickou metodu, která bude sloužit k identifikaci neuronů. Data pro 3D strukturu byla získána pomocí neuronových rekonstrukč-



Obrázek 7: Stavba nervu. Převzato z [15].

ních technik, které vznikly na základě více bodů ze vzorku z neuronální struktury. Bylo tak iniciováno několik programů, které by byly schopny objevit 3D strukturu neuronů, ovšem jejich morfometrické schopnosti nebyly univerzální. Až v roce 2013 byla vynalezena počítačová aplikace Py3DN, která poskytuje nové nástroje pro analýzu a vizualizaci 3D struktur. To umožňuje zjištění topologie neuronů, podrobnou vizualizaci a možnost definovat nestandardní morfometrické odchylky na nervových strukturách. [17]

Kromě neuronů máme v těle i gliové buňky (jinak neuroglie), které zajišťují především oporu a ochranu celé nervové soustavy, vyživují a fagocytují již poškozené neurony. Neuroglie dělíme do 4 kategorií v centrální nervové soustavě (CNS) a do 2 kategorií v periferní nervové soustavě (PNS).

V CNS se setkáváme s ependymovými buňkami, jejich významnou funkcí je podílení se na transportu signálů; s astrocyty, které se účastní na tvorbě hematoencefalické bariéry a na opoře CNS; s oligodendroglie, jež zajišťují metabolismus neuronů; a s mikroglie, které vykazují vysokou pohyblivost a schopnost poškozené neurony fagocytovat. V PNS rozlišujeme pouze Schwannovy buňky, které jsou důležité pro tvorbu myelinové pochvy. Čím je větší vrstva myelinové pochvy, tím je vedení vzruchu rychlejší. Další již menší skupinou glií v PNS jsou satelitní buňky, jež se účastní na metabolismu gangliových buněk. [14, 15]

3.3.1 Synapse a vzruch

Synapsí se označuje komunikace mezi dvěma buňkami, z nichž alespoň jedna musí být buňkou nervového systému. Díky synapsím tak většinou dochází k přenosu nervového signálu z axonu do dendritu nebo z axonu do těla neuronu.

Synapse dělíme na chemické a elektrické. Chemické synapse přenáší signál na zá-

kladě mediátoru, jež aktivuje neuroglie, které utváří myelin, fagocytují poškozené buňky aj. . Synapse mají presynaptický a postsynaptický útvar, mezi nimi je synaptická štěrbin. Presynaptická část se rozšiřuje v oblasti axonu, kde se vytvářejí váčky, které putují do blízkosti synaptické štěrbin. Tímto úkonem se zvyšuje propustnost synaptické membrány pro draslík, otevírají se vápenaté kanálky. Váčky splývají a uvolňuje se z nich mediátor. Ten se poté lokalizuje na postsynaptické membráně, aktivuje enzymy, jež opět regulují propustnost iontových kanálů. Podle typu vypuzeného mediátoru z váčku se ovlivňuje schopnost membrány propustit určité ionty (Na^+ , K^+ , Cl^-).

Elektrické synapse jsou charakteristické velkou rychlostí přenosu vzruchu a většinou probíhají na základě těsných spojů mezi neurony. Vzruch je generován v místě, kde převažují iontové kanály napěťově řízené a kde je membrána drážděna elektricky. Šíří se různou rychlostí a vzniká většinou na axonu v oblasti prvního Ranvierova zářezu. Vzruchy jsou vedeny na základě změny propustnosti membrány, ovšem při přesunu iontů vzniká elektrický proud, jenž umí aktivovat napěťově řízené iontové kanály. Membrána se tak depolarizuje a tím se dokáže vzruch dále šířit. [2, 6, 8]

Kapitola 4

Vedení elektrického proudu

Jak již bylo zmíněno, živá tkáň se v těle chová jako elektrolyt, který je vhodný vodič elektrického proudu. Jeden z hlavních nositelů proudu v živém organismu jsou ionty, které mají určitý náboj. Podle náboje i odporu živé tkáně dojde k pohybu těchto iontů vlivem elektrického pole. Je-li při průchodu proudu živým prostředím cytoplazma a mezibuněčné prostory, odpor je dán Ohmovým zákonem viz vztah 1.5.

Prochází-li proud buněčnými membránovými strukturami, vyskytuje se zde fyzikální veličina označená jako impedance Z , která představuje odpor kladený střídavému proudu. Impedanci vypočteme podle vzorce 4.1. Odpor u membrán nabývá hodnot 8krát vyšších než je tomu u cytoplazmy. Uplatňuje se zde i odpor kapacitní X_c :

$$Z = \sqrt{R^2 - X_c^2} \quad (4.1)$$

Odpor buněčných struktur tak určuje elektrické vlastnosti tkáně. Ovšem biofyzikální účinky elektrického proudu závisí i na druhu elektrického proudu. Pozitivní stránkou při průchodu proudu živým organismem je změna permeability membrán.

Vedení elektrického pole je založeno na principu polarizace molekul, které vznikly spojením makromolekul s pohyblivými ionty. Uvnitř buňky se objeví elektrické pole opačné polarity, než je pole vnější. Tím, že se polární molekuly pohybují v elektrickém poli, vzniká tzv. posuvný proud, který můžeme popsat pomocí permitivity ϵ , která udává „*míru schopnosti látky vytvářet posuvný proud.*“ [3]

Při vedení elektrického proudu je důležité sledovat i elektrickou hustotu. Pokud elektrická hustota nabude hodnot okolo $0,5 \text{ mA/cm}^3$ může se jednat o konečné poškození tkáně. [1, 2, 3, 5]

4.1 Dráždivost

Vedení elektrického proudu u vzrušivých tkání je spojeno s dráždivostí, jež uvádí schopnost tkáně reagovat na elektrický proud. Aby k podráždění tkáně došlo, musí proud dosáhnout tzv. prahové velikosti - reobáze. Ovšem nejen intenzita proudu, ale i čas jsou určující pro dráždivost tkáně. Doba, která je nutná k vyvolání podráždění při intenzitě proudu rovné dvojnásobné reobázi, se nazývá chronaxie. Díky ní můžeme určit, nakolik je excitabilní tkáň postižena dráždivostí. Stejnoseměrný elektrický proud není schopen vyvolat podráždění tkáně, dochází u něj pouze k pohybu iontů. Tento jev se používá nejvíce při elektromigračních jevech. [1, 3]

Kapitola 5

Účinky elektrického proudu na lidský organismus

Při průchodu proudu živým organismem je důležitá řada faktorů, které mohou ovlivňovat míru poškození lidských tkání a orgánů - typ proudu, impedance tkáně, intenzita proudu, psychický a fyzický stav postiženého, napětí a fáze srdečního cyklu v okamžiku zásahu proudem. Vše začíná vniknutím proudu do tkání, kde dochází k depolarizaci jejich membrán, vzniká tepelná energie, jež může způsobit popáleniny. Záleží na čase, po který elektrický proud tělem prochází. [7]

Mezi účinky elektrického proudu patří účinky elektrolytické, dráždivé a tepelné. Stejnoseměrný proud má na tkáně dráždivé účinky a způsobuje poškození tkání pouze při náhlé změně, při zapnutí nebo vypnutí. U střídavého proudu dochází hlavně k popáleninám, jelikož zde převládají především tepelné účinky. Některé další účinky elektrického proudu jsem popsala v dřívějších kapitolách. [4, 7]

5.1 Úrazy elektrickým proudem

Úrazy elektrickým proudem můžeme rozdělit do třech základních fází. První fáze nazývaná práh vnímání začíná při intenzitě proudu 5 mA. Proud v této intenzitě postižený pociťuje na místech vstupu elektrického proudu jemným mravenčením. Až při hodnotě 10 mA popisujeme druhou fázi - mez uvolnění, při které se člověk ještě dokáže vymanit z elektrického obvodu. Při překročení této meze ovšem poraněný nedokáže elektrický vodič, jehož se drží, pustit. Při dlouhodobém průchodu elektrického proudu tělem je pro postiženého tato fáze obzvláště nebezpečná. Je-li proud vyšší než 20 mA dochází již k fázi srdeční fibrilace, při které vznikají patologické změny tkáně a proud nad 35 mA způsobuje srdeční zástavu. Právě fibrilace komor je považována za nejčastější příčinu úmrtí po zásahu elektrickým proudem. [18, 19]

Průchod elektrického proudu živým organismem může zanechat na tkáních řadu dalších patologických jevů. Mezi ně patří hlavně popáleniny různého stupně, ale i fraktury. U popálenin je důležité, jaká je intenzita elektrického proudu, jaký je odpor dané tkáně a jak dlouho proud tělem prochází. Největší hodnotu elektrického odporu naměříme především na kůži a kostech. Zde je proto při poranění elektrickým proudem zvýšen výskyt koagulačních nekrotů u tkání, které obklopují kost - nejčastěji se jedná o kosterní svalovinu.

Jak již bylo uvedeno, o druhu a velikosti poškození rozhoduje odpor tkání, intenzita proudu a napětí. Odpor tkání je závislý i na navlhčení kůže a jejím prokrvení. U střídavého proudu je dobré vědět, že frekvence v oblasti kolem 50 Hz již může být pro člověka smrtelná. Tato hodnota je hodnotou frekvence právě síťových rozvodů v domácnosti. Napětí dokáže ohrozit na životě už při 50 V.

Jedním z dalších vlivů, které určuje poškození proudem je i místo vstupu proudu do těla a okruh, kterým v lidském těle daný elektrický proud prochází. Jak již bylo zmíněno, nejčastěji dochází k popáleninám a křečím v zasažené oblasti. Nejvíce riziková je oblast mezi oběma horními končetinami, nebo levou horní končetinou a jakoukoliv dolní končetinou, jelikož v tomto případě při průchodu proudu bývá zasaženo srdce. U postiženého pacienta tak dochází k ohrožení na životě i z důvodu zástavy dýchání. Pokud proud prochází pravou stranou těla dochází především k výrazným křečím kosterního svalstva a k částečným popáleninám. [7]

U zasažených osob nemusí docházet vždy k okamžitým viditelným poraněním. Po čase může dojít k sekundárním patologickým změnám, jako např. ucpání ledvinových tubulů - tím dochází ke špatné filtraci v ledvinách a vzniká anurie. Dále se do sekundárních změn řadí i krvácení, poškození cév a mozku. Všechny tyto změny jsou pro člověka velmi ohrožující. [20]

V neposlední řadě se do úrazů elektrickým proudem řadí i zásah bleskem, který mívá hodnotu proudu více než 100 000 A a napětí několik stovek milionů voltů. Často na kůži můžeme vidět do šeda zbarvené fleky, které charakterizují příčinu smrti. Zasažený člověk tak zemře na selhání srdce a dýchání.

Podle nejnovějších průzkumů bylo také zjištěno, že jedinci, kteří měli úraz způsobený elektrickým proudem, častěji trpí psychickými poruchami a negativní dopad se projevuje i na emoční stránce. U pacientů byla zjištěna snížena pozornost a projevila se u nich i amnézie. [21]

Dále je zde třeba zmínit, že pro práci s elektrickým zařízením platí přísné předpisy a normy, např. vyhláška č. 50/1978 Sb., z níž musí být pracovníci, pracující v oboru elektrotechniky, pravidelně proškoleni. Součástí tohoto školení jsou i části týkající se první pomoci při úrazu elektrickým proudem. [18, 7]

5.1.1 První pomoc při poranění elektrickým proudem

Při úrazu elektrickým proudem musíme mít na paměti několik zásad, které by nám mohly pomoci úrazu předejít. Mezi tyto zásady patří: snažit se být v myšlení „o krok napřed“ a uvažovat o možných důsledcích, nepřeceňovat své síly, mít mobilní telefon po ruce.

Ovšem pokud již dojde k poranění, je důležité umět poskytnout první pomoc. Obecné schéma pro poskytnutí první pomoci se skládá z několika kroků. Nejprve je důležité zachovat klid, uvědomit si, kde jsem, přivolat záchrannou službu a poskytnout první pomoc. Poté s daným poraněným počkat do příjezdu záchranné služby.

V případě, že se daný úraz stal z důvodu poranění elektrickým proudem, je důležité klást daleko větší důraz na vlastní bezpečnost.

Jak již bylo zmíněno, elektrický proud může mít v případě poškození tepelnou nebo dráždivou podobu. Při úrazu nízkou hodnotou napětí převažují dráždivé účinky. U vysokého proudu se již uplatňují pouze účinky tepelné. Úraz elektrickým proudem se v řadě případů spojuje s dalším, sekundárním poškozením vlivem pádu z větší výšky, křečí apod.

První pomoc při úrazu elektrickým proudem se skládá z technické a zdravotnické pomoci. U technické pomoci je dobré se držet několika zásadních pravidel: uvědomit si, že příčinou poranění je elektrický proud; ujistit se, že proud byl vypnut. Pokud nelze elektrický zdroj z časových nebo technických důvodů vypnout, přerušování elektrického obvodu musí být vykonáno nevodivým předmětem. Je-li nutné poraněného vyprostit, záchránce si musí být vědom, že se nesmí stát součástí elektrického obvodu (proto se nesmí přímo dotýkat těla postiženého, vlhkých částí oděvů nebo kovových předmětů v jeho blízkosti). Záchránce si musí chránit ruce vhodnou izolací (suchý ručník, rukavice) a doporučuje se poraněného odtáhnout pouze jednou rukou. Při poranění vysokým napětím může dojít ke vzniku krokového napětí, proto se záchránce musí přibližovat ke zraněnému malými kroky. U zdravotní pomoci zachováváme obecné schéma první pomoci. Při poskytnutí první pomoci se nejprve u poraněného zajistí základní životní funkce (dýchání a funkce srdce). V případě, že poraněný nedýchá musí dojít k resuscitaci. Pokud je pacient popálený od elektrického proudu, lze tato místa ochladit a zakrýt. Chlazení ovšem nesmí být ledem, nýbrž čistou studenou vodou z důvodu podchlazení celého organismu. Ke krytí ran můžeme použít pouze sterilní obvazy. Další úkony při poskytnutí první pomoci jsou zastavení krvácení, ošetření zlomenin a protišoková opatření. Je-li pacient při vědomí, ale chová se nestandardně, vždy je mu nutné přivolat lékařskou pomoc a nechat postiženého vyšetřit. [7]

Kapitola 6

Využití elektrického proudu v medicíně a laboratořích

V následujících kapitolách je popsáno několik metod, které mají úzkou spojitost s elektrickým proudem.

Elektrický proud má v medicíně, především v diagnostice, značné využití. Jedno z nejčastějších vyšetření se provádí na základě měření akčních a klidových membránových potenciálů u excitabilních tkání. Dále se sem řadí i metody léčebné, které jsou založeny na principu průchodu elektrického proudu v organismu.

Nejvíce se v diagnostice používají tzv. biosignály, které vznikají z aktivní činnosti celého organismu. Tyto biosignály mohou vznikat na základě činnosti srdce nebo i nervové soustavy. Díky nim pak můžeme měřit různé poruchy těchto orgánů, popřípadě zjistit diagnózu onemocnění. [5, 7]

6.1 Využití akčních potenciálů v diagnostice

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, akční potenciál je jeden ze základních mechanismů pro zjištění správné funkce excitabilních tkání v těle. Ke snímání těchto akčních potenciálů se využívají různé typy elektrod. Ty vytváří záznam akčních potenciálů do elektrogramu.

Nejvíce rozšířená diagnostika fungující na využití akčních potenciálů je elektrokardiografie (EKG). Řadí se sem i elektrokortikografie, která ukazuje záznam činnosti mozkových potenciálů. Dále sem patří elektroretinografie, elektroencefalografie (slouží ke zjištění správné funkce jednotlivých oddílů v mozku), elektromyografie i elektrogastrografie. [7]

Nejnovější studie se zabývají vyvíjením nové elektrodiagnostické metody pro amyotrofickou laterální sklerózu (ALS). ALS patří mezi progresivní onemocnění,

kteře se řadí do poruch motorických neuronů a vyskytuje se u dospělé populace nejčastěji. Poškození neuronů se projevuje úbytkem svalové hmoty, který se postupně rozšiřuje po celém těle. Poté pacient není schopen ovládat své tělo. Proto se do vyšetření zahrnují elektrodiagnostické metody, které nejprve zhodnotí všechna postižená místa. Nejvíce se používá již zmíněná elektromyografie, která funguje na principu vpichových mikroelektrod, jenž vytvářejí záznam elektrické aktivity svalu. [7, 22]

6.1.1 Elektrokardiografie

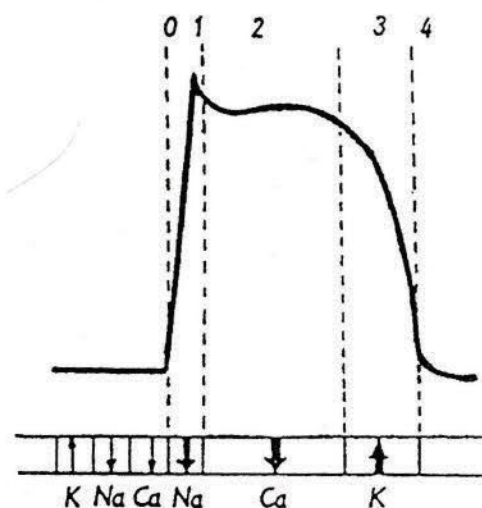
Elektrokardiografie (EKG) se řadí mezi diagnostické metody sledující srdeční aktivitu. Je neinvazivní a nenákladná. Základní pojmy související s EKG jsou elektrokardiograf, který zaznamenává změny elektrického napětí na povrchu těla a elektrokardiogram, což je záznam těchto projevů (elektrokardiografická křivka). [7, 23]

Klinickým významem EKG je především vyšetření převodního systému srdečního. Buňky převodního systému mají na cytoplazmatické membráně určitý elektrický potenciál, který je dán rozdílem iontů uvnitř a vně buňky. Tyto ionty se různě pohybují, čímž dochází ke změnám elektrického potenciálu. Buňky převodního systému se vyznačují schopností depolarizace, kdy dochází k toku Na^+ přes membránu a mění tak napětí, které při dosažení určité hodnoty vyvolává řadu dějů - např. se otevírají kanály pro Ca^{2+} . To způsobí rychlý tok sodíkových iontů a změnu napětí na membráně do kladných hodnot. Dochází k depolarizaci, a tím se podníčí vznik akčního potenciálu. Otevření Na^+ kanálů podněcuje i otevření K^+ iontových kanálů. Tím dochází k návratu membránového potenciálu do původních záporných hodnot (repolarizaci). Buňky převodního systému jsou tak specifické pro tvorbu vzruchu, který se díky své rychlosti ve formě akčního potenciálu se šíří skřze celé srdce. Převodní systém pracuje autonomně, ovšem je pod vlivem centra v prodloužené míše. Do převodního systému srdečního řadíme sinoatriální uzel, který vytváří vzruchy v srdci, jenž vedou k atrioventrikulárnímu uzlu. Ten zajišťuje převod vzruchu ze síní do komor. Velký ochranný význam má Hissův svazek - slouží k rozvodu vzruchu do Tawarových ramének, přes Purkyňova vlákna, které převádí vzruch do myokardu. [14, 24]

Aktivitu srdeční tkáně charakterizuje akční a klidový membránový potenciál. Akční potenciál zaujímá v diagnostice velkou oblast, jelikož při tomto ději dochází k přesunu iontů přes membránu. Z pohybu iontů v buňce dokážeme díky záznamu akčního potenciálu zjistit, v jakých fázích se nachází srdeční membrána myokardu.

Na obr. 8 vidíme záznam akčního potenciálu myokardu, u kterého rozlišujeme 5 fází. U fáze 0 dochází k rychlé depolarizaci buněk myokardu, k otevření Na^+ kanálů, poté následuje fáze 1, ve které dojde po průtoku Na^+ membránou k uzavření

iontových kanálů. Fáze 1 je často označována i jako tzv. fáze plató, při které dochází k rychlé repolarizaci a k otevření vápenatých kanálů. Při fázi 1 a 2 je myokard chráněn před kroužením vzruchu. Fáze 3 popisuje uzavření Ca^{2+} kanálů a stimuluje únik K^+ z buňky. Na konci této fáze dochází k snížení hodnoty potenciálu ke klidovým hodnotám. Při fázi 4 dojde ke kontrakci jednotlivých srdečních částí. [3, 24]



Obrázek 8: Záznam akčního potenciálu myokardu. Převzato z [24].

Využití záznamu depolarizace slouží ke zjištění morfologických změn srdce (uložení srdce v prostoru, úbytek svaloviny, poškození převodního systému srdečního), naopak repolarizace slouží ke zjištění metabolismu srdce, stavu koronárních cév a složení krve.

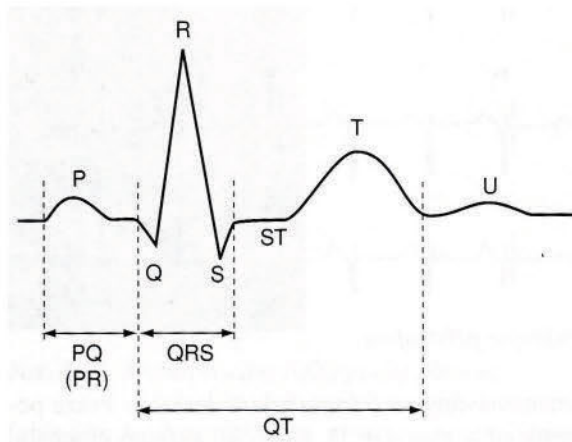
Tím, že tkáň myokardu prochází během srdečního cyklu elektrickými změnami (polarizací, depolarizací, transpolarizací, repolarizací) dochází k zaznamenávání srdeční činnosti díky elektrodám uložených na povrchu těla, jícnu nebo uvnitř srdce. U měření z jícnu a uvnitř srdce se používají speciální katetry. Povrchové elektrody mohou být trojího typu - bipolární končetinové svody podle Eithovena (svod I, II, III), unipolární končetinové svody podle Goldbergera (aVR, aVL, aVF) a unipolární hrudní svody podle Wilsona (V1-V6). Elektrody podle Eithovena se přikládají na obě zápěstí a na kotník levé nohy. Vytvoříme tedy z elektrod (označených I, II, III) trojúhelník. Elektrody mají danou polaritu a pokud se tedy akční potenciál šíří směrem ke kladné elektrodě, EKG přístroj zakreslí kladnou křivku. U Goldbergových svodů se snímá potenciál z jedné elektrody proti zbývajícím dvěma elektrodám. U unipolárních svodů podle Wilsona je aktivní elektroda aplikovaná na jedno ze šesti míst na hrudníku a referenční elektroda vzniká spojením třech končetin (obě zápěstí a dolní levá končetina). Nesmíme zapomenout, že u měření srdeční činnosti musí být pacient v naprostém klidu, aby nedošlo ke zkreslenému výsledku. [2, 3, 7]

Další možné metody měření srdeční aktivity mohou být zátěžové testy na bicykloergometru nebo běžícím pásu nebo se zde řadí i vícedenní měření srdeční činnosti pomocí přístroje Holter. Přístroj Holter slouží k monitorování EKG během dne a může zjistit závažnost ischemických poruch u pacienta a zároveň může lékař přijít na onemocnění, které při jednorázovém vyšetření nemusí být zřetelné. Měření pomocí Holtera probíhá nalepením elektrod na povrch těla pacienta. Tyto elektrody jsou spojeny s registračním přístrojem, který pacient nosí po celou dobu měření.

Elektrokardiogram, jenž se běžně značí na milimetrový papír pomocí elektrokardiografu (u Holteru je záznam vydáván elektronicky), může fungovat na principu vysokotlakého vstříkávání inkoustu do trysek, které se pohybují na milimetrovém papíře. Jedním z dalších principů fungování elektrokardiografu jsou elektricky žhavané jehly, které vytváří pohyb na povoskovaném papíře. Vrstva vosku se rozzhává a vynikne tmavá barva podkladového papíru.

Z každé části grafického záznamu EKG můžeme popsat určité intervaly a body, podle kterých zjistíme patologické stavy srdce. Na obr. 9 je příklad normálního EKG záznamu, kde označujeme vlnu P, která charakterizuje depolarizaci síní. Tříbodový komplex QRS, představuje oblast, kdy dochází k depolarizaci komor a zároveň se repolarizují síně; úsek ST označuje repolarizaci komor a vlna T naopak znázorňuje ukončení repolarizace komor. Někdy se v záznamu může objevit ještě vlna U, jejíž vliv na diagnostiku není zcela jasný. Díky tomuto záznamu můžeme přijít na různé druhy onemocnění srdce. Abnormalita vlny P nám může ukázat například zvětšení pravé síně, zvětšení levé síně (při mitrální stenóze), atriální fibrilaci. Prodloužený interval P-Q upozorňuje na ischemickou chorobu srdeční, myokarditidu aj. Pokud je interval P-Q naopak zkrácený, jedná se například o tachykardii, o poruchy vedení v síních apod. Časový interval se kontroluje i u intervalu Q-T, kdy prodloužení může ukazovat stav po akutním infarktu myokardu nebo na vrozenou vadu srdce, hypokalcémii. Při zkrácení intervalu Q-T se objevuje hyperkalcémie a jiná onemocnění. [3, 7, 14]

Od roku 1936 se začala popisovat tzv. včasná repolarizace na EKG, která byla dříve považována za benigní nález EKG. Původní definice včasné repolarizace souvisela s úsekem ST (nyní je typický výskyt na konci komplexu QRS) a byla určena pouze pro 1 - 2 % populace. V nedávných studiích se ale zjistilo, že včasná repolarizace má velký dopad i na celkovou populaci, především sportovce, jelikož někteří z nich si dříve dokonce mysleli, že tento jev je známka dobrého zdravotního stavu, ovšem až do roku 2016 tato teorie nebyla podložena. Nyní se včasné repolarizace nejvíce dle studií objevují u atletů, u nichž začíná tvrdý namáhavý trénink a v důsledku toho se častěji vyskytují srdeční arytmie. Dle fyziologických poznatků ale badatelé přišli na jasnou souvislost mezi vrcholovými sportovci a včasnou repolarizací. Srdce se při



Obrázek 9: Fyziologický záznam EKG. Převzato z [7].

náročném tréninku adaptuje na větší zátěž a proto dochází ke změnám na EKG. [25]

Původ záznamu EKG se principiálně řídí 4 základními pravidly: 1) srdeční elektrické pole vzniká součtem všech elektrických polí vzniklých v srdečních tkáních v průběhu akčního potenciálu, 2) každé podrážděné srdeční vlákno určuje velikost a směr elementárního elektrického pole, 3) součtem množství těchto elementárních elektrických polí vzniká výsledné elektrické pole, které se nazývá srdečním elektrickým polem, 4) maximální hodnota výchylky, jež je naměřena elektrodami, je závislá na velikosti a orientaci vektoru k tomuto svodu. [2]

Nové studie poukazují mimo jiné na souvislost mezi léčbou rakoviny a kardiovaskulárními onemocněními. Výskyt rakoviny se v posledních letech s věkem zvyšuje. Úplná léčba rakoviny stále není vyvinutá, ovšem často používanou léčbou je chemoterapie a radioterapie, která má významné krátkodobé i dlouhodobé účinky na kardiovaskulární funkce. Tyto kardiotoxické účinky mohou být akutní (které se vyskytnou na elektrokardiogramu) a chronické. Akutní účinky se mohou projevit arytmií, ischemií a perikarditidou. Protinádorová léčba může také mít nepřímé účinky, jako jsou změny krevního tlaku nebo může způsobit metabolické abnormality, které následně zvyšují riziko srdečních příhod. [26]

Elektrokardiogram může mít velký význam i pro zjištění odezvy pacienta na srdeční terapii. Předpokládá se, že srdeční selhání postihuje více než 23 milionů lidí ročně po celém světě a s přibývajícím věkem stoupá. Jedním z ukazatelů srdečního selhání levé komory je široký komplex QRS, jehož přítomnost je spojená s vysokou úmrtností. Jednou ze standartních terapií se stala implantační přístrojová terapie. Účinnost terapie se zjišťuje zobrazovacími metodami. Některými z nich jsou echokardiografie a magnetická rezonance, jejichž výsledek není zcela přesný. Největší význam má EKG, podle kterého se identifikuje délka komplexu QRS a určí se tak vhodná implantační přístrojová terapie. [27]

6.2 Metody založené na elektrické dráždivosti

Elektrická dráždivost je jedna z nejčastěji využívaných vlastností u excitabilních tkání v elektrodiagnostice. Pro zaznamenání elektrické aktivity u tkání se používají hroty, které jsou velmi malé. Tím, že dojde k proniknutí hrotu do tkáně, můžeme změřit aktivitu dané tkáně (neuronu či svalu). Pomocí iontově selektivních elektrod lze zaznamenat i aktivitu kanálů na membráně. [14]

6.2.1 Elektrodiagnostika v neurologii a při rehabilitaci

Poruchy periferního nervového systému představují celosvětově 1,5 milionu nemocných každý rok. Diagnostické testování těchto stavů u ambulantních neurologů je velice nákladné. Nejvíce se používá elektrodiagnostické testování, které spočívá nejčastěji ve vyšetření neuropatie (neboli porušení periferních nervů) nebo neschopnosti pohybu kvůli nervové paréze (nejčastěji využíváno v rehabilitaci). [7, 28]

Princip elektrodiagnostiky v neurologii je založen na přerušované dodávce galvanického proudu do místa poškození, jenž zapříčiní podráždění daného nervu. Vědci se snaží přijít na nové metody pro určení nervové poruchy. Objevují se nové pojmy - akomodační koeficient, I/t křivka aj.

„Akomodační koeficient vyjadřuje kvantitativní změny dráždivosti“. [7] Jde o hodnotu, která poukazuje na velikost proudu, který vyvolá stimulaci nervu. Křivka I/t se používá pro vyhodnocení elektrické dráždivosti. I vyjadřuje intenzitu dráždění daného místa a t je minimální čas, aby sval nebo nerv byl stimulován. [7]

Dalším využitím elektrodiagnostiky v neurologii je stimulace frénického nervu, který se nachází v oblasti krčních obratlů. Toto dráždění se používá pro léčbu spánkové apnoe. [29]

6.2.2 Elektrostimulace

Význam elektrostimulace pramení z vyvolání kontrakce na anatomicky definovaném místě. Celý princip metody je podobný principu u elektrodiagnostiky v neurologii. Nejvíce známá a používána v diagnostice je elektrostimulace svalů a kardiostimulace.

K elektrostimulaci svalů se používá malá katoda a anoda, kdy anoda je uložena na stimulovaném svalu. Doporučené frekvence elektrostimulace u svalu jsou 1-3 minuty několikrát během dne.

Hlavní význam kardiostimulace je úprava srdečního rytmu. Kardiostimulátory se většinou implantují do podklíčkové oblasti, odkud vedou elektrody přímo do srdce. Existuje několik typů kardiostimulátorů a pro každého pacienta je vybrán nej-

vhodnější typ. U srdce se v případě záchrany lidského života používá defibrilace (jinak řečeno depolarizace) srdce, kdy se snažíme vyvolat depolarizaci všech srdečních tkání a tím iniciovat srdeční stah.

Další elektrostimulace se mohou uplatňovat na střeva či močový měchýř, u kterého mají význam především při ochrnutí. U močového měchýře se stimulují stahy hladkého svalstva. Další strukturou, kde lze použít elektrostimulaci jsou periferní nervy. V tomto případě slouží jako pomoc při ohybu končetin v důsledku ochrnutí. Bylo též prokázáno, že elektrická stimulace zvyšuje rychlost a orientuje směr růstu neuritů a je slibnou terapií. Jedna z nejnovějších využití elektrostimulace slouží k zajištění sluchu pro sluchově postižené. [2, 3, 7, 30]

Elektrostimulace může mít velký vliv při snížení příznaků u pacientů s Parkinsonovou nemocí, u kterých se může vyskytnout orofaryngeální dysfagie, kdy dochází k poruše polykání. U tohoto onemocnění se začala používat elektrická stimulace skrz kůži, která zlepšila schopnost polykání. [31]

6.3 Elektrochirurgie

Elektrochirurgie patří mezi nové technologie v chirurgii, kdy se používá místo skalpelu k řezání a koagulaci tkání elektrický proud. Pacient, který je připraven na chirurgický zákrok, leží na neutrální elektrodě a je v kontaktu s touto elektrodou pomocí roušky nasáklé fyziologickým roztokem. Aktivní elektroda slouží k vytvoření řezu. Její výhodou je nastavitelnosti parametrů pro řez. [2]

Elektrochirurgie je široce využívána v moderní chirurgii. Postupné pokroky této metody zvýšily bezpečnost tohoto zařízení, ovšem stále jsou hlášeny náhodné popáleniny. V nedávné studii se vědci zabývali možnou nevýhodou elektrochirurgie. Popáleniny jsou způsobeny lokálním zhutněním proudu, ale skutečná dráha proudu uvnitř těla pacienta není známa. Lidské tělo je pro elektrické proudy nehomogenní médium a jeho dielektrické vlastnosti závisí na typu tkáně. Proto proud neprochází skrze tělo pacienta rovnoměrně, ale má tendenci protékat tkáněmi s nízkou impedancí. Pokud v těle pacienta jsou jiné vodivé prvky (např. protézy), může dojít k riziku neúmyslného poškození tkání - včetně popálenin - a je proto potřeba zabránit možným příčinám. [32]

6.4 Využití střídavého proudu v diagnostice

Střídavý proud se nejvíce využívá v zubním lékařství. Nízkofrekvenční střídavý proud se ve stomatologii používá při zjištění vitality zubů, kdy speciální kovová

elektroda dráždí nervová zakončení nervu v zubní dřeni. Další možností využití střídavého proudu je v oblasti chirurgie, kdy pacient má v těle cizí kovový předmět a lékař potřebuje zjistit jeho místo, aby jej mohl z těla odstranit. [7]

Další studie ukazuje na možné využití střídavého proudu u mozkové stimulace, která by měla sloužit ke zlepšení fyziologické aktivity mozku. [33]

6.5 Léčebné využití elektrického proudu

Přístroje pro terapii elektrickým proudem se většinou vyskytují na místech ambulantních či rehabilitačních center. Elektrodiagnostika má široké spektrum využití pro různé typy diagnóz.

Elektroléčba se dělí na léčbu kontaktní (léčba pomocí galvanického proudu) a nekontaktní (magnetoterapie). Do tohoto rozdělení se ovšem neřadí všechny možné metody sloužící především k léčebným účelům. Obecně lze přístroje popsat jako variabilní pomůcky pro léčbu, u nichž lze měnit různé programy pro požadovaný cíl léčby. [2, 3, 7]

6.5.1 Galvanický proud

Galvanoterapie je založena na střídavém proudem. Principem je změna polarizace tkání, čímž se změní i odpor tkáně a v závislosti na procházejícím proudem se mění i svalová a nervová dráždivost. Tím, že dochází ke změnám dráždivosti, se galvanoterapie používá k tlumení bolesti, prokrvení i k léčení zánětu. Podstatnou součástí využívání galvanického proudu k léčbě jsou i ochranné roztoky (slabé roztoky NaOH), které chrání kůži před poraněním procházejícím proudem.

V klinické praxi se nejčastěji používá klidová galvanizace, elektroléčebná vana nebo může galvanoterapie sloužit k vpravování léku do těla. Klidová galvanizace spočívá v ponoření končetin do 4 van naplněných vodou; u elektroléčebné vany dochází k ponoření celého těla do koupele, na jehož povrch aplikujeme galvanický proud; vpravování léků se provádí na základě ionoforézy. [2, 3, 7]

6.5.2 Magnetoterapie

Nekontaktní léčba je založena na využívání elektromagnetického pole a vysokofrekvenční terapie. V rámci diagnostiky se jedná o mladé odvětví z důvodu rozdílných názorů na její užitek v léčbě. Zjistilo se, že je závislá na funkčním stavu celého organismu a na vrozených či získaných pacientových dispozicích.

Magnetické pole působí dvojnásobně: z mechanického a elektrického pohledu. U magnetoelektrických jevů je „magnetická indukce funkcí magnetické permeability při konstantní intenzitě magnetického pole“. [3] V organismu pak můžeme tento jev pocítovat na změnách biochemických pochodů v buňce. U magnetomechanických jevů dochází ke vzniku magnetických polí s vysokou intenzitou. Důsledek tohoto jevu je nepřímé působení magnetických polí, které vychytávají volné radikály.

Magnetické pole hraje velkou úlohu při zrychlování metabolických pochodů. Těmito pochody se uvolňují volné radikály, jež spouštějí tkáňové mechanismy, které vedou k: snížení bolesti, protizánětlivé reakci, uvolnění svalových křečí, protiedémovému působení aj. U starší populace se magnetické pole využívá při osteoartritické bolesti kolene. [2, 3, 7, 34]

V souvislosti s účinky magnetického pole byla vedena studie, která se zabývala závislostí působení magnetického pole a sekrecí kortisolu. Kortisol je hormon, který je vylučován kůrou nadledvin. Kortisol hraje velkou roli při udržování homeostázy a podílí se i na protialergickém účinku, zvyšuje retenci sodíku a vody, má velký vliv na srdeční pochody i svalstvo. Koncentrace kortisolu se zvyšuje s rostoucím stresem. Vědci se proto snažili poukázat na souhrn vlivu magnetického pole a vylučování kortisolu. Pacienti byli rozděleni do několika skupin a v určitých intervalech jim byla aplikována magnetická pole. Stupeň intenzity magnetického pole se postupně zvyšoval. Po měsíčním testování magnetoterapie bylo zjištěno výrazné snížení koncentrace kortisolu u testovaných jedinců. [35]

6.6 Laboratorní instrumentace

Do laboratorní diagnostiky neodmyslitelně patří instrumentální a analytické metody, díky kterým můžeme zjistit přítomnost a koncentraci látek (analytů), jež mohou sloužit k diagnostice daného onemocnění. V laboratořích se nejvíce setkáváme s instrumentálními metodami, které můžeme rozdělit do několika skupin: optické, elektroanalytické, radiometrické a separační.

Každá z těchto oblastí instrumentálních metod je založena na jiném principu fungování. Vzhledem k tématu této bakalářské práce budu detailněji popisovat pouze elektroanalytické metody, které úzce souvisí s elektrickým proudem a jsou ve zdravotnických laboratořích nejhojněji zastoupeny. [36]

6.6.1 Elektroanalytické metody

Elektroanalytické metody jsou založeny na společném principu měření elektrických veličin pomocí elektrochemického článku, který se skládá ze dvou elektrod. Do elektroanalytických metod se na základě oxidoredukčních reakcí řadí: potenciometrie, polarografie. Samostatnou skupinu tvoří i konduktometrie, u které se měří vodivost stanovovaného analytu.

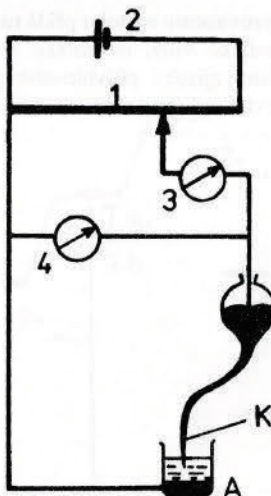
Potenciometrie slouží ke zjištění množství stanovované látky ve vzorku. Do stanovovaného roztoku je vložena měrná a srovnávací elektroda. Na základě měření potenciálového rozdílu mezi těmito elektrodami zjistíme koncentraci daných iontů v roztoku. O tom, jaké ionty hledáme, rozhoduje výběr elektrod. Do měrných (indikačních) elektrod řadíme skleněné (reaguje na přítomnost vodíkových iontů), stříbrné (reaguje na přítomnost stříbrných iontů v roztoku) a platinové (používá se při všech oxidoredukčních reakcích), naopak srovnávací elektroda je ve většině případů kalomelová nebo argentchloridová. V daném roztoku musí být téměř bezproudové prostředí, aby nedocházelo k polarizaci elektrod a měření nebylo zatíženo velkou chybou. Pro vyhodnocení potenciometrie se nejčastěji používá metoda kalibrační křivky, která za stejných podmínek měří různé odezvy detektoru na odlišné koncentrace vzorku. K potenciometrii se řadí i potenciometrická titrace, díky které hledáme bod ekvivalence. Bod ekvivalence stanovuje hodnotu, při kterém dojde k zreagování veškeré látky v měřeném vzorku s látkou obsaženou v odměrném roztoku.

Jednou z dalších elektrochemických metod je polarografie, která je typická svojí elektrolýzou. Při měření se používá pár elektrod - polarizovaná rtuťová kapková elektroda a nepolarizovaná (porovnávací) elektroda. Princip měření je znázorněn na obr. 10. Z měření získáme polarografickou křivku, která ukazuje závislost intenzity elektrického proudu I mezi dvěma elektrodami na napětí E . Koncentrace hledané látky se určí z nárůstu elektrického proudu. [36]

Konduktometrie je založena na principu měření vodivosti roztoků elektrolytů v rozpouštědle, kde dochází k disociaci elektrolytu na ionty. Opět se tato metoda používá ke zjištění koncentrace a přítomnosti daných iontů ve stanovovaném vzorku. Vodivost χ elektrolytu závisí na migraci iontů a na jejich počtu a náboji. Je dána vztahem 6.1, kde R je elektrický odpor a S je obsah průřezu vodiče:

$$\chi = \frac{1}{R} \frac{1}{S} \quad (6.1)$$

Vodivost se měří konduktometrem, který je vybavený dvěma platinovými elektrodami. V praxi lze využívat i konduktometrické titrace pro měření bodu ekvivalence. [36]



Obrázek 10: Schéma polarografického zapojení. 1-potenciometr, 2-akumulátor, 3-ampérmetr, 4-voltmetr, A-anoda, K-rtuťová kapková elektroda (katoda). Převzato z [36].

6.7 Elektroforéza

Elektroforéza patří mezi separační elektromigrační metody. Funguje na principu rozdílné rychlosti pohybu elektricky nabitých částic v elektrickém poli. Stejnoseměrný elektrický proud je vložen mezi dvě elektrody (katodu a anodu) za konstantního napětí a elektricky nabitě částice putují k opačně nabitě elektrodě. Pohyb těchto částic závisí na tzv. elektroforetické pohyblivosti μ , která vyjadřuje podíl rychlosti pohybu analytu v na intenzitě elektrického pole E a je dána vztahem 6.2:

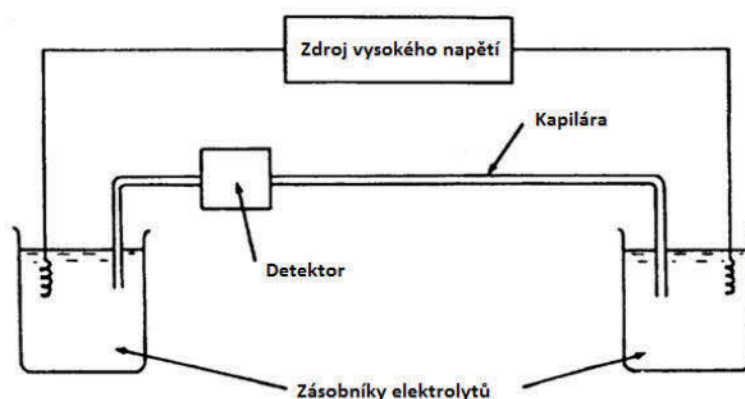
$$\mu = \frac{v}{E} \quad (6.2)$$

Do základních kategorií elektroforézy řadíme kapilární elektroforézu, gelovou elektroforézu, izotachoforézu, micelární elektrokinetickou chromatografii, izoelektrickou fokusaci aj. Z klinického hlediska má elektroforéza nejčastější využití při vyšetření genetických onemocnění, při kvantifikaci bílkovin v moči i v krvi a při analýze potravin i léčiv. [37]

6.7.1 Kapilární a gelová elektroforéza

Zařízení pro kapilární elektroforézu se skládá z kapiláry, která je naplněna elektrolytem a je ponořena do dvou zásobníků elektrolytů, jež obsahují konce zdroje vysokého napětí, díky kterému dochází k průniku elektrického proudu do kapiláry a následné separaci iontů. Celé schéma měření je znázorněno na obr. 11. Tento druh elektroforézy navíc zahrnuje elektroosmotický tok, což je hybná síla, která dokáže

separovat zároveň kationty a anionty, přičemž se nejdříve separují kationty, poté neutrální látky a na závěr anionty.



Obrázek 11: Schéma zařízení pro kapilární elektroforézu. Převzato z [37].

Gelová elektroforéza je založena na stejném principu migrace iontů, ovšem prostředí, ve kterém dochází k separaci, jsou většinou polyakrylamidové a agarózové gely. Gely tvoří síť s různě velikými póry, které odpovídají velikosti proteinů nebo nukleových kyselin. [37]

6.7.2 Izoelektrická fokusace

Izoelektrická fokusace probíhá v kapiláře, kde se ionty oddělují na základě hodnot pH. V místě, kde je daná hodnota pH stejná jako izoelektrický bod (= náboj analytu je nulový) zkoumané látky, přestane analyt vykonávat pohyb. Poté, co je ukončena migrace, se všechny látky rozřazené dle pH unáší pomocí hydrodynamického toku k detektoru.

Izoelektrická fokusace (pH = 6-8) se nejvíce používá při zjištění genetických poruch, např. thalasémie, což je porucha syntézy hemoglobinu. [37, 38]

6.7.3 Izotachoforéza

U izotachoforézy je typický systém dvou elektrolytů - vedoucí a koncový - mezi které se vloží sledovaný analyt. Vedoucí elektrolyt obsahuje nejpohyblivější iont a zakončující elektrolyt nejpomalejší iont. Vnesený vzorek se začne tedy dělit podle pohyblivosti a může být pouze směsí iontů stejného náboje - kationty nebo anionty. Po dostatečně dlouhé době dochází k seřazení jednotlivých složek podle klesající pohyblivosti.

Izotachoforéza se ve většině případů používá spolu s dalšími elektromigračními metodami z důvodů zvýšení citlivosti a přesnosti výsledků. [39, 40]

Závěr

V bakalářské práci jsem popsala základní elektrické jevy, které probíhají v lidském těle a spolu s biochemickými pochody hrají velkou úlohu v živém organismu.

V prvním kapitolech jsem se věnovala základním elektrickým pojmům, v kapitole 3 jsem vysvětlila obecné principy komunikace mezi buňkami a snažila jsem se popsat základní struktury excitabilních buněk v lidském těle. Dále jsem se zaměřila na účinky elektrického proudu, jaké jsou základní fáze při poranění elektrickým proudem a jak poraněného v případě neštěstí správně ošetřit.

Podstatná část práce je věnována lékařské diagnostice, která je založená na využití akčních potenciálů, jež popisují v kapitole 6.1. Do této oblasti řadíme především elektrokardiografii, která má velký význam při sledování srdeční aktivity. Do diagnostiky jsem v kapitole 6.3 zařadila i novější technologii elektrochirurgii, využívanou především k nahrazení skalpelu při chirurgickém zákroku.

V dalších částech bakalářské práce popisují léčebné využití elektrického proudu, jenž je nejvíce používán při terapii v rehabilitačních centrech. Závěr bakalářské práce je věnován instrumentální části, jež je nejbližší mému budoucímu povolání a pojednává o principech využití laboratorních přístrojů.

Literatura

- [1] VÍTEK, František. *Lectures on biophysics with medical orientation*. Praha: Karolinum, 2007, s. 65-77. ISBN 978-80-246-1409-0.
- [2] BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015, s. 73-96. ISBN 978-80-247-4712-5.
- [3] HRAZDIRA, Ivo, Vojtěch MORNSTEIN a Jiřina ŠKORPÍKOVÁ. *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. Brno: Neptun, c2006, s. 121-137, 175-238. ISBN 80-86850-01-3.
- [4] ĎOUBAL, Stanislav. *Biofyzika pro studenty farmacie*. Praha: Karolinum, 2000. ISBN 80-246-0170-2.
- [5] BENEŠ, Jiří, Pravoslav STRÁNSKÝ a František VÍTEK. *Základy lékařské biofyziky*. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1386-4.
- [6] ROSINA, Jozef. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada, 2013, s. 91-116. ISBN 978-80-247-4237-3.
- [7] NAVRÁTIL, Leoš. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005, s. 167-215. ISBN 978-80-2471-152-2.
- [8] WERFF, J. Th. van der. *Biological reactions caused by electric currents and by X-rays: a theoretical study of the phenomena of excitation in the nerve by different electric currents and of the biological reactions caused by X-rays, both based upon a common principle*. New York: Elsevier, 1948.
- [9] MOREAU, Marc a Catherine LECLERC. Ionic messengers in development and cancer. *The International Journal of Developmental Biology* [online]. 2015, roč. 59, č. 7-8-9, s. 257-260 [cit. 2017-02-20]. DOI: 10.1387/ijdb.150215mm. ISSN 0214-6282. Dostupné z: <http://www.intjdevbiol.com/paper.php?doi=150215mm>

- [10] ANAYA, Matilde et al. Influence of magnetic field on the growth of pathogen microorganisms isolated from the indoor environment at the Archivo Nacional de la República de Cuba. *Biomedica* [online]. 2015, roč. 35, č. 3, s. 325-336 [cit. 2017-04-30]. DOI: 10.7705/biomedica.v35i3.2569. Dostupné z: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572015000300006&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- [11] NOSSAL, Ralph J. a Harold LECAR. *Molecular and cell biophysics*. Redwood City, Calif.: Addison-Wesley Pub. Co., the Advanced Book Program, c1991. ISBN 0-201-19560-7.
- [12] LEE, Tzong-Hsien, Daniel J. HIRST a Marie-Isabel AGUILAR. New insights into the molecular mechanism of biomembrane structural changes and interactions by optical biosensor technology. *Biochim Biophys Acta* [online]. 2015, roč. 1848, č. 9, s. 1868-1885 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005273615001601>
- [13] AEBERSOLD, Ruedi a Matthias MANN. Mass-spectrometric exploration of proteome structure and function. *Nature* [online]. 2016-9-14, roč. 537, č. 7620, s. 347-355 [cit. 2017-04-30]. DOI: 10.1038/nature19949. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nature19949>
- [14] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 1999, s. 41-82. ISBN 80-7169-788-5.
- [15] ALBERTS, Bruce. *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. Ústí nad Labem: Espero, c1998, s. 348-405, s. 448-479. ISBN 80-902906-2-0.
- [16] MITEW, Stanislaw, Yao Lulu XING a Tobias D. MERSON. Axonal activity-dependent myelination in development: Insights for myelin repair. *Journal of Chemical Neuroanatomy* [online]. 2016, roč. 76, s. 2-8 [cit. 2017-03-16]. DOI: 10.1016/j.jchemneu.2016.03.002. ISSN 08910618. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0891061816300291>
- [17] AQUIAR, Paulo, Mafalda SOUSA a Peter SZUCS. Versatile morphometric analysis and visualization of the three-dimensional structure of neurons. *Neuroinformatics* [online]. 2013, roč. 11, č. 4, s. 393-403 [cit. 2017-03-10]. DOI: 10.1007/s12021-013-9188-z. ISSN 1539-2791. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12021-013-9188-z>

- [18] KŘÍŽ, Michal. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků: požadavky na základní odbornou způsobilost*. Praha: IN-EL. Elektro (IN-EL), 2014, s. 111-117. ISBN 978-80-87942-01-7.
- [19] AHMAD, Mansoor a Khawar SHABIR. Electrical shock survival after prolonged cardiopulmonary resuscitation. *J Coll Physicians Surg Pak* [online]. 2013, roč. 23, č. 7, s. 502-503 [cit. 2017-03-15]. DOI: 07.2013/JCSPS.502503. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/electricalinjuries.html>
- [20] BANDREWS, Christopher. Towards solving enigmas in electrical injury. *Critical Care* [online]. 2012, roč. 16, č. 2, s. 117 [cit. 2017-04-24]. DOI: 10.1186/cc11209. ISSN 1364-8535. Dostupné z: <http://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/cc11209>
- [21] AASE, D. M., J. W. FINK, R. C. LEE, K. M. KELLEY a N. H. PLISKIN. Mood and Cognition after Electrical Injury: A Follow-up Study. *Archives of Clinical Neuropsychology* [online]. 2014, roč. 29, č. 2, s. 125-130 [cit. 2017-03-20]. DOI: 10.1093/arclin/act117. ISSN 0887-6177. Dostupné z: <https://academic.oup.com/acn/article-lookup/doi/10.1093/arclin/act117>
- [22] JOYCE, Nanette C. a Gregory T. CARTER. Electrodiagnosis in Persons With Amyotrophic Lateral Sclerosis. *PM and R* [online]. 2013, roč. 5, č. 5, s. 89-95 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1016/j.pmrj.2013.03.020. ISSN 19341482. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1934148213001299>
- [23] ABE, Kohtaro. Do Electrocardiography Scores Predict the Presence of Right Ventricular Dysfunction in Patients with Pulmonary Hypertension? *Internal Medicine* [online]. 2012, roč. 51, č. 17, s. 2261-2262 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.2169/internalmedicine.51.8297. ISSN 0918-2918. Dostupné z: <http://japanlinkcenter.org/DN/JST.JSTAGE/internalmedicine/51.8297?lang=en&from=CrossRef&type=abstract>
- [24] HÁLEK, Jan. *Biofyzika pro bakaláře*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002, s. 69-91. ISBN 80-244-0529-6.
- [25] AAGAARD, Philip, Bryan BARANOWSKI, Peter AZIZ a Dermot PHELAN. Early Repolarization in Athletes. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology* [online]. 2016, roč. 9, č. 3, [cit. 2017-04-22]. DOI: 10.1161/CIRCEP.115.003577. ISSN 1941-3149. Dostupné z: <http://circep.ahajournals.org/lookup/doi/10.1161/CIRCEP.115.003577>

- [26] ACCORDINO, Melissa K., Alfred I. NEUGUT a Dawn L. HERSHMAN. Cardiac Effects of Anticancer Therapy in the Elderly. *Journal of Clinical Oncology* [online]. 2014, roč. 32, č. 24, s. 2654-2661 [cit. 2017-04-22]. DOI: 10.1200/JCO.2013.55.0459. ISSN 0732-183x. Dostupné z: <http://ascopubs.org/doi/10.1200/JCO.2013.55.0459>
- [27] AL HEBAISHI, Yahya S., Halia Z. AL SHEHRI a Abdulrahman M. AL MO-GHAIRI. Predictors of Cardiac Resynchronization Therapy Response: The Pivotal Role of Electrocardiogram. *The Scientific World Journal* [online]. 2013, roč. 2013, s. 1-6 [cit. 2017-04-22]. DOI: 10.1155/2013/837086. ISSN 1537-744x. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/837086/>
- [28] CALLAGHAN, Brian C., Kevin A. KERBER, Lynda L. LISABETH, Lewis B. MORGENSTERN, Ruth LONGORIA, Ann RODGERS, Paxton LONGWELL a Eva L. FELDMAN. Role of Neurologists and Diagnostic Tests on the Management of Distal Symmetric Polyneuropathy. *JAMA Neurology* [online]. 2014, roč. 71, č. 9, s. 1143 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1001/jamaneurol.2014.1279. ISSN 2168-6149. Dostupné z: <http://archneur.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jamaneurol.2014.1279>
- [29] ABRAHAM, William T., Dariusz JAGIELSKI, Olaf OLDENBURG, et al. Phrenic Nerve Stimulation for the Treatment of Central Sleep Apnea. *JACC: Heart Failure* [online]. 2015, roč. 3, č. 5, s. 360-369 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1016/j.jchf.2014.12.013. ISSN 22131779. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213177915000669>
- [30] ADAMS, Robert D., Rebecca K. WILLITS a Amy B. HARKINS. Computational modeling of neurons: intensity-duration relationship of extracellular electrical stimulation for changes in intracellular calcium. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2016, roč. 115, č. 1, s. 602-616 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1152/jn.00571.2015. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/lookup/doi/10.1152/jn.00571.2015>
- [31] BAIJENS, Laura W. J., Renée SPEYER, Valeria Lima PASSOS, Walmari PILZ, Nel ROODENBURG a Père CLAVÉ. The Effect of Surface Electrical Stimulation on Swallowing in Dysphagic Parkinson Patients. *Dysphagia* [online]. 2012, roč. 27, č. 4, s. 528-537 [cit. 2017-04-26]. DOI: 10.1007/s00455-011-9387-4. ISSN 0179-051x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00455-011-9387-4>

- [32] BIFULCO, Paolo, Rita MASSA, Mario CESARELLI, Maria ROMANO, Antonio FRATINI, Gaetano D GARGIULO a Alistair L MCEWAN. Investigating the role of capacitive coupling between the operating table and the return electrode of an electrosurgery unit in the modification of the current density distribution within the patients' body. *BioMedical Engineering OnLine* [online]. 2013, roč. 12, č. 1, s. 80 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1186/1475-925X-12-80. ISSN 1475-925x. Dostupné z: <http://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-12-80>
- [33] ALI, M. M., K. K. SELLERS a F. FROHLICH. Transcranial Alternating Current Stimulation Modulates Large-Scale Cortical Network Activity by Network Resonance. *Journal of Neuroscience* [online]. 2013, roč. 33, č. 27, s. 11262-11275 [cit. 2017-04-26]. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5867-12.2013. ISSN 0270-6474. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/cgi/doi/10.1523/JNEUROSCI.5867-12.2013>
- [34] SUEN, Lorna K. P., Chao Hsing YEH a Simon K. W. YEUNG. Using auriculotherapy for osteoarthritic knee among elders: a double-blinded randomised feasibility study. *BMC Complementary and Alternative Medicine* [online]. 2016, roč. 16, č. 1, s. 257 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1186/s12906-016-1242-6. ISSN 1472-6882. Dostupné z: <http://bmccomplementalternmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12906-016-1242-6>
- [35] WOLDAŃSKA-OKOŃSKA, Marta, Jan CZERNICKI a Michał KARASEK. The influence of the low-frequency magnetic fields of different parameters on the secretion of cortisol in men. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* [online]. 2013, roč. 26, č. 1, s. 92-101 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.2478/s13382-013-0090-6.
- [36] KARLÍČEK, Rolf. *Analytická chemie pro farmaceuty*. Praha: Karolinum, 2007, s. 217-250. ISBN 978-80-246-1453-3.
- [37] MATYSOVÁ, Ludmila. *Elektromigrační metody*. Inovace studijního programu Farmacie na Farmaceutické fakultě Univerzity Karlovy. 2014 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://dl1.cuni.cz/mod/page/view.php?id=192372>
- [38] AGARWAL, A. M., R. H. NUSSENZVEIG, C. HOKE, T. S. LOREY a D. N. GREENE. Identification of One or Two - Globin Gene Deletions by Isoelectric Focusing Electrophoresis. *American Journal of Clinical Pathology* [online]. 2013, roč. 140, č. 3, s. 301-305 [cit. 2017-04-30]. DOI: 10.1309/AJ-

CPF4UIJKH3EOBY. ISSN 0002-9173. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ajcp/article-lookup/doi/10.1309/AJCPF4UIJKH3EOBY>

- [39] MALÁ, Zdena, Petr GEBAUER a Petr BOČEK. Recent progress in analytical capillary isotachopheresis. *ELECTROPHORESIS* [online]. 2013, roč. 34, č. 1, s. 19-28 [cit. 2017-04-30]. DOI: 10.1002/elps.201200323. ISSN 01730835. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/elps.201200323>
- [40] BERCOVICI, M., C. M. HAN, J. C. LIAO a J. G. SANTIAGO. Rapid hybridization of nucleic acids using isotachopheresis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2012, roč. 109, č. 28, s. 11127-11132 [cit. 2017-04-30]. DOI: 10.1073/pnas.1205004109. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1205004109>