

Studijní opora

# BIOFYZIKA A INFORMATIKA

**Prof. MUDr. Jozef Rosina, PhD.**

**Rozsah: 10 hodin přednášek, 20 hodin konzultací**



## Cíle studia předmětu

Cílem předmětu lékařská biofyzika je ukázat studentům aplikace biofyziky pro jejich povolání v obecné rovině i na konkrétních příkladech

## Základní témata studia předmětu

1. Elektrický proud a jeho využití v medicíně
2. Ionizující záření a jeho využití v medicíně
3. Zobrazovací technika používaná v medicíně – principy fungování
4. Účinky fyzikálních faktorů na organizmus
5. Přístrojová technika používaná v medicíně – principy fungování

## Jednotlivé kapitoly

### 1. Elektrický proud a jeho využití v medicíně

- a obecná charakteristika
- b pasivní elektrické vlastnosti tkání
- c účinky elektrického proudu
- d využití elektrického proudu v medicíně
  - stejnosměrný
  - střídavý o nízké frekvenci
  - střídavý o střední frekvenci
  - střídavý o vysoké frekvenci
- e úrazy elektrickým proudem
- f aktivní vlastnosti vzrušivých tkání

### 2. Ionizující záření a jeho využití v medicíně

- a. Charakteristika ionizujícího záření
- b. Druhy radioaktivní přeměny
- c. Biologické účinky ionizujícího záření
- d. Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření
- e. Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii
- f. Ochrana před ionizujícím zářením
- g. Využití ionizujícího záření v medicíně

### 3. Zobrazovací technika používaná v medicíně – principy fungování

- a. ultrazvuk
- b. CT
- c. gama kamera
- d. PET
- e. MR

### 4. Účinky fyzikálních faktorů na organismus

- a. odstředivá síla a její využití v medicíně
- b. působení podtlaku a přetlaku na organismus
- c. optické záření a organismus
- d. teplo a organismus

### 5. Přístrojová technika používaná v medicíně – principy fungování

- a. odstředivky
- b. termostaty
- c. audiometrie
- d. přístroje využívající optické metody
- e. lasery

## 1. Elektrický proud a jeho využití v medicíně



### Cíle studia tématu

Cílem je objasnit studentům principy vzniku elektrického proudu, aktivní a pasivní vlastnosti organismu, pohyb elektrického proudu v organismu a využití elektrického proudu v medicíně



### Klíčové pojmy

Elektrický proud (vznik elektrického proudu, rozdělení elektrického proudu, vlastnosti elektrického proudu)

Aktivní elektrické vlastnosti organismu (činnost vzrušivých tkání)

Pasivní elektrické vlastnosti organismu (možnosti vstupu a pohybu elektrického proudu v organismu)

Úrazy elektrickým proudem (primární a sekundární účinky)

Využití elektrického proudu v medicíně (využití stejnosměrného, střídavého nízkého, středně a vysokofrekvenčního proudu)



## Anotace a základní pojmy

Cílem je podat obecnou charakteristiku elektrického proudu v různých prostředích (plyn, kapalina, pevná látka)

Ukázat na pojmy vodič, polovodič, izolant

Vysvětlit pasivní a aktivní vlastnosti organismu

Vysvětlit využití elektrického proudu v diagnostice i terapii

Vysvětlit aktivní elektrické vlastnosti vzrušivých tkání

Ukázat na možnosti úrazů elektrickým proudem

### Elektrický proud

#### Obecná charakteristika

**Elektrický proud** je usměrněný pohyb volných elektricky nabitých částic - elektronů anebo iontů.

Látky, ve kterých existují volné pohyblivé částice s nábojem, se nazývají **vodiče**. Nejvíce používanými vodiči jsou **kovy** (vodiče 1. řádu), ve kterých se mohou volně pohybovat elektrony uvolněné z elektronových obalů atomů.

V jiném typu vodičů - **elektrolytech** (vodiče 2. řádu), se mohou pohybovat ionty, kladně i záporně nabitě částice (kationy a aniony), vzniklé elektrolytickou disociací elektricky neutrálních molekul.

Je-li tok elektricky nabitých částic vodičem neměnný (tj. je-li konstantní co do velikosti a směru), říkáme, že vodičem prochází **stejnoseměrný** elektrický proud.

Proud, při němž se směr pohybu částic s nábojem periodicky mění, nazýváme střídavým proudem. **Střídavý** proud prochází např. elektrickým obvodem připojeným k elektrické síti. V tomto případě se proud s časem mění podle funkce sinus a takové proudy označujeme jako proudy harmonické. Charakterizuje ho nejen největší hodnota proudu v průběhu periody (amplituda proudu), ale také počet period za sekundu, tedy frekvence střídavého proudu. Jednotkou frekvence je hertz - Hz. V medicíně se setkáváme s různými druhy střídavého proudu. Kromě již uvedeného harmonického proudu, jehož závislost na čase má sinusový průběh, se používá také střídavý proud s obdélníkovým průběhem, nebo se velikost a směr proudu může měnit zcela nahodile.

Kromě vodičů rozdělujeme látky podle elektrické vodivosti a její závislosti na teplotě ještě na izolanty a polovodiče. **Izolanty** jsou látky, které neobsahují volné částice s nábojem, obsahují pouze neutrální atomy a molekuly a proto nevedou elektrický proud. Izolantem proto obalujeme vodiče, aby nedošlo k úrazům elektrickým proudem. **Polovodiče** jsou látky, které se za normálních teplot chovají jako izolanty, jejich měrný odpor je vysoký. Se vzrůstem teploty hodnota měrného odporu klesá a polovodiče se začínají chovat jako vodiče, vedou elektrický proud.

Elektrický proud se do organismu může dostat ze zevních zdrojů, nebo vzniká v lidském organismu jako výsledek dějů na membránách buněk vzrušivých tkání a orgánů. Proto se elektrické vlastnosti tkání a orgánů člověka studují ze dvou aspektů. Na jedné straně jsou to tzv. pasivní elektrické vlastnosti, tj. chování orgánů a tkání v elektrickém poli, na druhé straně se sledují elektrické jevy, které vznikají např. při činnosti srdce, mozku apod., tj. aktivní elektrické vlastnosti.

#### Pasivní vlastnosti

Nehomogenní prostředí tkání lidského těla je komplikovaným vodičem elektrického proudu. Elektrický proud při průchodu tkáněmi prochází prostředím různého chemického

složení a struktury: mezibuněčným prostředím, buněčnými membránami, cytoplazmou buněk apod.. Každé z těchto prostředí je charakterizováno určitou měrnou vodivostí. Zatímco měrná vodivost mezibuněčného prostředí i cytoplazmy je téměř stejná, je měrná vodivost buněčných membrán nesrovnatelně nižší. Řada molekul v lidském organismu má také vlastnosti elektrických dipólů, molekuly jsou z hlediska rozložení elektrického náboje nesouměrné. Působením vnějšího elektrického pole mění svoji orientaci a zauímají polohu ve směru siločar, což lze přirovnat k polarizaci molekul dielektrika v elektrickém poli. Stejnosemřný i střídavý elektrický proud se dostávají do organismu cestou nejmenšího odporu, tj. vlasovými folikuly nebo vývody potních žláz. Pohyb v organismu mají ale oba proudy rozdílný.

### **Stejnosemřný proud**

Průchodu stejnosemřného elektrického proudu tkání organismu kladou odpor zejména buněčné membrány, kterými prochází jen asi 2 % až 3 % celkového proudu. Nepropouštějí jej také vazivové blány a tuková tkáň. Lepšími vodiči jsou mezibuněčné tekutiny a prostředí ve kterém jsou elektrolyty. Stejnosemřný proud proto nejlépe vede krev, mozkomíšni mok a svaly.

### **Nízkofrekvenční střídavý proud**

Měrná vodivost buněčných membrán je významně nižší než měrná vodivost mezibuněčného prostředí a cytoplazmy buněk. Ukázalo se, že odpor buněčných membrán klesá se vzrůstající frekvencí střídavého proudu. Když mluvíme o odporu buněčných membrán vůči střídavému proudu, mluvíme o tzv. **impedanci membrány**, která má dvě složky:

1. rezistanci (odpovídá odporu v obvodu stejnosemřného proudu), jejíž velikost na frekvenci střídavého proudu nezávisí,
2. kapacitanci (tzn., že membrána se chová jako kondensátor), která se s rostoucí frekvencí zmenšuje.

Většina buněk v lidském těle má charakter dielektrika. V něm nejsou náboje volně pohyblivé, jsou vázány na atomy a molekuly. Dipólové molekuly jsou neuspořádané a vzhledem k jejich různé orientaci se účinek jejich elektrického náboje navenek ruší. Působením vnějšího elektrického pole se dipóly orientují, dochází k polarizaci dielektrika. Vzniká vnitřní elektrické pole opačné polarity než pole vnější. Pohybem elektrických nábojů v dielektriku vzniká proud posuvný. Právě nízkofrekvenční střídavý elektrický proud je veden převážně jako proud posuvný.

### **Vysokofrekvenční střídavý proud**

S rostoucí frekvencí elektrického proudu se snižuje kapacitní složka odporu buněčných membrán. Proto se uplatňuje také přechod přes buněčné membrány a vysokofrekvenční proud tak může procházet i cytoplazmou.

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.

### **Účinky elektrického proudu**

Účinky proudů mohou být obecně dráždivé, tepelné a elektrolytické.

### **Stejnosemřný proud**

Dráždivý účinek se u stejnosemřných elektrických proudů projeví pouze při zapnutí nebo vypnutí, nebo při zesílení a zeslabení proudu. Tepelný účinek stejnosemřného proudu je zanedbatelný. Uplatňuje se jenom při velkých proudech. Při průchodu stejnosemřného proudu organismem se uplatňují nejvíce **elektrolytické účinky**.

### **Nízkofrekvenční střídavý proud**

Účinky střídavého elektrického proudu na organismus závisí na jeho frekvenci. U nízkých frekvencí (asi do 100 Hz) se **dráždivý účinek** proudu zvyšuje s rostoucí frekvencí. Tepelný a elektrolytický účinek je zanedbatelný.

#### **Vysokofrekvenční střídavý proud**

S rostoucí frekvencí dráždivý účinek klesá a kolem 10 000 Hz se přestává projevovat. Střídavý proud o frekvenci vyšší než 100 000 Hz již nemá žádné dráždivé účinky a ani účinky elektrolytické. Účinky vysokofrekvenčních proudů jsou jenom **tepelné**.

#### **Využití elektrického proudu v medicíně**

##### **Stejnoseměrný proud**

**Galvanoterapie**

**Iontoforéza**

**Elektroforéza**

##### **Diadynamické proudy**

Mají **dvě složky**, galvanickou a na ní nasedající impulzivní, která je odvozená od síťového harmonického proudu s frekvencí 50 Hz.

##### **Střídavý proud o nízké frekvenci**

**Dráždivost** je obecnou vlastností všech živých organismů. K podráždění elektrickým proudem dochází až při dosažení tzv. prahové velikosti proudu, působícího po určitou dobu. Se snižováním protékajícího proudu narůstá doba, po kterou musí proud působit, aby došlo k vyvolání podráždění a ke vzruchu. Se snižováním použitého proudu může nastat moment, kdy ani sebedelší působení nevyvolá podráždění.

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

##### **Vyšetřování motorických nervů a svalů**

**Defibrilátor**

**Kardiostimulátor**

**Elektrošok**

**Neurostimulátor**

##### **Střídavý proud středních frekvencí (několik kHz)**

**Interferenční proudy**

**Trábertův proud**

**Transkutánní elektrické neurostimulace**

##### **Vysokofrekvenční proud a elektromagnetické vlnění**

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

**Krátkovlnná diatermie**

**Ultrakrátkovlnná diatermie**

**Mikrovlnová terapie**

##### **Jiné využití vysokofrekvenčních proudů**

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

## Úrazy elektrickým proudem

Významnou roli hraje typ proudu (stejnoseměrný, střídavý), jeho intenzita a napětí, dále odpor tkáně, kterou proud vstupuje do organismu a cesta, kterou proud v organismu postupuje. Bezpečná hodnota stejnosměrného proudu je do 25 mA, u nízkofrekvenčního střídavého proudu (při frekvenci 50 Hz) do 10 mA.

Stejnoseměrný proud o intenzitě menší než 80 mA nebo střídavý proud o intenzitě menší než 25 mA neovlivňují aktivitu srdečního svalu, u některých jedinců mohou slabě podráždit dýchací svaly.

Pokud působí stejnosměrný proud o intenzitě 80 - 300 mA anebo střídavý proud o intenzitě 25 - 80 mA déle než 30 sekund, hrozí nebezpečí navození arytmie až fibrilace myokardu.

Pokud působí stejnosměrný proud o intenzitě 300 mA - 3 A anebo střídavý proud o intenzitě 80 mA - 1 A déle než 0,3 s, dochází k fibrilaci srdečních komor a člověk je tak v bezprostředním ohrožení života. Nedojde-li rychle k účinné resuscitaci, dochází k ireverzibilnímu poškození mozku.

Proudy (stejnoseměrný, střídavý) o intenzitě větší než 3 A vyvolávají okamžitou zástavu srdeční činnosti a blokádu dýchacího centra v prodloužené míše. Postižený umírá při současných intenzivních křečích kosterního a dýchacího svalstva. Trvá-li průchod proudu delší dobu, dochází k popálení kůže II. a III. stupně na místě vstupu a výstupu elektrického proudu, případně v okolí tkáně, kterou proud prochází.

Při zásahu bleskem je statický náboj akumulovaný v mraku vybit k zemi ve formě blesku (proud i více než 100 000 A) je bezprostřední příčinou smrti kardiopulmonální zástava.

Po zasažení elektrickým proudem má význam na charakter poškození i **cesta průchodu**.

### Sekundární příznaky úrazů elektrickým proudem

Protékající elektrický proud může vyvolat i sekundární patologické změny. Při silném elektrickém podráždění svalové tkáně se uvolňuje velké množství myoglobinu, který ucpáním tubulů vyvolá stav, nazývaný se **anurie z myoglobinurie**, který může být příčinou smrti. V důsledku rozsáhlého poškození tkáně je rovněž zvýšena koncentrace draslíku v krevní plazmě (hyperkalémie), která je anurií zvyšována.

## Aktivní vlastnosti

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 apod. Řada těchto elektrických jevů je pro probíhající procesy charakteristická, avšak při onemocnění organismu se mění. Jejich sledování má proto význam ve výzkumu nebo v diagnostice. Protože jsou to jevy velmi krátkodobé, potřebujeme k jejich sledování registrační soupravu, která musí obsahovat minimálně:

1. čidlo (elektrody),
2. elektronické zařízení, které sledovanou veličinu vhodně upraví (zesilovač),
3. indikační a registrační zařízení.

Prvním článkem měření elektrických projevů organismu jsou **čidla** neboli **snímače**, tj. elektrody zprostředkující kontakt mezi tkání a měřicím přístrojem.

Podle místa, z něhož bioelektrické potenciály snímáme, rozlišujeme povrchové elektrody nebo elektrody pro snímání přímo z tkání. 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 signálu přímo z tkání se nejčastěji do tkání zavádějí přímo (tzv. elektrody vpichové). Musí být sterilizovány a musí být z materiálu, který nedráždí tkáň. U vpichových elektrod je 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 mikrometry, naplněnými třimolárním roztokem KCl, do kterého je ponořena stříbrochloridová elektroda.

Podmínkou dalšího zpracování bioelektrických signálů je jejich nezkreslené zesílení. Velikosti bioelektrických potenciálů měřených z povrchu těla jsou totiž řádově od  $10^{-6}$  V (EEG) do  $10^{-2}$  V (EMG). Dalším článkem měřicího řetězce jsou proto **zesilovače**, speciálně konstruované pro různé druhy měřených signálů. Zesilovače pro elektrokardiografii a elektroencefalografii (elektrické projevy srdce a mozku) sestávají obvykle ze dvou částí, ze **zesilovače napětí** a **zesilovače výkonu**. První z nich má za úkol zesílit malá napětí přivedená na vstup, druhý pak získat 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.

**Zpracování zesíleného signálu** se již neliší od obvyklých zpracování signálů různých technických měření. Nejčastěji se sledovaný signál zobrazuje na obrazovce osciloskopu, nebo se zapisuje na registračního papír. Stále více roste význam počítačů pro přímé a dodatečné vyhodnocování bioelektrických signálů. Mechanický zápis pomocí pisátka se stal standardní grafickou metodou v elektroencefalografii a elektrokardiografii.



### Příklady

Popsat záznam EKG - aktivní vlastnosti elektrického proudu  
Popsat pojmy chronaxie a reobáze



### Úkoly k zamyšlení a k diskusi

Úkolem je pomocí učebnice „Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů“ pochopit vznik elektrického proudu a jeho pohyb v organismu a také jeho možnosti v medicíně, najít příklady využití elektrického proudu na svém pracovišti

Student by měl v průběhu přípravy najít na svém pracovišti několik příkladů využití elektrického proudu pro účely diagnostiky a terapie a měl by pochopit princip fungování zařízení, které používá elektrický proud



### Kontrolní otázky

Co jde to elektrický proud?  
Jaké jsou účinky stejnosměrného a střídavého elektrického proudu?  
Kde používáme stejnosměrný elektrický proud?  
Kde používáme nízkofrekvenční elektrický proud?  
Kde používáme středně frekvenční elektrický proud?  
Kde používáme vysokofrekvenční elektrický proud?

## Literatura

Rosina, J., Kolářová, H., Stanek, J: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů  
Grada Publishing, a.s. 2006, ISBN 80 – 247 – 1383 – 7

## 2. Ionizující záření a jeho využití v medicíně

### Cíle studia tématu

Cílem studia tématu je vysvětlit studentům vznik ionizujícího záření, biologický účinek záření, ochranu před ionizujícím zářením, detekci ionizujícího záření, využití ionizujícího záření v medicíně.

### Klíčové pojmy

Radioaktivita  
Jednotky v radioaktivitě  
Biologický účinek  
Ochrana před zářením  
Léčba ionizujícím zářením

### Anotace a základní pojmy

#### **Ionizující záření**

Charakteristika ionizujícího záření  
Jednotky v radioaktivitě  
Druhy radioaktivní přeměny  
Biologické účinky ionizujícího záření  
Radiosenzitivita  
Ochrana před vnějším ozářením  
Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření  
Život buňky zasažené radioaktivitou  
Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii  
Využití ionizujícího záření v medicíně - diagnostika  
Radioterapie

#### **Charakteristika ionizujícího záření**

Atomy, jejichž jádra mají **nadbytek energie**, nejsou v čase stabilní a samovolně se přeměňují na jádra jiná, nazýváme **radioaktivními**. Cílem radioaktivní přeměny jádra je snížit energii a tím získat stabilitu. Přeměna je provázena emisí částice, kvanta elektromagnetického záření nebo zachycením elektronu z elektronového obalu. Radioaktivní přeměnou uvolněné hmotné částice nebo fotony elektromagnetického záření mají schopnost při interakci s prostředím vyvolávat ionizaci nebo excitaci atomů absorbujícího prostředí.



**Zdroje ionizujícího záření** jsou **přírozené** nebo umělé. Největší část radioaktivity, které jsme vystaveni, pochází z přírodních zdrojů: z vesmíru, skal, půdy, vody a dokonce i z našich vlastních těl. To vše tvoří tzv. **přírozenou radioaktivitu**, **tzv. přírodní pozadí**. Úroveň přírodní radioaktivity závisí na konkrétních místních podmínkách, ale během času se příliš nemění a zůstává zhruba stejná. Největší složkou přírodní radioaktivity je plyn radon, který vzniká rozpadem radioaktivních prvků v podzemí a jako plyn proniká na povrch. (polem) na vysoké energie.

### **Jednotky v radioaktivitě**

Jádra radioaktivních atomů se v čase mění na jádra jiná a přitom vyzařují ionizující záření. **Aktivita** měří počet těchto přeměn za sekundu. Pokud čas měříme v sekundách, je přírozenou jednotkou radioaktivity 1 přeměna za 1 sekundu. Tato jednotka byla nazvána Becquerel (Bq). Čím větší je radioaktivita vzorku dané látky, tím více jader za sekundu se nám přeměňuje a tím intenzivnější záření látka do svého okolí vysílá.

Ionizující záření se pohybuje na své dráze s určitou energií. Pokud toto záření dopadá na člověka, můžeme vypočítat energii, která člověka zasáhla - tzv. absorbovanou dávku. Jednotka **dávky** byla nazvána Grey (Gy). Je to energie (v joulech) absorbovaná jedním kilogramem hmotnosti terče (např. člověka).

Měření absorbované energie neobsahuje biologický účinek různých druhů ionizujícího záření. Dnes však již víme, že při vnitřní kontaminaci je mnohem nebezpečnější záření alfa než beta nebo gama. Biologický účinek různých druhů ionizujícího záření bere v úvahu **dávkový ekvivalent**. Jednotkou je sievert (Sv). Je to vlastně absorbovaná dávka násobená bezrozměrným „jakostním“ faktorem, který bere v úvahu, zda se jedná o záření alfa, beta či gama, kolik záření skutečně terč zasáhlo a kolik hmotnosti ho absorbovalo.

### **Druhy radioaktivní přeměny**

**Částice  $\alpha$**  je tvořena dvěma protony a dvěma neutrony. Protože částice alfa nesou dva elektrické náboje, při průchodu prostředím **silně ionizují i excitují** a velmi rychle ztrácejí svoji energii. Dosah záření alfa je proto značně omezen. Ve vzduchu činí jenom několik milimetrů, ve vodě jenom zlomky milimetrů. Při dopadu na kůži se záření  $\alpha$  absorbuje již v horních vrstvách epidermis (dolet částice  $\alpha$  v tkáni jsou mikrometry). Z tohoto důvodu není záření  $\alpha$  při vnějším ozáření (snad s výjimkou oka) nebezpečné. Při vnitřní kontaminaci se však energie částic  $\alpha$  absorbuje ve velmi malém objemu tkáně a proto působí biologicky velmi negativně. K ochraně před vnějším ozářením stačí oděv, papír, tenká fólie z plexiskla apod.

**Záření  $\beta$**  je tvořeno rychle letícími elektrony ( $\beta^-$ ) nebo pozitrony ( $\beta^+$ ). Vzniká při přeměně mnoha přírodních i uměle připravených radionuklidů. Hodnoty energií  $\beta$  záření činí řádově desítky keV až jednotky MeV. V porovnání se zářením  $\alpha$  jsou částice  $\beta$  mnohem lehčí, pohybují se proto při stejné energii podstatně rychleji (řádově  $10^8$  m/s) a při průchodu prostředím daleko **méně ionizují a excitují**. S tím souvisí i výrazně větší dosah záření beta - ve vzduchu činí až několik metrů, ve vodě jednotky až desítky milimetrů a u těžších materiálů desítky až jednotky milimetrů. U běžných zářičů  $\beta$  je jejich dolet v měkké tkáni řádově milimetry až centimetry. Ochrana před zářením beta spočívá v omezení tvorby brzdného rentgenového záření. Ke stínění nepoužíváme těžké materiály, protože s rostoucím protonovým číslem prvku, který je obsažen v ochranném materiálu roste i pravděpodobnost zabrzdění letících elektronů, a to působením atomů brzdící látky a vzniká velké množství pronikavého brzdného rentgenového záření.

**Záření  $\gamma$**  je **elektromagnetické vlnění** s velmi krátkou vlnovou délkou ( $10^{-13}$  -  $10^{-16}$  m).

Vzniká při radioaktivním rozpadu řady radionuklidů, často současně se zářením  $\beta$  nebo  $\alpha$ . Energie fotonů záření  $\gamma$  činí řádově desítky keV až jednotky MeV. Všechny typy elektromagnetického vlnění (tedy i záření  $\gamma$ ) se pohybují rychlostí světla, tj.  $3 \cdot 10^8$  m/s. Při průchodu prostředím narážejí fotony do atomů tohoto prostředí, vyrážejí z nich elektrony a předávají jim energii dostatečnou k tomu, aby byly elektrony schopny ionizovat okolní prostředí. Jedná se tedy o nepřímo ionizující záření. Dosah  $\gamma$  záření je ve vzduchu řádově několik set metrů a v kompaktních materiálech jako např. zemina, hornina, beton je řádově několik centimetrů až desítek centimetrů. Jeho **ionizační účinky** jsou **poměrně nízké**. Nelze jej elektricky ani magneticky vychylovat, protože nenesé náboj.

**Rentgenové záření (RTG)** je **elektromagnetické vlnění** s velmi krátkou vlnovou délkou (v rozmezí  $10^{-10}$  m až  $10^{-12}$  m). Nevzniká v jádře (jako je tomu u záření  $\gamma$ ), ale vzniká v elektronovém obalu interakcí letících elektronů s hmotou. Zdrojem RTG záření v medicíně jsou rentgenky. Dnes se v medicíně používají tzv. Coolidgeovy rentgenky. Napětím mezi katodou a anodou lze ovlivnit pohybovou energii elektronů a tím i vlnovou délku vznikajícího rentgenového záření. Čím je napětí větší, tím má rentgenové záření kratší vlnovou délku.

### **Biologické účinky ionizujícího záření**

Při průchodu záření živou hmotou dochází k absorpci záření podobným způsobem jako při jeho průchodu neživým prostředím, převážně mechanismem ionizace a excitace molekul prostředí. Dávky záření, představující z fyzikálního hlediska malé energie, však mají na organismus velice zhooubné účinky.

### **Radiosenzitivita**

Citlivost organismu na záření je ovlivněna celkovým stavem organismu. Podle stupně radiosenzitivity můžeme tkáň a orgány seřadit takto:

1. Nejvyšší radiosenzitivita - lymfatická tkáň, kostní dřeň, pohlavní žlázy, střevo
2. Kůže a epitel, hltan, jícen, žaludek, močový měchýř, oční čočka
3. Malé cévy, rostoucí chrupavka a kost
4. Vyspělá kost a chrupavka, dýchací orgány, játra, pankreas, endokrinní žlázy
5. Nejnižší radiosenzitivita - nervová a svalová tkáň

### **Ochrana před vnějším ozářením**

1. **Fyzikální** (vzdálenost, čas, stínění).
  2. **Biologickou**. Vzniká podáváním látek zvyšujících radiorezistenci - bílkovin, hormonů, vitaminů apod.
  3. **Chemickou**. Označujeme tak podávání radioprotektiv.
- Kromě rizika **vnějšního ozářením** je také velké riziko **vnitřního ozářením** při vniknutí radioaktivních látek do organismu při dýchání (**inhalaci**), trávicím traktem (**ingesci**) nebo i při **poranění**.

### **Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření**

Ochrana před zářením spočívá v ochraně jednotlivců, jejich potomků a lidstva jako celku. Škodlivé účinky, proti kterým je ochrana zaměřena, jsou somatické nebo dědičné (oba nazýváme taky **stochastickými**). Účinky záření, které se projeví přímo na jedinci, který byl ozářen, se nazývají somatické. Jestliže účinky záření postihnou potomky ozářeného jedince, nazývají se dědičné.

Stochastické účinky jsou takové, pro něž pravděpodobnost že účinek nastane, je považována za **bezprahovou funkci dávky**. Je zřejmé, že i minimální dávka záření je schopna vyvolat

patologické změny v organizmu. **Vznik nádoru** považujeme za hlavní **somatické riziko** při ozáření jedince nízkými dávkami a proto je to hlavní problém ochrany před zářením. Všeobecně můžeme říct, že i minimální dávka záření může vyvolat vznik nádorového onemocnění. Čím vyšší je dávka záření, tím větší je pravděpodobnost, že u ozářeného jedince dojde ke vzniku nádorového onemocnění, nebo k poškození **genetické výbavy**.

Mezi **deterministické účinky** radíme např. **akutní nemoc z ozáření**, která je způsobena biologickým účinkem ionizujícího záření na organizmus. Vzniká obvykle po jednorázovém velkém zevním ozáření. Je nutno zdůraznit, že dávka záření musí mít určitou velikost, jinak se nestochastické účinky nevyskytnou.

**Život buňky zasažené radioaktivitou se může vyvíjet třemi směry:**

1. Buňka poškození opraví a bude žít dál.
2. Buňka zahyne na následky rozsáhlých poškození.
3. Buňka přežije, ale neopraví všechna poškození.

**Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii**

Nejstarším principem detekce ionizujícího záření je **zčernání fotografické emulze**.

**Prstový dozimetr** je založen na **principu termoluminiscence**.

**Plynové detektory** detekují ionizující záření na základě jeho ionizačního účinku (**ionizační komůrka, Geiger - Müllerova trubice**)

**Scintilační detektor** detekují ionizující záření na základě jeho excitačního účinku

**Využití ionizujícího záření v medicíně - diagnostika**

Nukleární medicína

Radiologie

**Radioterapie**

Předpokladem radioterapeutického využití ionizujícího záření jsou jeho **letální účinky na buňky orgánů a tkání**, tj. schopnost vyvolat jejich zánik, spolu se skutečností, že citlivost různých buněk ke smrtelnému působení záření se ve velkém rozsahu mění. Obecně platí, jak je uvedeno níže, že buňky jsou vůči záření tím citlivější, čím vyšší je jejich proliferační (mitotická) aktivita a čím nižší je stupeň jejich diferenciací. Proto právě zhoubné nádory (zvláště rychle rostoucí, s vysokou mitotickou aktivitou a nediferencované) bývají velice citlivé vůči radioaktivnímu záření. Bylo prokázáno, že **rozhodující strukturou**, jakýmsi terčem radiačního působení na buňku, je **jaderná deoxyribonukleová kyselina (DNA)**.



**Příklady**

Vysvětlit možnosti RTG záření v terapii a diagnostice

Vysvětlit možnosti záření gama v terapii i diagnostice

Stochastické účinky (somatické a genetické)

Deterministické účinky



**Úkoly k zamyšlení a k diskuzi**

Úkolem je pomocí učebnice „Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů“ pochopit vznik ionizujícího záření, jeho detekci, využití v medicíně a ochranu před jeho škodlivými účinky, najít možnosti využití ionizujícího záření ve svém okolí

Student by měl v průběhu přípravy uvažovat o možnostech ochrany před různými typy ionizujícího záření, o možnostech detekce ionizujícího záření, měl by vědět najít několik zobrazovacích metod, které využívají ionizující záření a pochopit účinek ionizujícího záření na tkáň organismu.



### Kontrolní otázky

Typy ionizující záření?  
Ochrana před ionizujícím zářením?  
Detekce ionizujícího záření?  
Využití ionizujícího záření v diagnostice?  
Využití ionizujícího záření v terapii?



### Literatura

Rosina, J., Kolářová, H., Stanek, J: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů  
Grada Publishing, a.s. 2006, ISBN 80 – 247 – 1383 – 7

## 3. Zobrazovací technika používaná v medicíně – principy fungování



### Cíle studia tématu

Cílem je objasnit studentům principy fungování různých typů zobrazovacích metod používaných v medicíně



### Klíčové pojmy

Ultrazvuk – vznik, dopplerovské metody  
CT - vznik obrazu  
Gama kamera – vznik obrazu  
Tomografická scintigrafie – vznik obrazu  
MR – vznik obrazu



### Anotace a základní pojmy

#### Ultrazvuk (UZ)

Zvukové vlny s frekvencí **nad 20 000 Hz** označujeme jako **ultrazvuk**. **Absorpce ultrazvuku je v plynech značná**, mnohem větší než v kapalinách a v kovech.

Pro zobrazovací metody důležitou vlastností ultrazvukového vlnění je, že se **odráží, láme a ohýbá na rozhraní dvou prostředí** s různými akustickými vlastnostmi (akustickou impedancí). Velikost **akustické impedance** je dána součinem rychlosti šíření ultrazvuku a hustoty prostředí, kterým se ultrazvuk pohybuje. Je proto nutné před vyšetřením nanést na povrch těla v místech pohybu ultrazvukové sondy **gel**, tím se **zajistí impedanční přizpůsobení** a bezetrátový průnik ultrazvuku do tkání. Ze stejného důvodu je obtížné zobrazovat tkáň s vysokým obsahem vzduchu (plíce) nebo struktury kryté kostí. U kosti, díky jiným akustickým vlastnostem, kromě velkého odrazu na povrchu, dochází i ke

značnému pohlcování ultrazvuku, energie ultrazvuku se mění v teplo a efekt se projeví jako tzv. periostální bolest. Proto je největší pozornost věnována možnosti **tepelného poškození vyšetřované tkáně**. Rizikovým faktorem je i **ultrazvuková kavitace** (vznik dutinek), avšak při standardních vyšetřeních je její vznik málo pravděpodobný. I v homogenním prostředí se však ultrazvuk částečně absorbuje. Platí, že **velikost absorpce je přímo úměrná frekvenci**. To znamená, že s rostoucí frekvencí ultrazvuku roste jeho absorpce a klesá jeho pronikavost. Toto zjištění má význam pro volbu vhodné frekvence ultrazvuku při zobrazování hlouběji uložených struktur. S rostoucí frekvencí ultrazvuku se sice zlepšuje kvalita rozlišení detailů, ale klesá jeho pronikavost a opačně. Proto méně hluboko uložené struktury jsou zobrazovány s větším rozlišením použitím vyšší frekvence a naopak pro pozorování hluboko uložených struktur je využívána nižší frekvence na úkor ztráty rozlišení detailů.

### **Výroba ultrazvuku**

**Mechanické generátory** (velmi malé ladičky, malé píšťalky) - dosahují frekvence až 40kHz. Zejména ve stomatologii využíváme pro výrobu UZ **magnetostrikční generátory**.

Pro medicínské využití se nejčastěji získává ultrazvuk metodou, která je založena na tom, že destičky vyříznuté z krystalu křemene se při stlačení na povrchu elektrizují (takýto jev se nazývá piezoelektrický). Jestliže naopak povrch takové destičky periodicky nabíjíme, destička se pod vlivem elektrických nábojů střídavě smršťuje a rozpíná, tj. kmitá. Vznikají ultrazvukové kmity o vysokých frekvencích, nejčastěji v rozsahu 1 - 20 MHz.

### **Obecný princip sonografie**

Sonografie je založena na různém odrazu ultrazvuku od různých tkání. V lékařské ultrazvukové diagnostice jednoznačně dominují zobrazovací systémy, které spojují výhody ultrazvukové tomografie (ultrazvuková tomografie je vlastně dvojrozměrným zobrazením akustických rozhraní, od nichž se odráží ultrazvukové vlnění), s dopplerovským měřením parametrů toku krve.

Sonografický přístroj se sestává ze dvou hlavních částí, a to piezoelektrického krystalu, který vyrábí a následně vysílá ultrazvukové vlnění a který také ultrazvukové vlnění, odražené od vyšetřované tkáně přijímá a převádí zpět na elektrický signál, a počítače, který zmiňovaný elektrický signál zpracovává a předkládá nám ho v obrazovém, případně i zvukovém provedení. V praxi se té součásti přístroje, v níž je umístěn měnič říká sonda a tuto sondu lékař přikládá na povrch těla pacienta. Výsledné zobrazení potom pozoruje na obrazovce, případně poslouchá upravený zvuk z reproduktoru.

Protože ultrazvuk se dobře šíří v prostředí obsahujícím tekutinu a velmi špatně pokud se setkává se vzdušným nebo pevným prostředím, vyslaný ultrazvukové **vlnění tekutým prostředím projde**, proto ho nevidíme a **tato část se jeví na obrazovce jako černá, od plynu či pevné látky se odrazí** a na obrazovce ho vidíme jako **bílý**.

### **Ultrazvuk v gynekologii**

### **Ultrazvuk v kardiologii**

### **Dopplerovské metody**

Dopplerův jev platí pro všechny druhy vlnění, jak mechanické tak elektromagnetické. Je to jeden z mnoha pilířů moderní fyziky. Dopplerovské metody využíváme v případě, že se rozhraní dvou prostředí s různými akustickými vlastnostmi bude pohybovat směrem od sondy či směrem k sondě. V takovém případě dojde k tomu, že frekvence odražené ultrazvukové vlny se liší od frekvence ultrazvukové vlny vysílané ze zdroje. Takto vzniklý frekvenční posun je důsledkem **Dopplerova jevu**, na jehož základě můžeme za předpokladu, že rychlost ultrazvuku je výrazně vyšší ve srovnání s rychlostí pohybu rozhraní, odvodit jeho

velikost. Tohoto jevu je nejčastěji využíváno pro měření rychlosti toku krve, kdy pohybující se rozhraní je tvořeno krevními elementy.

### **Dopplerovská metoda mapování průtoku barvou**

Rychlosti toku krve v cévě směrem k sondě jsou přiřazeny nejčastěji odstíny červené barvy, charakterizující různé rychlosti laminárního toku, naopak odstíny modré vyjadřují různé rychlosti proudění v případě toku ve směru od sondy, kdy dopplerovský posuv je záporný. V případě, že krev proudí turbulentně, nelze směr proudění určit a situace je znázorněna zelenou barvou.

### **Rentgenová počítačová tomografie**

Jde o matematickou rekonstrukci obrazu z řady rentgenových snímků získaných postupně z různých úhlů. Velkou výhodou počítačové tomografie je skutečnost, že umožňuje zobrazit a rozlišit málo kontrastní měkké tkáně.

Pacient je fixován na posuvném lůžku, které postupně prochází snímacím (skenovacím) stojanem, v němž je na jedné straně štěrbinový zdroj rentgenového záření (rentgenka), na opačné straně řada scintilačních detektorů ionizujícího záření. Zdroj rentgenového záření a scintilační detektory jsou pevně spojeny. Úzký svazek záření prochází tělem pacienta, kde se částečně absorbuje. Míra zeslabení rentgenového záření je přímo úměrná absorpčním vlastnostem tkání a stanovuje se pomocí scintilačních detektorů. Potom se systém rentgenka - scintilační detektory pootočí o určitý úhel a celý děj se opakuje. Všechny údaje jsou v počítači zpracovány a výsledný tomogram je dán hodnotami absorpčních koeficientů z jednotlivých míst tkání daného řezu. Absorpční vlastnosti různých tkání lidského těla se vyjadřují relativně v tzv. **CT - číslech**. Pro vzduch má CT číslo hodnotu - 1 000, pro kostní tkáň + 1 000.

### **Scintilační kamera**

Scintilační kamera je zařízení, které detekuje distribuci fotonů záření  $\gamma$  z celého zorného pole, převádí je na elektrické impulsy a pomocí nich pak na displeji vytváří scintigrafický obraz distribuce radiofarmaka v tomto zorném poli.

### **Tomografická scintigrafie**

Každý živý organizmus je objekt trojrozměrný a stejný charakter má tedy i distribuce radiofarmaka. Nejčastější metodou tomografické scintigrafie je tzv. jednofotonová emisní počítačová tomografie SPECT.

### **Jednofotonová emisní počítačová tomografie - SPECT**

Tomografická kamera SPECT se svou konstrukcí od běžné planární kamery liší jen tím, že stojan na němž je detektor kamery upevněn, tzv. **gantry**, umožňuje motoricky poháněnou rotaci detektoru kolem vyšetřovaného objektu. Vlastní tomografická scintigrafie SPECT pak spočívá v tom, že kamera obíhá postupně kolem vyšetřovaného objektu a pod řadou různých úhlů snímá (planární) scintigrafické obrazy vyšetřovaného objektu pod úhly  $0^\circ$ - $360^\circ$ . Z této série planárních scintigrafických obrazů snímaných pod různými úhly (jsou to tedy rovinné projekce distribuce radioindikátoru do různých úhlů) se pak počítačově rekonstruuje obraz distribuce radioaktivity v myšleném příčném řezu vedeném vyšetřovaným objektem.

### **Pozitronová emisní tomografie - PET**

Při ní je pacientovi aplikováno pozitronové  $\beta^+$  radiofarmakon, které v místech své distribuce emituje pozitrony  $e^+$ , které vzápětí **anihilují** s elektrony  $e^-$  za vzniku dvou fotonů  $\gamma$  vylétajících do opačných směrů ( $180^\circ$ ). Tomografického efektu se pak dosahuje současnou koincidenční detekcí těchto dvojic fotonů  $\gamma$ , vylétajících z místa svého vzniku v protilehlých

směrech (pod úhlem  $180^\circ$ ), načež počítačovou rekonstrukcí velkého počtu takových koicidenčních paprsků se opět vytváří tomografický obraz příčného řezu vyšetřovanou oblastí.

Zásadním rozdílem oproti klasické planární nebo SPECT scintigrafii je to, že detektory nejsou opatřeny olověnými kolimátory s mnoha otvory, neboť kolimace je realizována elektronicky, což vede k podstatně vyšší detekční účinnosti PET ve srovnání se SPECT.

## Princip NMR

Mezi technicky nejsložitější vyšetřovací metody patří magnetická rezonance (MR). Principem této metody je počítačové vyhodnocení změn chování různých buněk v lidském těle při působení silného magnetického pole.

Atomové jádro se skládá z nukleonů (protonů a neutronů). Protony neustále rotují kolem své vlastní osy a tento **pohyb** je označován jako **spin**. Každá nabitá částice, která se pohybuje, vytváří ve svém okolí magnetické pole a vykazuje magnetický moment. Protony si lze tedy představit jako miniaturní magnety. Atomová jádra se **sudým nukleonovým číslem** se nechovají ke svému okolí magneticky, protože se jejich magnetické momenty navzájem ruší a nelze je využít pro MR zobrazování. Atomová jádra s **lichým nukleonovým číslem** si svůj magnetický moment zachovávají. Charakteristickým zástupcem této skupiny je atom vodíku  $^1\text{H}$ , který má jeden proton a vykazuje relativně velký magnetický moment. Za normálních okolností je orientace rotačních os protonů (jejich magnetických pólů) ve tkáních nahodilá, magnetické momenty jednotlivých jader se tedy navzájem ruší a tkáň se navenek jeví nemagneticky. Vložíme-li však tkáň do silného magnetického pole, uspořádají se rotační osy protonů rovnoběžně se siločarami vnějšího magnetického pole. Větší počet z nich je v poloze, kdy jejich magnetický moment je orientován souhlasně (paralelně) s vektorem vnějšího magnetického pole a menší počet protonů je orientován opačně (antiparalelně o  $180^\circ$ ). Antiparalelní uspořádání protonů je energeticky náročnější, a proto je v této poloze méně než polovina protonů. Tato „nerovnováha“ způsobí, že tkáň vykazuje celkový magnetický moment a navenek se chová magneticky. Tato vlastnost je základním principem MR. Různé tkáně mají jinou biochemickou strukturu, tedy různé zastoupení protonů a navenek se proto projevují různě velikými magnetickými momenty a dávají tak informaci o svém složení. Protony umístěné v magnetickém poli konají kromě svého původního rotačního pohybu (spin) ještě **pohyb precesní** (po plášti rotačního kužele. Frekvence precesního pohybu, tzv. **Larmorova frekvence**, závisí přímo úměrně na magnetických vlastnostech daného jádra (vyjádřených v tzv. gyromagnetickém poměru) a na intenzitě vnějšího magnetického pole.



### Příklady

Popsat zobrazovací metody, využívané na pracovišti studentů



### Úkoly k zamyšlení a k diskuzi

Úkolem je pomocí učebnice „Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů“ pochopit vznik obrazu základních zobrazovacích metod

Student by měl v průběhu přípravy najít možnosti využití zobrazovacích metod v diagnostice a měl by pochopit princip fungování těchto zařízení



## Kontrolní otázky

Kontrolní otázky

Možnosti využití ultrazvuku?

Možnosti využití CT?

Možnosti využití gama kamery?

Možnosti využití tomografické scintigrafie?

Možnosti využití MR?



## Literatura

Rosina, J., Kolářová, H., Stanek, J: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů

Grada Publishing, a.s. 2006, ISBN 80 – 247 – 1383 – 7

## 4. Účinky fyzikálních faktorů na organizmus



### Cíle studia tématu

Cílem je objasnit studentům principy interakce organismu a různých fyzikálních faktorů (tlak, teplo, světlo, hluk apod.)



### Klíčové pojmy

Odstředivá síla a její využití v medicíně, centrifugy, kosmonauti

Působení podtlaku a přetlaku na organizmus, výstupy do vysokých nadmořských výšek, potápění

Optické záření a organizmus, ultrafialové, viditelné a infračervené záření

Teplo a organizmus, účinky tepla a chladu na člověka



### Anotace a základní pojmy

#### Odstředivá síla

V zemském gravitačním poli sedimentují měřitelnými rychlostmi pouze těžší částice. Sedimentace lehkých částic trvá velmi dlouho. Sedimentaci lze urychlit zvětšením síly, která na částice působí opačným směrem než síla vnitřního tření. Toho se dosahuje působením **odstředivé síly**. Je to setrvačná síla, která **působí při křivočarém pohybu** (pohybu po kružnici). Odstředivá síla vzniká jako **reakce síly dostředivé**, kdy se těleso snaží **setrvat v přímocharém pohybu**. Velikost odstředivé síly je stejná jako velikost dostředivé síly. Směr odstředivé síly je od středu zakřivení (od středu kružnice).

Toho se využívá v odstředivkách (**centrifugách**). Rotor odstředivky se otáčí velkou rychlostí a vznikající odstředivá síla se využívá např. k oddělování těžších látek od lehčích, pevných látek od kapalných apod. Při dostatečně velké frekvenci otáčení rotoru lze urychlit sedimentaci i velmi jemných suspenzí.

Centrifugy mají své nezastupitelné místo i ve výcviků pilotů stíhacích letadel nebo kosmonautů. S pokrokem letecké techniky se zjistilo, že vysoké přetížení je jedním z



největších nebezpečí pro vojenské piloty i kosmonauty. Kosmonauti se vysokým přetížením setkávají při startech i návratu kosmických lodí. Výcvik na snášení vysokých přetížení je oficiální důvod, proč se staví centrifugy ve výcvikových střediscích pro piloty a kosmonauty.

### **Vnější tlak a organizmus**

Na úrovni hladiny moře má **atmosférický tlak** hodnotu asi 101,3 kPa (760 mm Hg).

**S rostoucí nadmořskou výškou** klesá atmosférický tlak exponenciálně. Při náhlém přechodu do výšek nad 2 500 m dochází k nevolnostem, jejichž hlavní příčinou je nedostatek kyslíku. Hlavními příznaky **výškové hypoxie** jsou bolesti hlavy, zvracení, závratě, zkrácený dech, nespavost, nechutenství, bušení srdce, únava nebo slabost, malátnost, ortostatické potíže, desorientace apod.. Nestačí-li kompenzační mechanismy, výše popsané příznaky se prohlubují a vyvíjí se **vysokohorská nemoc** - prohloubení dechových i oběhových potíží, otupení intelektu, chápání je více narušené než smyslové vnímání. Důležitý je pokles mentální výkonnosti (snížení pozornosti a schopnosti soustředit se, zhoršuje se úsudek, paměť, jemná motorika). Na **extremní výšky** není možné se adaptovat, jde o patologické stimuly způsobující rychlé zhoršování výkonu, mentálního stavu, vyčerpání, bolestí hlavy, nastupuje i sněžná slepota (z UV odrazu od sněhu, oči bolí a nelze je otevřít proti světlu). Ve výškách kolem 7 000 m může dojít ke komatu. Ve výškách nad 7 900 m jde jen o přežití, jsou pozorovány vážné mentální problémy, k tomu přistupuje i extrémní zima (na každých 1 000 m se obvykle udává snížení teploty o 6 stupňů). Pobyt v nadmořských výškách nad 14 km je i při dýchání kyslíku možný pouze v tlakových kabinách nebo speciálních oblecích (kosmické lety). Ve výškách nad 20 km by bez takové ochrany začaly tělní tekutiny vřít, protože atmosférický tlak je v této výšce nižší než tlak vodní páry při 37 °C.

**Při léčbě** respiračních onemocnění se využívá vedle pobytu ve vysokohorském prostředí také podtlakových komor, ve kterých se snižuje tlak vzduchu o 20 kPa až 40 kPa (150 mm Hg až 300 mm Hg). Pomocí kompenzačních mechanismů se zlepšuje prokrvení plic, zvyšuje se výdej oxidu uhličitého. Kromě zvýšení sekrece z dýchacích cest a usnadnění vykašlávání se zmírňuje i kašel.

**Při potápění** těsně pod vodní hladinou mohou být dýchací cesty prodlouženy speciální dýchací trubicí pro potápěče (šnorchl), takže je zachován přístup atmosférického vzduchu. Dýchání je ale ztíženo, protože se nejenom zvětší mrtvý prostor, ale při vdechu se musí překonávat i **tlak vody**, působící na hrudník. Tento tlak se zvyšuje na každých 10 m hloubky o 98 kPa (735 mm Hg) nad hodnotu atmosférického tlaku působícího na úrovni vodní hladiny.

Dýchání ve větších hloubkách (až do 70 m) je možné pouze pomocí speciálních přístrojů, kterými se automaticky nastavuje tlak vdechovaného vzduchu z tlakové láhve, kterou má potápěč sebou, na hodnotu odpovídající tlaku okolní vody. Potápěč pak může dýchat s normálním úsilím, protože tlak okolní vody je stále kompenzován protitlakem z přístroje. Roste-li ovšem tlak vdechovaného vzduchu, stoupá parciální tlak kyslíku i dusíku. Dusík se neúčastní metabolismu a jako neutrální plyn se rozpouští v krvi a ve tkáních (5krát více než v krvi). Vzhledem k vysokému tlaku vdechovaného vzduchu se kyslík i dusík rozpouští více než při normálním atmosférickém tlaku (v šedesátimetrové hloubce asi 70krát více).

Snižuje-li se tlak (při postupném vynořování potápěče), snižuje se i tlak dusíku ve vdechovaném vzduchu. Avšak parciální tlak dusíku ve tkáních je ještě vysoký. Je-li návrat na hladinu pomalý a postupný, dusík ze tkání difunduje krví do alveolů plic a je vydýcháván. Při příliš rychlém vynoření difúze nestačí a ve tkáních i v krvi vznikají bubliny dusíku, které vyvolávají syndrom nazývaný dekompresní nebo častěji **kesonová nemoc**. Nejčastěji jsou postiženy klouby a kosti, ale také mozek a koronární artérie. Dochází ke svalovým a kloubním bolestem (nejčastěji v ramenou a loktech), slabosti (nenormální držení těla nebo

potíže při chůzi), mdlobám, křečím. Bubliny dusíku obsažené ve venózní krvi mohou způsobit uzávěr plicní mikrocirkulace (plynová embolie), nastupuje paralýza, kolaps, bezvědomí, dyspnoe, plicní edém. Následky rychlého vynoření - dekomprese - mohou být proto i smrtelné. Dalšími příznaky provázejícími dekompresní nemoc mohou být: zkrácený dech, svědění kůže a skvrny po celém těle, nebo částečné či přechodné ochrnutí (od krku nebo od pasu dolů). Nástup těchto příznaků je podle závažnosti do několika minut až několika hodin.

**Léčebné využití přetlaku** se provádí v přetlakových komorách, tzv. hyperbarických komorách. Přetlak je tu kolem 26,7 kPa až 53,3 kPa. Hlavní indikací jsou hypoxické stavy různého původu, plicní emfyzém, asthma bronchiale, chronické bronchitidy, léčba otrav oxidem uhelnatým a kyanidy, dekompresní nemoc, plynová embolie, popáleniny, polytraumata s těžkými šokovými stavy. Ve velkých barokomorách se v minulosti s výhodou prováděly srdeční operace, neboť v důsledku většího sycení tkání kyslíkem bylo možno zastavit krevní oběh minimálně na dvojnásobnou dobu než za normálního parciálního tlaku kyslíku.

### Optické záření

Ze Slunce na Zem dopadá také **záření optické** (je součástí elektromagnetického vlnění).

Složení optického záření je:

50 % viditelného světla	vlnová délka $\lambda = 365 \text{ nm} - 780 \text{ nm}$
45 % infračerveného záření	vlnová délka $\lambda = 780 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$
5 % ultrafialového záření	vlnová délka $\lambda = 100 \text{ nm} - 365 \text{ nm}$

paprsku.

### Viditelné světlo

**V přírodě** má viditelné světlo hlavní význam ve **fotosyntéze**.

**Účinek** viditelného světla je vzhledem k jeho energii omezen na **kůži** a **oko**. Poškození kůže viditelným světlem může nastat při zvýšené citlivosti kůže (fotosenzibilizace) při některých onemocněních a při podání některých léků. Oko může být poškozeno dlouhodobým opakovaným působením extrémně silného viditelného světla.

### Ultrafialové záření (UV)

UV je příčné elektromagnetické vlnění, vlnová délka je menší než vlnové délky světla. Fyziologické i biologické **účinky UV záření** závisí na energii fotonů, intenzitě záření, době trvání ozáření, schopnosti absorpce záření tkání a na reaktivitě organismu. Na základě biologických účinků dělíme UV záření na 3 úseky: **dlouhovlnné UV - A** záření (320 - 365 nm) vyvolává zhnědnutí kůže produkcí melaninu; **středněvlnné UV - B** záření (280 - 320 nm) způsobuje zčervenání, zánět kůže, tj. akutní a chronické poškození kůže, při vyšších dávkách může dojít až ke tvorbě puchýřů; **krátkovlnné UV - C** záření (pod 280 nm) je absorbováno ozónovou vrstvou a na zemský povrch nedopadá. Poškozuje DNA, proto se využívá ve formě baktericidních zářivek.

### UV záření a jeho účinky

Díky tomu, že UV záření neproniká do hloubky tkání, nejcitlivějším orgánem jsou kůže a oči (oční spojivky a rohovka, u dlouhovlnného UV - A také oční čočka).

Biologické účinky UV záření se nejvíce projevují **na kůži**. Základním projevem je **zčervenání kůže** (erytém) s následnou pigmentací - **zhnědnutím kůže**. Erytém se objevuje

za 1 až 3 hodiny po expozici UV záření, maximum je asi za 24 hodin po ozáření kůže. Vlnové délky UV záření, uplatňující se při vzniku erytému, jsou kolem 254 nm a 294 nm. Současné infračervené záření (ve slunečním záření) zvyšuje účinek UV záření, a tím se zvyšuje i citlivost kůže k ultrafialovému záření.

**Působení UV záření na oči** může vést po 30 minutách až 24 hodinách k **zánětu spojivek i rohovky**, který je provázený zpravidla zánětlivou reakcí kůže očních víček a kůže obličej. Příznaky mizí bez následků během 48 hodin. Po dlouhodobém působení vzniká katarakta (šedý zákal oční čočky).

**Z pozitivních účinků** UV záření lze uvést, že vlnové délky pod 300 nm způsobují vznik vitamínu D. Ten se ukládá do kůže, jater, mozku a kostí. Účinně řídí metabolismus vápníku a podporuje vstřebávání vápníku ve střevě, ukládání vápníku do kostí a reguluje dynamickou přestavbu kostí. Proto se UV záření těchto vlnových délek využívá v léčbě a prevenci křivice, která je způsobena nedostatkem vitamínu D. Pokud je expozice UV záření nedostatečná musí být vitamín D podáván perorálně. UV záření se užívá také k léčbě špatně se hojících ran a vředů a u některých kožních onemocnění. V oblasti 254 nm má největší účinky baktericidní. Hlavní mechanismus účinku UV záření spočívá ve změnách DNA, která absorbuje záření těchto vlnových délek. Baktericidní zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky se užívají tam, kde je nutno chránit ovzduší před bakteriemi. Zdroje UV záření se používají i ke sterilizaci ovzduší, např. v místnostech transfuzních stanic, v dětských jeslích, chirurgických sálech, vědeckých institucích apod..

### **Infračervené záření (IR)**

Má delší vlnové délky než viditelné světlo. **Zdrojem** infračerveného záření je **každé těleso**, kterého teplota je vyšší než teplota absolutní nuly (-273,15 °C). Protože se dosud nepodařilo tak nízkou teplotu ani v laboratořích získat, je jasné, že každé těleso je zdrojem určitého infračerveného záření.

Vlastnosti IR záření závisí do značné míry na jeho energii. **Podle energie** dělíme IR do třech pásem:

**IR - A (krátkovlnné):** 780 nm až 1400 nm (málo se absorbuje ve vodě a málo se absorbuje také ve skle, ve tkáni proniká do hloubky 1 až 3 cm, ovšem v hloubce 1 cm je již oslabeno na  $3 \cdot 10^{-4}$  původní intenzity), zdrojem je Slunce;

**IR - B (střední pásmo):** 1400 nm až 3000 nm (absorbuje se plně již v 1 cm vody, málo se absorbuje ve skle, ve tkáni proniká do hloubky 0,1 mm, v této hloubce je málo cév, ale jsou v ní čidla pro teplotu a bolest), zdrojem jsou různé typy žárovek, zářivek, výbojek;

**IR - C (dlouhovlnné):** 3000 nm až do 1 mm (absorbuje se plně již v 1 cm vody, absorbuje se i ve skle, ve tkáni proniká do hloubky 0,1 mm), zdrojem jsou různá topná tělesa.

**Biologické účinky** infračerveného záření jsou pouze **tepelného charakteru**.

### **Využití tepla a chladu**

Tělesná teplota je dána stavem rovnováhy mezi tvorbou tepla organismem, příjmem tepla z vnějšího prostředí a výdejem tepla z organismu (termoregulace). Člověk patří k teplokrevním (homiotermním) živočichům, jejichž teplota je udržována v dostatečně širokém rozsahu teploty vnějšího prostředí na konstantní úrovni

#### **Výdej tepla z organismu**

**Kondukce (vedení)**

**Konvekce (proudění)**

**Radiace (sálání)**

**Evaporace (vypařování)**

Tepelnou regulaci lidského organismu lze shrnout takto: poměrně stálá teplota většiny orgánů (bezpodmínečně však všech orgánů důležitých pro život), tzv. jádra, je docílena jejich tepelnou izolací (obalem) od okolí a nezbytnou tepelnou výměnou.

### **Využití infračerveného záření**

Léčba infračerveným zářením je v podstatě léčbou teplem. Je nutno rozlišovat teplo vzniklé místně a teplo vzniklé na podkladě reflexních dějů organismu.

Solux, speciální žárovka o příkonu 250 - 1 000 W, vlákno žárovky je rozzhavené na teplotu 2 200 - 2 700 °C.

Koupele

Sedací lázeň

Střídavé koupele dolních končetin

Vířivá lázeň

Perličková lázeň

Sauna

Parafínové zábaly

### **Chlad**

V praxi musíme rozlišovat, zda chlad působí jen **místně**, nebo celkově. V prvním případě dojde při dostatečně dlouhém působení, resp. dostatečném mrazu k zmrznutí tkáně. Jednotlivé části těla jsou různě citlivé na chlad. Zvláště citlivé jsou části, které mají velký specifický povrch (uši, prsty). Místní poškození chladem se projevuje jako **omrzlina**. Příčinou je poškození cév a narušení periferního krevního oběhu. Léčebným zákrokem je normalizace krevního oběhu v postižené části pozvolným prohříváním, nejlépe horkou koupelí.

Při působení chladu na **celé tělo** dojde na počátku k **podchlazení tepelného obalu**, později i **jádra**. Pokles teploty jádra pod 35 °C se projevuje svalovou slabostí, pod 34 °C zmateností, někdy i bezvědomím (bez jakýchkoliv dalších příznaků, bez upozornění, tělo se koncentruje již jen na základní funkce - dýchání a oběh), pod 28 °C dochází k srdeční zástavě. Vzhledem k tomu, že tkáně mají minimální spotřebu kyslíku, je šance na přežití při těchto teplotách ještě možná. Povrch těla by se neměl ohřívat moc agresivně, protože kožní vazodilatace by ohrozila přívod krve do důležitějších orgánů.

Kritické rozhraní pro přežití i dlouhodobou morbiditu je přibližně 30 °C tělesného jádra.

### **Využití chladu v medicíně (kryoterapie)**

Chlad aplikovaný místně (v oblasti kolem 4 °C) vede k **zncitlivění**. Tohoto poznatku se používá pro menší **chirurgické výkony**. Za tímto účelem se na kůži aplikuje kapalina s velkým skupenským teplem vypařování (etylchlorid). Kapalina při svém vypařování odnímá teplo kůži, značně ji zchladí, a tím kůži zncitliví. Chladu se též používá k **uklidnění bolestí**. Teploty této oblasti (kolem 4 °C) se využívají také při krátkodobé **konzervaci**, především krve, séra, buněk, tkání a orgánů, a to. V hypotermické oblasti se též nachází zajímavý fyziologický jev zimního spánku tzv. hibernace.

Hypotermických teplot se využívá např. při některých operacích srdce (kdy je nutné zastavit krevní oběh po dobu operačního zákroku). Je-li však tělo pacienta zchlazeno, má mozek podstatně sníženou potřebu kyslíku (při 30°C je potřeba kyslíku poloviční oproti potřebě při 37°C, při 20°C je to jen desetina) a pacient snese bez následků přerušování krevního oběhu i delší dobu. Jakmile klesne teplota pacienta pod 30°C (303 K), jsou jeho termoregulační mechanismy nízkou teplotou vyřazeny.

## **Lokální léčba chladem**

Indikace: čerstvé kontuze, distorze, svalové křeče, otoky a luxace, fraktury, aktivní artritický syndrom, dekompenzovaná osteoartróza, zejména se zánětlivou iritací, bolesti v zádech s paravertebrálními spasmami, zmírnění spasticity u spastických paréz různého původu, navození analgezie před pohybovou léčbou.

Kontraindikace: Arteriální poruchy prokrvení, ICHS, chladová alergie, poruchy citlivosti, hypertyreóza, srdeční choroby.



### **Příklady**

Popsat využití fyzikálních faktorů na svém pracovišti, možnosti poškození organismu fyzikálními faktory



### **Úkoly k zamyšlení a k diskuzi**

Úkolem je pomocí učebnice „Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů“ pochopit účinky různých fyzikálních faktorů na organismus, možnosti využití v medicíně i možnosti poškození organismu těmito faktory.

Student by měl v průběhu přípravy najít na svém pracovišti několik příkladů využití fyzikálních faktorů.



### **Kontrolní otázky**

Kde se v medicíně používá odstředivá síla?

Jak působí tlak na organismus?

Riziko výstupů do vysokých nadmořských výšek?

Riziko potápění?

Účinky optického záření a organismus,?

Využití tepla v medicíně?

Využití chladu v medicíně



### **Literatura**

Rosina, J., Kolářová, H., Stanek, J: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů  
Grada Publishing, a.s. 2006, ISBN 80 – 247 – 1383 – 7

## **5. Přístrojová technika používaná v medicíně – principy fungování**



### **Cíle studia tématu**

Cílem je objasnit studentům principy fungování některých přístrojů, jejichž činnost je využívána v medicíně



## Klíčové pojmy

Odstředivky a jejich využití v medicíně

Termostaty v medicíně

Audiometrie a její význam při diagnostice poruch sluchu

Přístroje využívající optické metody

Lasery v medicíně



## Anotace a základní pojmy

### Odstředivá síla

Velikost odstředivé síly závisí na druhé mocnině rychlosti tělesa, které koná pohyb po kružnici.

Toho se využívá v odstředivkách (**centrifugách**). Rotor odstředivky se otáčí velkou rychlostí a vznikající odstředivá síla se využívá např. k oddělování těžších látek od lehčích, pevných látek od kapalných apod. Při dostatečně velké frekvenci otáčení rotoru lze urychlit sedimentaci i velmi jemných suspenzí.

Podle způsobu pohonu se odstředivky dělí na ruční a motorické. Charakteristickým parametrem odstředivky je frekvence otáčení, tzn. počet otáček rotoru odstředivky za minutu. Příklad: V laboratoři se nejčastěji používají nádobkové odstředivky. Suspenzi, kterou chceme odstředovat, dáváme do nádobek a vkládáme je do plechových schránek v odstředivce. Při vysokých otáčkách se užívají zkumavky z umělých hmot nebo nerezové oceli, neboť dna skleněných zkumavek by nevydržela velikou odstředivou sílu. Zkumavky umístěné prot sobě je třeba vyvažovat, aby jejich hmotnost byla stejná. Jinak by mohlo dojít k poškození centrifugy. Oddělení krevních elementů od plazmy je možno provést centrifugováním při otáčkách asi 3 000 až 4 000 za minutu. Tato rychlost nestačí k oddělení bílkovinných molekul, jejichž velikost v poměru ke krvinkám je přibližně stejná jako velikost jablka k zemkouli. Oddělení bílkovinných molekul lze dosáhnout zrychlením řádově 100 000 g, tedy stotisíckrát větším, než je zrychlení tíhové. V tomto umělém tíhovém poli váží 1 ml vody řádově stovky kg. Jeden litr by vážil stovky tun.

### Sterilizace

Sterilizací se rozumí usmrcení nebo odstranění všech forem mikroorganismů přítomných v určitém prostředí nebo na předmětech.

Fyzikální postupy sterilizace

Var za normálního tlaku

Var pod tlakem

Suché teplo

Ultrafialové záření

Ionizující záření

Ultrazvuk

Sterilizace v oleji

Sterilizace filtrací

### Termostat, inkubátor

**Termostaty** jsou přístroje na vytváření a udržování libovolně vysoké **stálé teploty**. Užívají se v laboratořích, hlavně na kultivaci bakterií, tkáňových kultur, konzervování krve, urychlování sérologických reakcí apod. Termostaty dělíme na vzduchové a kapalinové. První jsou stavěny jako kovové skřínky s dvojitými stěnami, mezi kterými je izolační látka pro snížení tepelných ztrát. Ve skřínce se v dolní části nachází žhavicí, nebo nahoře chladicí

těleso, které termostat vyhřívá nebo chladí.

**Inkubátor** pro předčasně narozené děti je v podstatě termostat vyrobený alespoň částečně ze skla (nebo plexiskla), takže v něm lze novorozeně pozorovat. Mimoto je inkubátor uzpůsoben tak, že sestra může novorozeně běžně ošetřovat, aniž ho musí vyjmout anebo se ho přímo dotknout, čímž se snižuje možnost nákazy. Toto zařízení pro předčasně narozené je nutné, protože čím mladší je dítě, tím obtížněji dovede jeho organizmus regulovat tělesnou teplotu. U předčasně narozených je tato regulace tak nedostatečná, že dojde buď k příliš velké ztrátě tepla, nebo k přehřátí organismu.

### **Audiometrie**

Společným znakem všech sluchových vad je více nebo méně výrazné snížení vnímání některých frekvenčních oblastí nebo i celého rozsahu sluchových frekvencí. Vyšetření, které umožňuje kvalitativně i kvantitativně posoudit poruchu slyšení, se nazývá audiometrie. Na přístroji - audiometru - můžeme libovolně nastavit frekvenci i hladinu intenzity tónu. Vyšetřujeme každé ucho zvlášť pomocí sluchátek. Hodnoty hladiny intenzity v dB pro jednotlivé frekvence zaznamenáme do předtištěného grafu.

### **Přístroje a zařízení využívající optické metody**

**Mikroskopy.** Světelný mikroskop se skládá: z **osvětlovací soustavy** (kondenzor), **objektivu**, **okuláru**.

U **elektronových mikroskopů** je funkce světelných fotonů nahrazena svazkem elektronů, které jsou emitovány ve vakuu pomocí elektronové trysky. Místo skleněné optiky používané u světelných mikroskopů (okulár a objektiv) je zde systém elektromagnetických čoček, jejichž pole působí na procházející elektrony. Vliv magnetického pole elektromagnetické čočky lze srovnat s vlivem lámavosti skleněných čoček. Na elektrony působí magnetické pole silou, která způsobí, že dráha elektronu tvoří prostorovou spirálu. Tím se elektromagnetická čočka liší ve své funkci od čočky skleněné.

Předností elektronové mikroskopie je nejen značná rozlišovací mez (řádově 0,1 nm až 1 nm) a velká hloubka ostrosti, ale po připojení speciálních detektorů možnost získat informace o chemickém složení vzorku, jeho struktuře apod.

**Endoskopie** je v současné době jednou z nejdůležitějších vyšetřovacích metod díky moderní technice, zejména **vláknové optice**, studenému světlu, biopsii apod. Současné endoskopické přístroje umožňují pozorovat tělní dutiny - jícen, žaludek, dvanáctník, tenké i tlusté střevo apod. **Základní funkce** endoskopických přístrojů jsou založeny na **zákonech odrazu i lomu světla**.

### **Metody optické spektroskopie**

Při **emisní spektrální analýze** (používá se ke stanovení prvků obsažených v analyzovaném vzorku) se atomy sledovaného vzorku uvedou (vysokou teplotou) do excitovaného stavu. Při deexcitaci se stanou zdrojem záření. Každý prvek má své charakteristické čáry odpovídající emitovanému záření. Podle vlnových délek charakteristických emisních čar lze určovat prvky kvalitativně a podle intenzity záření spektrálních čar kvantitativně. V lékařství se využívá emisní spektrální analýzy např. ke stanovení draslíku a sodíku plamennou fotometrií.

**Absorpční spektrální analýza** využívá skutečnosti, že každá látka absorbuje určité vlnové délky jinak. Složení látky určujeme z polohy tmavých spektrálních pásů, které vznikají vlivem absorpce těchto vlnových délek ve zkoumané látce. Původně spojité spektrum zdroje bude po absorpci ve vzorku obsahovat soustavu barevných a tmavých pásů, jejichž poloha se bude pro různé látky lišit.

## Kolorimetrie jako optická metoda chemické analýzy

Kolorimetrické metody jsou založeny na sledování změny intenzity světla prošlého zkoumaným prostředím.

## Laser a jeho uplatnění ve zdravotnictví

Lasery jsou moderní zdroje **koherentního** (všechny vlny mají stejnou frekvenci a fázi, jsou tzv. **uspořádané**), **monochromatického** (s „jednou“, přesně definovanou vlnovou délkou, resp. Velmi úzkým rozsahem vlnových délek, tzv. **jednobarevné**), **polarizovaného** (vektor intenzity  $E$  elektrického pole je vždy kolmý na směr, kterým se vlnění šíří a **kmitá stále v jednom směru**) elektromagnetického vlnění, které má malou **divergenci** (**rozbíhavost**).

**Obecný princip** laserů je stejný: každý laser obsahuje **aktivní prostředí** (kterým může být pevná látka, kapalina nebo plyn), **optický rezonátor**, který je tvořen obvykle zrcadly, mřížkami, světlovodem a **zdroj čerpací energie** (proud elektronů, výbojky, jiné lasery, chemická reakce). Základem laserového přístroje je laserová hlava, kde je v optickém rezonátoru umístěno aktivní prostředí, ve kterém vzniká stimulovaná emise záření, budící (čerpací) zařízení a řídicí jednotka.

**Hmotné prostředí** může záření buď **pohlcovat** (absorbovat), anebo **vysílat** (emitovat). Zatímco **absorpce** záření je **jednoznačná záležitost**, **emise** může být buď **samovolná** (spontánní), nebo **vynucená** (indukovaná, stimulovaná).

Atom se nachází v určitém energetickém stavu. Říkáme, že je na určité **energetické hladině** (největší pravděpodobnost má stav, ve kterém je celková energie atomu nejnižší). Svůj energetický stav atom mění **nabytím energie** a přechází do stavu **vyšší energetické hladiny** (např. působením elektrického pole při výboji v trubici se zředěným plynem atom získává určitou energii a proto přechází do excitovaného stavu). Zde ovšem nesetrvá dlouho, ale vrací se zpět do stavu s nižší energií. Přejít atomu do nižšího energetického stavu je spojen s **vyzářením energie** ve formě fotonů elektromagnetického záření. Tyto změny energie probíhají nahodile a označujeme je jako **samovolnou** (spontánní) **emisi fotonů** elektromagnetického záření. Za určitých podmínek (např. při elektrickém výboji ve speciální trubici obsahující směs helia a neonu za sníženého tlaku) lze dosáhnout toho, že se atomy udrží ve vzbuzeném stavu delší dobu a do nižšího energetického stavu přecházejí všechny vzbuzené atomy prakticky současně po vnějším podnětu (tzv. **vynucená emise**). Při vynucené emisi dopadá na atom kvantum elektromagnetického záření. Zastihne-li **atom na nízké energetické hladině**, může být atomem pohlčeno a atom přeskočí na horní energetickou hladinu, hovoříme o absorpci. Setká-li se elektromagnetické záření s **atomem na vysoké energetické hladině**, může ho donutit vyzářit další kvantum energie (elektromagnetického záření) a přejít na spodní hladinu.

## Lasery v medicíně

První klinickou aplikací laseru bylo jeho použití v očním lékařství. Laserového světla se užívá v očním lékařství pro velmi složité operace. Operace jsou rychlé, méně bolestivé a lze je provádět i ambulantně. Rubínový a argonový laser se používají k přivaření odchlípnuté sítnice. Víme, že sítnice má v oku stejnou funkci jako film ve fotografickém aparátu. Dost často se u sítnice setkáváme s jejím "odlepením" od ostatních vrstev oční koule, což způsobuje až ztrátu zraku. Při léčení se používá bodového "sváření" sítnice s oční koulí pomocí koagulace tkáně. Laserový paprsek se nasměruje tak, aby ho čočka koncentrovala přesně do bodu určeného pro vytvoření ohniska koagulace. V tomto místě vyvolává silné světlo "přilepení" sítnice. Zákrok je nebolestivý, protože doba působení laserového paprsku je tak krátká, že pacient nereaguje bolestí. Laserem lze provádět i operace duhovky. Laser v očním lékařství našel uplatnění i při léčbě nádorů v zadní části oka.

Ostrý svazek (proužek) laserových paprsků pro chirurgické zákroky se používá jako



skalpel. Laser poskytuje cenné služby jako bezdotykový nástroj bezkrevní chirurgie. "Laserový nůž" zanechává čisté řezy díky současnému připalování cév v řezané oblasti. Nd laser a CO<sub>2</sub> lasery lze použít jako chirurgické nože.

Při využití laseru v léčbě jiných zhoubných nádorů je nutno použít nesrovnatelně větší energie než v očním lékařství, kde postačují v jednom pulsu desetiny až setiny J. Na ozáření nádorů s průměrem několik milimetrů se už vyžaduje energie několik stovek joulů.

Laser se využívá i v zubním lékařství k odstranění zubního kamene a k nahrazení klasické zubní vrtačky. V posledních letech se používá laser k léčbě mnohých infekčních onemocnění, hlavně ve spojení s vláknovou optikou.

Laser pronikal a proniká postupně do mnoha odvětví: oftalmologie, dermatologie, plastické chirurgie, neurochirurgie, otolaryngologie, urologie, gynekologie a dalších. Zájem lékařů o tento nový druh světelného záření je pochopitelný a plyne z unikátních vlastností laserového záření, které umožňují oproti původním zdrojům světla lepší přesnost zásahu a větší účinek daný mnohonásobným výkonem laserového světla.

Kromě terapeutického využití má v medicíně laser uplatnění i v diagnostice. Používá se hlavně k intenzivnímu osvětlení vnitřních orgánů. Monochromatické světlo se s úspěchem přenáší pomocí ohebných světlovodů, které se zavádějí přirozenými otvory do hloubky lidského organismu. Jedním z nejdůležitějších diagnostických uplatnění laseru je jeho použití při objevení rakoviny plic v počátečním stadiu.

Laserové záření může být pro organismus i škodlivé, nejvíce mohou být postiženy oči. Čočka koncentruje paprsky dopadající do oka z laserového zdroje na sítnici, kde mnohonásobně roste množství světelné energie. To zvyšuje možnost poškození sítnice. Nebezpečné nejsou jenom laserové paprsky, které vcházejí do oka přímo ze zdroje záření, ale i odražené paprsky. Ani značná vzdálenost od zdroje nechrání oko dostatečně, protože laserový paprsek je jen minimálně rozbíhavý.



### **Příklady**

Popsat záznam EKG - aktivní vlastnosti elektrického proudu

Popsat pojmy chronaxie a reobáze



### **Úkoly k zamyšlení a k diskuzi**

Úkolem je pomocí učebnice „Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů“ pochopit principy fungování některých přístrojů a najít možnosti využití přístrojové techniky na svém pracovišti.

Student by měl v průběhu přípravy najít na svém pracovišti několik příkladů využití přístrojové techniky pro účely diagnostiky a terapie.



### **Kontrolní otázky**

Kde se v medicíně používají odstředivky?

Kde se v medicíně používají termostaty?

Audiometrie a její význam při diagnostice poruch sluchu?

Kde se v medicíně používají přístroje využívající optické metody?

Lasery v medicíně?



### **Literatura**

Rosina, J., Kolářová, H., Stanek, J: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů  
Grada Publishing, a.s. 2006, ISBN 80 – 247 – 1383 – 7