



Střední zdravotnická škola

Mostecká 1912,
390 41 Tábor

www.szs-tabor.cz
+420 381 252 514

DIGITÁLNÍ UČEBNÍ MATERIÁL

Číslo projektu	CZ.1.07/1.5.00/34.0791
Tematická oblast	FYZIKA
Ročník	1.ročník
Jméno autora	Ing. Hynek Másílko
Název DUM	Využití elektrického napětí ve zdravotnictví
Datum vytvoření	Březen 2014
Datum ověření	25.4.2014
Označení DUM	VY_32_INOVACE__20.20
Anotace	Žák se seznámí se základním dělením a využitím elektrického napětí ve zdravotnictví a chápe základní pojmy z biofyziky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektřina v medicíně

Stejnoseměrný elektrický proud Galvanizace, iontoforéza, elektroforéza

Většina těles je navenek elektricky neutrálních, protože jejich celkový elektrický náboj je nulový, počet elektronů v obalu atomu je stejný jako počet protonů v jádře.

Případným odebráním nebo přidáním elektronu k atomu vznikají částice s nevykompenzovaným nábojem - **ionty**.

Látky, ve kterých existují volné pohyblivé částice s nábojem, se nazývají **vodiče**.

Nejvíce používanými vodiči jsou **kovy**, v nichž se mohou volně pohybovat elektrony uvolněné z elektronových obalů atomů, které jsou pevně vázány v krystalové mřížce kovů. Jsou to tzv. **vodiče I. třídy**.

Elektrolyty jsou **vodiče 2. třídy**, ve kterých se mohou pohybovat ionty - částice s *kladným i záporným nábojem*, vzniklé elektrolytickou disociací elektricky neutrálních molekul. Elektrolytická disociace je jev, při kterém se ve vodném roztoku molekuly kyselin, zásad i solí rozpadnou na **kationty** (kladně nabitě částice) a **anionty** (záporně nabitě částice). Stupeň disociace má vliv na chemické vlastnosti roztoku. Ve slabém elektrolytu je disociováno 0,01 % až 50 % molekul. Roztoky s nižší disociací obvykle již nepovažujeme za elektrolyty.

Kationty i anionty existují v roztoku, i když roztokem neprochází elektrický proud.

Obecné účinky proudu (stejnoseměrného i střídavého)

- *elektrolytické* - uplatňují se nejvíce
- *všeobecně dráždivé* - zejména pro střídavý proud dle frekvence, u stejnoseměrných elektrických proudů projeví pouze při zapnutí nebo vypnutí nebo při zesílení a zeslabení proudu
- *tepelné* - tepelný účinek stejnoseměrného proudu je zanedbatelný a uplatňuje se jenom při velkých proudech

Nehomogenní prostředí tkání lidského těla je komplikovaným vodičem elektrického proudu. Živá tkáň se v elektrickém poli chová jako zvláštní druh vodiče, která se liší makroskopickou i mikroskopickou nehomogenitou.

Elektrický proud při průchodu tkáněmi prochází prostředím různého chemického složení a struktury:

mezibuněčným prostředím
buněčnými membránami

cytoplazmou buněk apod. = *určitou měrnou vodivostí*.

Zatímco *měrná vodivost mezibuněčného prostředí i cytoplazmy* je téměř stejná, je *měrná vodivost buněčných membrán* v průměru více než *milionkrát nižší*. (obsah iontů představovaný vodnými roztoky a elektrolyty)

Průchodu stejnosměrného elektrického proudu tkání organismu kladou odpor zejména **buněčné membrány**, kterými prochází jen asi **2 % až 3 % celkového proudu**.

Lepšími vodiči elektrického proudu jsou **mezibuněčné tekutiny**, které jsou tvořeny elektrolyty.

Tkáň má *větší vodivost, čím více elektrolytů obsahuje*.

Plošný odpor: - suché pokožky dosahuje až $200 \Omega\text{m}^{-2}$
- navlhčené kůže $2 \Omega\text{m}^{-2}$

Přes kůži prochází elektrický proud *vlasovými folikuly a vývody potních žláz*, tj. cestou nejmenšího odporu.

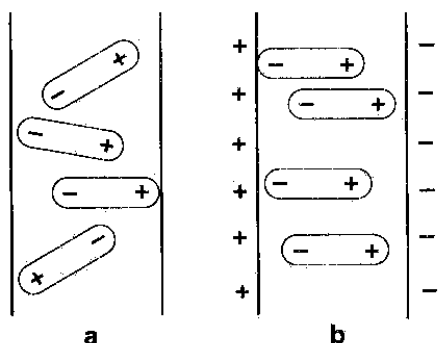
Stejnoseměrný proud nepropouští např. *vazivové blány a tuková tkáň*.

Odpor ostatních tkání závisí na množství elektrolytů, proto stejnosměrný proud **nejlépe vede krev, mozkomíšni mok a svaly**.

Je zřejmé, že z hlediska elektrických vlastností *představují živé tkáně i orgány velice složité prostředí, které je nehomogenní*, tj. má různé vlastnosti v různých místech.

Působením vnějšího elektrického pole mění svou orientaci a zaujímají polohu ve směru siločar, což lze přirovnat k polarizaci molekul dielektrika v elektrickém poli.

Obr: Polarizace dielektrika



- a) elektrické pole dipólů se navzájem ruší k jejich různé orientaci
- b) dipóly se orientují ve směru vnějšího pole – orientační polarizace

Stejnoseměrný proud

Léčebné využití stejnosměrného proudu

Stejnoseměrný elektrický proud stálé velikosti označujeme jako **proud galvanický**.

Při průchodu stejnosměrného elektrického proudu tkání **dochází k elektrolytickým změnám**. V důsledku různé pohyblivosti iontů *nastávají především změny koncentrací jednotlivých iontů* v tkáních, dále dochází k elektrolytickému rozkladu a změnám pH a dojde ke změně membránových potenciálů. Chemickými změnami v tkáních jsou drážděna nervová zakončení a svaly, organismus proto vnímá průchod elektrického proudu jako různý stupeň bolesti, který závisí na velikosti proudu. Vznikne *podráždění nervů a svalů*, které se projeví **svalovým stahem**.

U stejnosměrného proudu je tento účinek patrný pouze **při vypnutí a zapnutí** nebo **při zesílení a zeslabení proudu**, jinak trvalý stejnosměrný proud vytvoří ustálený stav.

Galvanizace

Je to léčebná metoda, při které se využívá elektrolytických účinků stejnosměrného proudu.

► chemické změny $\Rightarrow$ změna pH. Pod *katodou* pH roste a **zvyšuje se zde dráždivost**.

Tohoto jevu se využívá k léčení ochrnutí a léčbě snížené citlivosti.

► u anody se pH snižuje, **snížuje se citlivost** čehož se **využívá k tlumení bolesti**.

Indikace galvanizace: patří stavy po úrazech, záněty a degenerativní procesy pohybového aparátu, chronická kloubní onemocnění, záněty periferních nervů a žil; zvýšená dráždivost se uplatňuje při léčbě dětské obrny. Galvanizaci používáme i k léčbě různých bolestivých stavů apod.

Účinky: - zvýšení místního metabolismu, zvýšení prokrvení tkání pod elektrodami – až 3x (to přináší zmírnění potíží u chronických kloubních onemocnění), urychlení vstřebávání zánětlivých infiltrátů, snížení bolestivosti, a to zvláště v oblasti pod anodou.

Ovlivnění: vegetativní nervový systém, motorické nervy a svaly i centrální nervová soustava.

Při celkové galvanizaci je celé tělo pacienta ponořeno v tzv. galvanické lázni a proud je přiváděn několika elektrodami v ní umístěnými.

Při místní aplikaci prochází proud jen určitou částí těla pomocí povrchových plošných elektrod.

Po zapojení přístroje se musí proud zvyšovat postupně a pomalu od nuly až na potřebnou hodnotu, aby se neprojevilý dráždivé účinky spojené s náhlou změnou proudu.

Rovněž **při vypínání** se musí proud pomalu snižovat až k nule.

Iontoforéza

Využití pohybu iontů v stejnosměrném elektrickém poli ke **vpravování léků** s elektrickým nábojem do organismu. Zejména v **očním lékařství**, kde umožňuje vpravit léky přímo do oka.

Aplikace se provádí pomocí dvou elektrod.

► **jedna** má poměrně **malou plochu** ⇒ nazývá se **aktivní** nebo **diferentní**. Pod ní se dává roztok léku a elektroda se spojuje s opačným pólem stejnosměrného zdroje napětí, než je náboj vpravovaného iontu.

► **druhá** je poměrně **velká** ⇒ **indiferentní** a přikládá se na libovolné místo těla a je spojena se souhlasným pólem zdroje.

► Z anody se vpravují **kationty** *draslíku, vápníku, mědi, zinku, včelí jed, histamin* apod.

► Z katody se vpravují **anionty** *chloru, bromu, jodu, vitamin C, penicilin, streptomycin* apod.

► podávání léků pomocí iontoforézy je nebolestivé a umožňuje zavést některé léky do tkání v těch místech, kde je jich zapotřebí (např. klouby).

Diagnostické využití stejnosměrného elektrického proudu

Elektroforéza

Je to diagnostická metoda, která je založena na tom, že se v prostředí s vhodným pH ve stejnosměrném elektrickém poli pohybují nejenom ionty, ale i molekuly bílkovin.

► používá se k dělení bílkovin krevní plazmy na albuminy a několik skupin globulinů.

► při určitém pH jsou kladné i záporné náboje v rovnováze a molekula bílkoviny se ve stejnosměrném elektrickém poli nepohybuje. Hodnota tohoto pH představuje tzv.

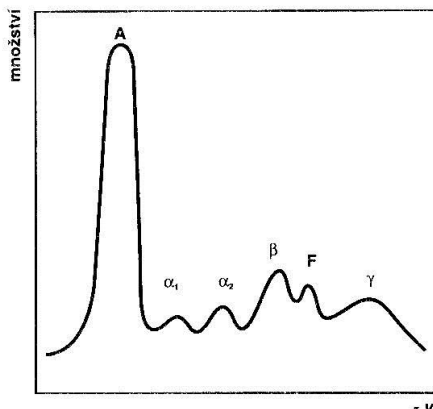
izoelektrický bod. V tomto bodě jsou ve stejném množství disociovány obě skupiny, $\Rightarrow$ karboxylová i aminoskupina, a molekula bílkoviny je navenek elektroneutrální a jako taková je inertní vůči vnějším elektrickým silám.

► po zapojení elektrického obvodu (startu) začnou molekuly bílkovin nesoucí elektrický náboj putovat ve směru elektrického pole. Jelikož **prostředí**, ve kterém je bílkovina suspendována, jí **klaďe mechanický odpor** a různé bílkoviny se liší nejenom nábojem, ale i velikostí molekul, je **výsledný pohyb bílkoviny** v stejnosměrném elektrickém poli dán **rozdílem sil elektrických a mechanických (odpor prostředí)**.

► při vhodném pH (nejvhodnější pH pro elektroforézu bílkovin krevní plazmy je 8) urazí molekuly bílkovin za určitý čas v elektrickém poli různou dráhu.

► největší dráhu urazí částice s největší pohyblivostí.

► **Výsledkem je elektroforetický diagram**, který umožňuje rozlišit jednotlivé bílkoviny krevní plazmy a z průběhu křivky získat diagnosticky cenné informace.



Obr: Elektroforeogram krevních bílkovin

Osa x: rychlost pohybu jednotlivých frakcí

Osa y: obsah jednotlivých frakcí (zleva doprava klesá)

Vysvětlivky:

A – albuminy

F – fibrinogen, alfa, beta, gama - globuliny

Střídavý elektrický proud o nízké frekvenci Využití jeho dráždivých účinků

Elektrický proud je usměrněný pohyb částic s elektrickým nábojem způsobený elektrickým polem.

► **stejnosměrný proud** $\Rightarrow$ jeho charakteristika je dána pouze udáním velikosti napětí

► proud, při němž se směr pohybu částic periodicky mění, nazýváme **střídavý proud**. (el. síť – sinusový průběh – harmonický průběh mění se i polarita pólů zdroje.)

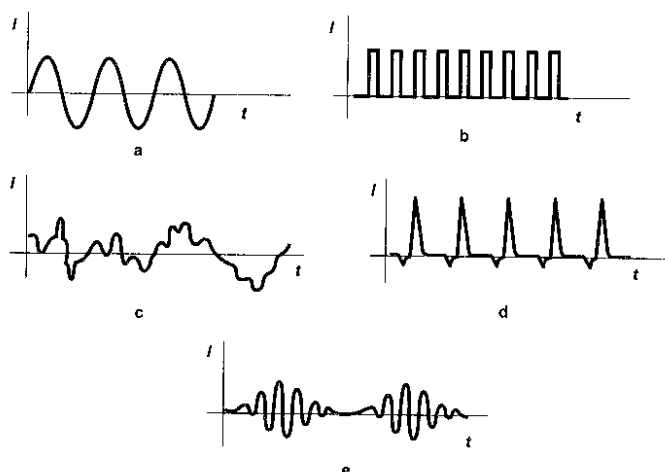
$\Rightarrow$ **Charakterizuje ho** nejen *největší hodnota proudu v průběhu periody* (amplituda proudu), ale také *počet period za sekundu*, tedy *frekvence* střídavého proudu.

► v medicíně se setkáváme s různými druhy střídavého proudu.

► **sinusový průběh** jehož závislost na čase má

► se používá také střídavý proud s **obdélníkovým průběhem**

► velikost a směr proudu může měnit zcela nahodile



Obr: Druhy průběhu střídavého proudu

..

Fyziologické funkce některých orgánů jsou spojeny se vznikem střídavých proudů, které mají ráz řady **periodických impulsů** nebo složitých elektrických kmitů

Elektrické **vlastnosti tkání a orgánů člověka** se studují ze **dvou aspektů**.

- ▶ **pasivní elektrické** vlastnosti, tj. chování orgánů a tkání v elektrickém poli (jsou důležité z hlediska biologických účinků elektrické energie)
- ▶ sledujeme také **aktivní elektrické jevy**, které vznikají např. při *činnosti srdce, mozku...* (měření akčních potenciálů lidského těla EKG, EEG)

Pasivní elektrické vlastnosti

Pasivní elektrické vlastnosti organismu jsou určeny přítomností částic nesoucích elektrický náboj. Většina tekutin živého organismu je schopna vést elektrický proud $\Rightarrow$ přesun elektrického náboje v molekulách a uspořádáním orientace dipólových molekul.

▶ střídavý elektrický proud prochází v tkáních a orgánech prostředím různého chemického složení a různé struktury - *mimobuněčným prostředím, buněčnými membránami, strukturami uvnitř buňky* apod.

▶ *odpor buněčných membrán klesá se vzrůstající frekvencí střídavého proudu.*

je to tzv. **impedanci membrány**, která má dvě složky:

$\Rightarrow$ **rezistanci** (odpovídá odporu v obvodu stejnosměrného proudu), jejíž velikost na frekvenci střídavého proudu nezávisí,

$\Rightarrow$ **kapacitanci** (tzn., že membrána se chová jako kondenzátor), s rostoucí frekvencí zmenšuje.

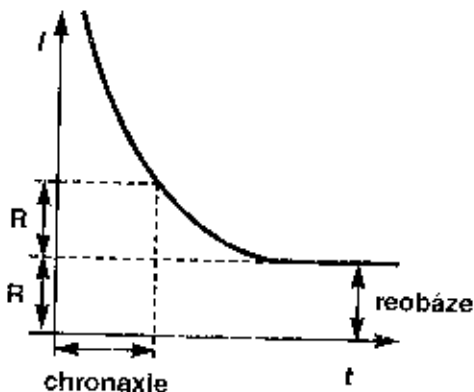
- ▶ *odpor tkání* závisí na funkčním **stavu tkání**.
- ▶ **nedostatek kyslíku** (hypoxie) vede k *zvětšení odporu*. (Zástava životních pochodů má za následek pokles odporu a konečná hodnota odporu mrtvé tkáně odpovídá odporu cytoplazmy, což svědčí o rozpadu buněčných membrán.)
- ▶ **většina buněk** v lidském těle **má charakter dielektrika**. V něm nejsou náboje volně pohyblivé, jsou vázány na atomy a molekuly. *Působením vnějšího elektrického pole se dipóly orientují*, dochází k polarizaci dielektrika $\Rightarrow$ vzniká vnitřní elektrické pole opačné polarity než pole vnější.
- ▶ *pohybem elektrických nábojů v dielektriku vzniká proud posuvný*
- ▶ střídavý elektrický proud je veden přes tkáň *převážně* jako proud *posuvný*.

Vliv frekvence na lidský organismus

- ▶ **nízké frekvence** (asi do 100 Hz) se **dráždivý účinek** proudu zvyšuje s rostoucí frekvencí
- ▶ **při vyšší frekvenci dráždivý účinek klesá** a kolem 10 000 Hz se přestává projevovat
- ▶ **střídavý proud o frekvenci větší než 100 000 Hz již nemá žádné dráždivé účinky**
- ▶ účinky vysokofrekvenčních proudů jsou jenom tepelné

Dráždivost

Dráždivost je obecnou vlastností všech živých organismů a dochází k ní až při dosažení tzv. **prahové velikosti proudu**, působící po určitou dobu.



- ▶ se snižováním protékajícího proudu narůstá doba, po kterou musí proud působit, aby došlo k vyvolání podráždění a ke vzruchu. (nastává i případ, kdy ani sebedelší působení nevyvolá podráždění). **Nejmenší proud, který vyvolá podráždění**, se nazývá **reobáze**.

▶ **doba nutná k vyvolání reakce při podnětu velikosti dvojnásobné reobáze**, se nazývá **chronaxie**. Čím intenzivnější je podnět (tj. elektrický proud), tím kratší dobu může působit a vyvolat podráždění.

Stimulátory

K *diagnostickým i terapeutickým účelům* se používají **stimulátory**. Základním obvodem stimulatoru je generátor frekvence s regulovatelnou frekvencí od 1 Hz až do několika kHz.

Tvarovací obvod stimulatoru upravuje impulsy do *žádaného tvaru*.

- ▶ nejčastěji impulsy *pravoúhlého (obdélníkového rychlý nástup – max. a rychlý pokles na min.)*
- ▶ nebo méně *trojúhelníkového* tvaru
- ▶ délka impulsu je řízena časovacím obvodem v rozsahu několika **mikrosekund až ke stovekám milisekund**.

Podmínkou spolehlivé **funkce stimulátorů** je co *nejlepší kontakt elektrody* s drážděnou tkání nebo orgánem. V některých případech jsou **speciální elektrody zaváděny přímo do drážděné tkáně** (svaly, srdce, mozek).

- ▶ podle určení se stimulátory nazývají např. **kardiostimulátory, neurostimulátory** apod.

Vyšetřování motorických nervů a svalů

Používáme stále i přerušované střídavé proudy (obvykle obdélníkového tvaru), dráždíme svaly buď nepřímo přes nerv, nebo přímo. Je-li dosaženo *prahového podnětu, dojde ke stahu*. Touto metodou se *zjišťuje poškození nervů a svalů*.

- ▶ poškození je úměrné nejenom rychlostí, ale i kvalitou odpovědi jednotlivých motorických jednotek svalu.
- ▶ při frekvencích *do 20 Hz* vznikají *jednotlivé stahy* svalu.
- ▶ při vyšší frekvenci je stah trvalý

Přímou elektrostimulaci svalu využíváme při některých *poúrazových stavech*, při kterých došlo k poškození *inervace* (sval nedostává podněty od nervu).

⇒ **stimulace svalu** pomáhá zachovat *funkční schopnost* svalu až do případné obnovy inervace. Elektrický proud do té doby nahrazuje podněty nervu.

Využití:

- provádí se dráždění nervu *karotického sinu* při léčbě *anginy pectoris*
- při *ischemické chorobě srdeční*
- při léčbě některých *forem hypertenze* (vysokého krevního tlaku) nezvládnutelných medikamentózně.

Defibrilátor

Je to **jednoduchý stimulátor**, určený k získávání elektrických impulsů o velké energii k obnově srdeční akce při její zástavě. Zástava je důsledkem některých závažných organických poruch a arytmií nebo i důsledkem úrazu elektrickým proudem.

- ▶ jediný velký defibrilační impuls (jediný výboj z nabitého kondenzátoru) aplikovaný **přes hrudní stěnu nebo přímo na povrch srdce při otevřeném hrudníku**, způsobí obnovení normálního srdečního rytmu

- ▶ potřebná energie je 300 J až 400 J
- ▶ napětí zdroje 5 kV až 6 kV
- ▶ doba defibrilačního impulsu je 5 ms až 8 ms.

Kardiostimulátor

Zařízení se skládá z generátoru pravoúhlých kmitů, které jsou asymetrické, tj. délka (doba) impulsu je v mezích 1 ms až 3 ms a slouží k normalizaci srdečního rytmu u řady závažných poruch rytmu, které bezprostředně ohrožují život nemocného.

- **kardiostimulátory dočasné**, které jsou zaváděny např. v kritickém období několika dnů po akutním infarktu myokardu

- **kardiostimulátory trvalé**, které jsou implantovány nemocnému obvykle pod kůži v oblasti *pod pravou klíční kostí*, odkud je veden tenký, ohebný a izolovaný vodič žilním řečištěm ke *stimulační elektrodě*, obvykle zaklíněné ve svalovině hrotu pravé komory. (onemocnění srdce, kdy jsou poškozeny převodní dráhy vzruchu v srdci, nebo hrozí-li zástava srdce následkem trvalých poruch rytmu.

- ▶ kardiostimulátor může mít buď **řízenou frekvenci**
- ▶ je řízen **vlastním sinusovým rytmem** při převodních poruchách
- ▶ životnost implantovaného stimulátoru je 5 let až 8 let
- ▶ dráždění se provádí jednotlivými elektrickými impulsy o délce 1 ms až 3 ms, napětí 5 V až 10 V a proudu do 10 mA.

Elektrošok

Při aplikaci střídavého proudu o:

- *frekvenci kolem 50 Hz*
- *napětí 70 V až 110 V*
- *délce impulsu 0,1 s až 1,5 s*
- *proudu 300 mA až 500 mA*

elektrodami přiloženými na spánky, dojde u člověka ke křečovým záchvatům epileptického typu.

- ▶ elektrošok má za následek **několikaminutovou ztrátu vědomí**
- ▶ pacient dostává po elektrošoku záchvaty podobné epileptickým, je nutné zajistit, aby si nepokousal jazyk.
- ▶ po návratu vědomí **dochází u pacienta k retrográdní amnézii** (pacient zapomene

na vše, co se s ním dělo předtím a neví nic ani o záchvatu samém).

Elektrošok využíváme při léčbě těžkých depresivních stavů a schizofrenie.

Neurostimulátor

Slouží ke dráždění *mozku a míchy*, obvykle se používá:

- obdélníkových impulsů o délce asi 0,1 ms až 5 ms
- frekvence střídavého proudu je asi 30 Hz až 100 Hz
- proud asi 0,5 mA až 5 mA

Kromě diagnostických důvodů se léčebné stimulace některých oblastí míchy užívá při potlačování nezišitelných bolestí.

Stimulační diagnostika je součástí tzv. stereotaktického vyšetření, při kterém podle odpovědi na dráždění lze rozlišit normální a patologické struktury, což pomůže chirurgovi vymezit pole, které je nutno odstranit.

Elektrostimulační dýchání je umělé dýchání vyvolávané působením proudu na dráždivý bod pro nervus phrenicus (nachází se při distálním úponu musculus sternocleidomastoideus); čímž dochází ke stahům bránice. Používá se krátkodobě při akutních poruchách dýchání.

Léčebně se aplikace střídavého proudu **užívá u chorob močového měchýře**, zejména při některých poruchách jeho vyprazdňování, *u náhlých atonií střev apod.* Zkoumá se využití spánku navozeného *elektrostimulací i elektroanestezie*.

Vysokofrekvenční střídavý proud a elektromagnetické vlnění

Diatermie

Vysokofrekvenční proudy při frekvencích *větších než 100 kHz* **nemají již žádné dráždivé účinky**. Působící impuls vysokofrekvenčního proudu trvá mnohem kratší dobu, než je doba potřebná k vyvolání podráždění- tzv. *chronaxie* (pro nervy je např. 0,01 ms, pro srdeční sval asi 5 ms).

Vysokofrekvenční proudy nemají ani elektrolytické ani elektrochemické účinky.

► biologický účinek **spočívá v přeměně absorbované elektrické energie v teplo** (Polární molekuly v organismu se účinkem vysokofrekvenčního střídavého proudu

rytmicky pohybují a přeměňují absorbovanou energii elektrického pole v teplo - *dielektrický ohřev*)

► tepelného účinku vysokofrekvenčních proudů se využívá ve **vysokofrekvenční terapii** (tato aplikace má minimum vedlejších účinků a proto je velmi používaná)

Vysokofrekvenční terapií neboli **diatermií** rozumíme nejenom léčebné použití vysokofrekvenčních střídavých proudů, ale i magnetických polí a elektromagnetických vln.

Vysokofrekvenční terapie umožňuje hloubkové prohřívání.

► při diatermii se **teplo předává přímou přeměnou energie vysokofrekvenčního elektromagnetického pole na vnitřní energii tkání**

► **vysokofrekvenční terapie nedráždí ani nerv ani sval**

Mezinárodními dohodami byly pro terapii vyčleněny tyto frekvence:

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| - <i>krátkovlnná diatermie</i> | 21,12 MHz |
| - <i>ultrakrátkovlnné diatermie</i> | 433,92 MHz |
| - <i>používá mikrovlnová terapie</i> | 2 400 MHz |

Krátkovlnná diatermie

Při vysokých frekvencích, není nutné vodivé spojení mezi elektrodami a organismem.

a) **Diatermie v kondenzátorovém poli.**

► *prohřívaná tkáň tvoří dielektrikum kondenzátoru, vysokofrekvenční proud překonává toto dielektrikum jako proud posuvný*

► při diatermii v kondenzátorovém poli dochází *v kůži a v tukové vrstvě k výraznějšímu ohřevu.*

► *svaly se ohřívají asi desetkrát méně než tuk, proto tento typ diatermie není vhodný pro prohřívání svalů.*

b) **Prohřívání v indukčním poli**

► provádí se nejčastěji tak, že se *izolovaný kabel obtočí kolem končetiny, kterou chceme prohřát. Účinkem střídavého magnetického pole vysoké frekvence vznikají ve tkáni vířivé proudy, jejichž energie se mění v teplo.*

► při této metodě se *kůže prohřívá méně, lépe jsou prohřívány svaly*

Ultrakrátkovlnná diatermie

K tepelné výměně nedochází účinkem elektrického proudu, ale **účinkem elektromagnetických vln** vysílaných ze zářiče.

► dochází ke zlepšení krevního oběhu a u pacientů s vysokým krevním tlakem dochází k jeho snížení

Mikrovlnová terapie

Mikrovlny jsou vysílány ze zařízení se silným magnetickým polem (**magnetron**).

- dobře se zahřívají svaly, špatně tuk a kosti
- pro ozařování malých oblastí tkáně v očním lékařství, v otorinolaryngologii apod.

Použití diatermie

- **zvýšení prokrvení, zlepšení metabolismu, má i analgetický účinek**
- léčebně se diatermie využívá při poúrazových a zánětlivých onemocněních měkkých částí pohybového aparátu
- u chronických bronchitid, astmatu, při migrénách, k doléčení stavů po krevních výronech, po úrazech kostí apod.

Vysokofrekvenční střídavé proudy se užívají v medicíně i k chirurgickým zákrokům, tzv. **elektrochirurgii**.

- **velká inaktivní elektroda**, na kterou se nemocný položí
 - **malá aktivní elektroda** ve tvaru jehly, nožíku nebo kuličky, kterou se provádí vlastní zákrok.
 - množství tepla v tkáni je úměrný „hustotě“ procházejícího proudu (tkáň se zahřívá více pod *menší* aktivní elektrodou)
- tato vysoká teplota **pod aktivní elektrodou způsobuje koagulaci** (*srážení*) bílkovinné tkáně a *srážení krve* (rána nekrvácí).
- po operaci jsou *následné bolesti malé*, protože koagulace postihuje i *konce nervů*.

Elektrodesikace

Při malé velikosti proudu dojde ke zničení buněk pod aktivní elektrodou tím, že se vlivem tepla *vypaří z buněk voda a dojde k porušení buněčné membrány*.

- ▶ kosmetické zákroky, léčba nezhoubných nádorů
- ▶ **aktivní elektroda** má tvar jehly, kuličky nebo terčíku

Elektrokoagulace

Při zvýšení velikosti proudu dochází ke zničení buněk tím, že vlivem tepla **nastává koagulace bílkovin**, buňky tkání se *mechanicky roztrhají a spálí*.

- ▶ zástava operačního krvácení a ke zničení nádorových tkání
- ▶ resekce uvnitř orgánů a ke speciálním zásahům v oku

Elektrotomie

Při velkých hodnotách proudu předávané **teplo způsobí úplné zničení tkáně pod elektrodou**.

- ▶ elektroda má tvar nožíku a **lze s ní pracovat jako s obyčejným skalpelem**
- ▶ šetrnost řezu a zmenšení krvácení

Použití:

- při operacích na mozku, zhoubných nádorů (zde se snižuje pravděpodobnost roznesení nádorových buněk krevním řečištěm do jiných orgánů, a tak zabraňuje vzniku metastáz)
- při použití této metody se v místě řezu tkáň lehce rozestupuje a nastává koagulace do hloubky přibližně 0,1 mm.

Biologické účinky vysokofrekvenčních magnetických polí jsou založeny na mechanismu přeměny elektromagnetické energie ve vnitřní energii organismu. Léčebně se vysokofrekvenčních magnetických polí využívá v ultrakrátkovlnné diatermii.

Měření akčních potenciálů lidského těla

Činností **vzrušivé tkáně (nervové nebo svalové)** vznikají **elektrické projevy**, tzv. **akční potenciály**.

- elektrické projevy doprovázejí specifickou aktivitu buněk nebo tkání, např. *vedení vzruchu nervy, stah svalů ...*
- mnoho elektrických jevů je pro probíhající procesy *charakteristická*
- při *onemocnění* dochází v organismu ke změnám $\Rightarrow$ výzkumu, diagnostika, lokalizace

Registrační souprava

Protože jsou to **jevy velmi krátkodobé**, potřebujeme k jejich sledování **registrační soupravu**, která musí obsahovat minimálně:

- ▶ čidlo (elektrody),
- ▶ elektronické zařízení, které sledovanou veličinu vhodně upraví (zesilovač)
- ▶ indikační a registrační zařízení (osciloskop, oscilograf, počítač,...)

Čidla - snímače

Jsou prvním článkem při měření elektrických projevů organismu. Jsou to **elektrody zprostředkující kontakt mezi tkání a měřicím přístrojem**. Snímají *bioelektrické potenciály*.

Povrchové elektrody

Povrchové elektrody jsou upraveny pro snímání z povrchu těla. Jednou z podmínek úspěšného měření je zajištění **dokonalého kontaktu mezi elektrodou a tkání**. U povrchových elektrod je třeba zprostředkovat elektrický vodivý kontakt mezi elektrodou a kůží *vhodným elektrolytem* (např. pasta s KCl pro snímání EKG). Pro snímání elektrických biosignálů z povrchu těla se často užívá nepolarizovatelná elektroda stříbrochloridová.

Elektrody pro snímání přímo z tkání

Elektrody pro snímání signálu přímo z tkání se nejčastěji **do tkání zavádějí přímo** (tzv. elektrody **vpichové**). Musí být sterilizovány a musí být z materiálu, který nedráždí tkáň. Dokonalý kontakt obvykle dostatečně zajištěn tkáňovými tekutinami.

Často se užívají speciální **mikroelektrody** k přímému měření membránových potenciálů. Nejčastěji jsou tvořeny skleněnými *mikropipetami* s hrotem o

průměru 0,1 mikrometru až několika mikrometrů, naplněnými třímolárním roztokem KCl, do kterého je ponořena stříbrochloridová elektroda.

► Zesilovače

Velikosti bioelektrických potenciálů měřených z povrchu těla:

- jsou řádově od 10^{-6} V (EEG) do 10^{-2} V (EMG).

Zesilovače jsou speciálně konstruované pro různé druhy měřených signálů a zabezpečují nezkreslené zesílení elektrických signálů.

Zesilovače pro elektrokardiografii a elektroencefalografii **sestavují obvykle ze dvou částí**, ze **zesilovače napětí** a.

zesilovače napětí - zesiluje malá napětí přivedená na vstup

zesilovače výkonu - získává signál o potřebném výkonu, který by se mohl přenést na registrační zařízení.

Z hlediska zesílení má rozhodující význam *poměr velikosti vnitřního odporu zdroje biosignálu a vstupního odporu zesilovače*. (Velikost vnitřního odporu (správněji impedance) zdroje biosignálu je dána jednak vlastní impedancí tkáně, v níž biosignál vzniká, jednak impedancí rozhraní tkáň (kůže) - elektroda.)

- vstupní odpor zesilovače musí být tak velký, aby se hodnota měřeného napětí blížila hodnotě napětí zdroje biosignálu.

► Indikační a registrační zařízení

Nejčastěji se sledovaný signál zobrazuje na obrazovce **osciloskopu** nebo se zapisuje na různé druhy registračního papíru. V poslední době roste stále více význam **počítačů pro přímé a dodatečné vyhodnocování bioelektrických signálů**. Mechanický zápis pomocí písátka se stal standardní grafickou metodou v **elektroencefalografii** a **elektrokardiografii**.

Mezi důležité bioelektrické potenciály patří činnostní **svalové, srdeční, mozkové potenciály a potenciály sítnice**.

Činnostní svalové potenciály

Kosterní sval tvoří s nervem, který jej inervuje (dodává podněty), funkční jednotku. Základním prvkem je tzv. **motorická jednotka**, tvořená **skupinou svalových vláken zásobovaných nervovým vláknem jedné nervové buňky**. Podráždění v podobě vzruchu přichází nervovým vláknem k motorické jednotce a na každé podráždění odpovídá sval vznikem činnostního (akčního) potenciálu.

Elektromyogram

Je záznam akčních **potenciálů kosterních svalů**.

- sval je v motorickém klidu $\Rightarrow$ žádná elektrická aktivita
 - při kontrakci (smrštění) se do činnosti zapojuje podle síly kontrakce různé množství svalových vláken $\Rightarrow$ tvar výsledného elektromyografického záznamu
- hladký sval se liší, nereaguje na přímé podráždění a jeho reakce na nepřímé podráždění je pomalá a je vázána na sumaci nervových vzruchů.

Činnostní potenciály srdeční

Vznik podráždění a jeho rozvod v srdci zajišťuje zvláštní vodivý systém.

- **generátorem impulsů** (s frekvencí 1 Hz až 2 Hz) je **sinoatriální uzel** v oblasti pravé předsíně.
- dále postupuje **svalovinou předsíně k uzlu atrioventrikulárnímu**, ležícímu na rozhraní předsíní a komor.
- zde začíná vodivý systém **Hisova svazku a Purkyňových vláken**
- elektrokardiogram (EKG), tj. zápis srdečních akčních potenciálů, je znázornění časového průběhu rozdílů potenciálů, měřených na různých místech povrchu těla.

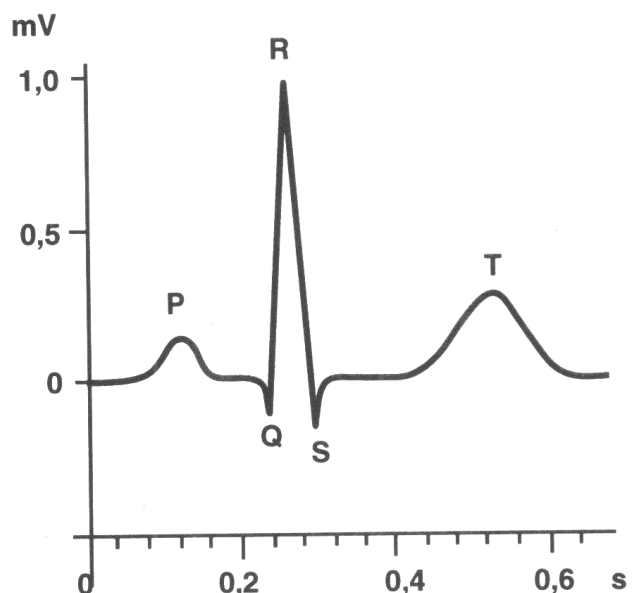
Umístnění elektrod

Einthoven, který jako první rozpracoval elektrokardiografii, umístil elektrody takto:

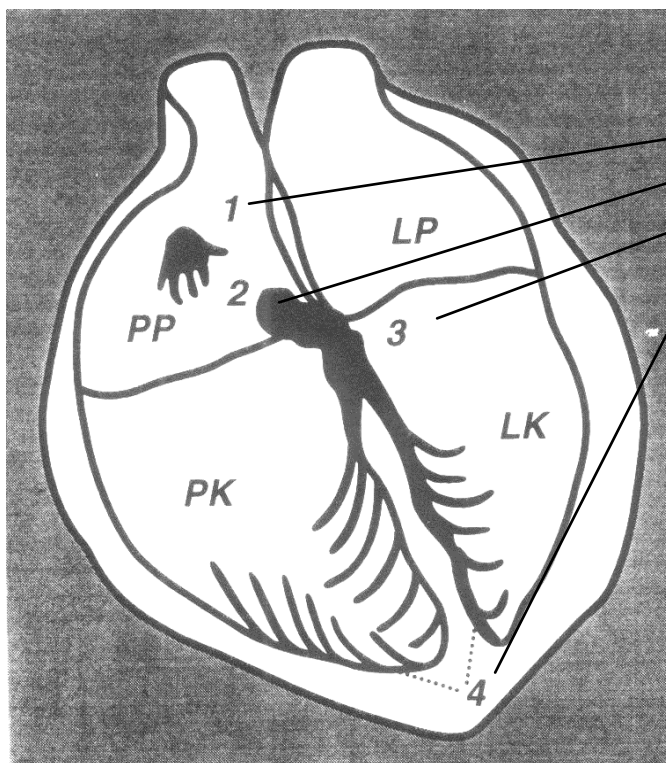
- pravá horní končetinu (*svod hrudní*)
- levá horní končetina (*svod hrudní*)
- levá dolní končetina
- pravá dolní končetina slouží k připojení elektrody jako zemní svorky (tzv. *končetinové svody*).

Popis záznamu činnosti srdečních potenciálů

- přechodem **podráždění na svalovinu předsíní** dochází k jejímu podráždění $\Rightarrow$ vznik vlny **P**



- po dosažení podráždění **atrioventrikulárního uzlu**, začíná **podráždění komor**. To probíhá v obou komorách současně a postupuje z vnitřní strany na vnější. V záznamu EKG se tento děj projeví silným komplexem na křivce, který je označen písmeny **QRS**.
- Zároveň s podrážděním komor probíhá uvolnění předsíní, které má slabší elektrickou manifestaci a je proto překryto komplexem QRS (není zobrazeno)
- poslední fází je uvolnění komor, které probíhá z vnější strany ke straně vnitřní a dává vznik vlně T



Vodivý systém srdce

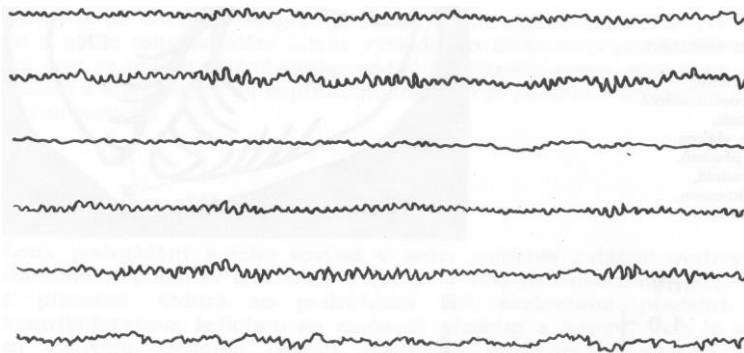
- 1 uzel sinoatriální
- 2 uzel atrioventrikulární
- 3 Hisův svazek
- 4 Purkyňova vlákna

PP pravá předsíň
 LP levé předsíň
 PK pravá komora
 LK levá komora

Činnostní potenciály mozkové

Elektroencefalogram (EEG) je záznam elektrických projevů činnosti mozku, snímáný z povrchu hlavy obvykle systémem několika elektrod.

- ▶ rytmus i tvar akčních potenciálů mozku není pravidelný jako u srdce
- ▶ druh rytmu EEG je závislý na mnoha podmínkách (věk, spánek, bdění, fyzická aktivita...)
- ▶ onemocnění, která ovlivňují EEG, zvláště výrazně epilepsie a nádory mozku.



Záznam činnostních potenciálů mozkových (EEG)

Základní typy elektroencefalografických vln podle frekvence jsou:

- **vlny alfa** 14 – 7Hz (pro duševní a tělesný klid, snění, polospánek, intuitivní myšlení)
- **vlny beta** 21 – 14Hz (zdravý člověk v bdělém stavu, logické myšlení)
- **vlny theta** 7 – 4Hz (fyziologicky se objevují jen u dětí, výskyt těchto vln u dospělého člověka je patologický, REM fáze spánku)
- **vlny delta** 4 – 0,5Hz (projevující se za normálního stavu jenom v průběhu hlubokého spánku, bezvědomí, v bdělém stavu je tento typ elektroencefalografických vln patologický)

Činnostní potenciály sítnice

Bioelektrická aktivita sítnice je v úzkém vztahu k **fotochemickým reakcím**, které v sítnici probíhají **po dopadu světla**. Činnostní potenciály vznikají **jen v osvětlené části sítnice**.

- podráždění **čípků** sítnice podmiňuje **vznik negativních potenciálů**
- podráždění **tyčinek** vznik **potenciálů pozitivních**

- **potenciály jednotlivých podrážděných světločivých elementů** nebo jejich skupin se **sčítají** a dávají vznik výsledné změně potenciálu, jejíž časový průběh označujeme jako **elektroretinogram (ERG)**

Ostatní elektrické aktivity těla

Orgány lidského těla, které obsahují vzrušivou tkáň, jsou při své činnosti zdrojem elektrické aktivity:

- *elektrické projevy dělohy* při porodu ⇒ **elektrohysterogram**
- *elektrické projevy stěny žaludku*
⇒ **elektrogastrografie**



Použité zdroje:

Biofyzika 2, Doplněk učiva fyziky pro 2. Ročník středních zdravotnických školy, Josef Rosina, Scientia Medica, s.r.o., 1995