



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Název projektu	Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě
Registrační číslo projektu	CZ.02.2.69/0.0./0.0/16_015/0002400

BIOFYZIKA

Distanční studijní text

David Korpas

Opava 2022



**SLEZSKÁ
UNIVERZITA**
FAKULTA VEŘEJNÝCH
POLITIK V OPAVĚ

Obor: biologické a příbuzné vědy, ošetrovatelství a porodní asistentství, fyzika

Klíčová slova: fyzikální veličiny a jednotky, termodynamika, buňka, ionizující záření, elektrický proud, optika

Anotace: Distanční podpůrný studijní materiál *Biofyzika* je určen pro obor všeobecná sestra a porodní asistence. Hlavním cílem je seznámit studenty prezenční i kombinované formy studia s rozsahem a hloubkou probírané látky a doporučenou studijní literaturou.

U kombinované formy studia se předpokládá především samostudium za pomoci distančních studijních opor a doporučené literatury.

Tento text je rozdělen do kapitol ve shodě se sylabem předmětu.

Autor: **Ing. David Korpas, Ph.D.**

Obsah

ÚVODEM.....	6
RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY.....	7
1 FYZIKÁLNÍ VELIČINY A JEDNOTKY.....	8
2 TERMODYNAMIKA A MOLEKULOVÁ FYZIKA.....	13
2.1 Teplota.....	13
2.2 Stavové veličiny	14
2.3 Termodynamika	15
2.4 Molekulová biofyzika	21
2.5 Stavba atomu	21
2.5.1 Interakce vazebné.....	24
2.5.2 Interakce nevazebné.....	25
2.6 Molekulové vlastnosti plynů	26
2.7 Molekulové vlastnosti kapalin	27
2.7.1 Povrchové jevy.....	28
2.8 Molekulové vlastnosti pevných látek.....	30
2.9 Fázové přeměny	31
2.10 Disperzní soustavy – roztoky	32
2.11 Termodynamické vlastnosti roztoků	33
3 BIOFYZIKA BUŇKY	36
3.1 Transport přes buněčnou membránu	39
3.2 Membránový potenciál.....	40
3.3 Akční (činnostní) potenciál	41
4 BIOFYZIKA TKÁNÍ A ORGÁNŮ.....	44
4.1 Mechanické vlastnosti tkání	44
4.2 Biomechanika kostí	47
4.3 Biofyzika svalů.....	48
4.4 Práce srdce, proudění krve	50
4.5 Biofyzika dýchání	52
4.6 Akční potenciály srdce	55
4.7 Akční potenciály mozku.....	56
5 BIOFYZIKA VNÍMÁNÍ. EKOLOGICKÁ BIOFYZIKA.	59

5.1	Biofyzika chuti	62
5.2	Biofyzika čichu	63
5.3	Biofyzikální funkce lidského ucha	64
5.3.1	Sluchové vady	65
5.4	Biofyzikální funkce lidského oka.....	66
5.5	Ekologická biofyzika.....	69
5.5.1	Vystavení mechanickým vlivům (tlak, gravitace)	70
5.5.2	Vystavení meteorologickým podmínkám	71
5.5.3	Vystavení elektrickým a magnetickým polím	73
6	ÚČINKY TEPLA, TERMOTERAPIE. BIOLOGICKÉ RYTMY.	74
6.1	Účinky tepla, termoterapie	74
6.2	Biologické rytmy	76
7	ZDROJE A DRUHY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ. DETEKCE A DOZIMETRIE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.	77
7.1	Zdroje ionizujícího záření v životním prostředí	78
7.2	Umělé zdroje ionizujícího záření	81
7.3	Interakce záření	82
7.3.1	Interakce nabitých částic - přímo ionizující záření	83
7.3.2	Interakce nepřímo ionizujícího záření	83
7.4	Detekce a dozimetrie ionizujícího záření	83
7.5	Detekce ionizujícího záření	86
7.5.1	Fotografické	87
7.5.2	Polovodičové detektory	87
7.5.3	Scintilační detektory	88
8	BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO A NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	89
8.1	Mechanismy účinku ionizujícího záření na živou tkáň.....	90
8.2	Ochrana před zdroji ionizujícího záření	90
8.3	Účinky zvuku, ultrazvuku a infrazvuku	94
8.3.1	Ultrazvuk.....	95
8.3.2	Infrazvuk	95
8.3.3	Účinky neionizujícího záření (viditelného světla, infračerveného, ultrafialového a mikrovlnného záření	96
9	PRÁCE S ELEKTRICKÝMI PŘÍSTROJI, RIZIKA A ZÁSADY BEZPEČNOSTI U ELEKTROSPOTŘEBIČŮ	98

9.1	Základní pojmy	98
9.2	Účinky elektrických proudů na organismus.....	99
9.2.1	Stejnoseměrný proud	99
9.2.2	Střídavý proud.....	100
9.3	Ochrana před účinky elektrického proudu	101
10	ZDRAVOTNICKÉ ELEKTRICKÉ ROZVODY.....	104
10.1	Barevné označování zásuvek.....	106
10.2	Bezpečnostně technická kontrola	107
11	ZÁKLADY OPTIKY.....	108
11.1	Základní pojmy.....	109
11.2	Základní vztahy	110
11.3	Druhy čoček.....	111
11.4	Korekce zrakových vad	112
12	LITERATURA	115
	SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY	116
	PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON.....	117

ÚVODEM

RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY

Distanční učební text *Biofyzika* je určen jako základní literatura k předmětu biofyzika pro obor *všeobecná sestra*. Přestože se může zdát, že při relativně jednoduchém ovládní dnešní moderních zdravotnických přístrojů už není třeba se zabývat základními vědeckými obory jako je biofyzika, má tento obor ve zdravotnickém vzdělávání stále své místo. Odbornost každého pracovníka se totiž ukáže až ve chvíli, kdy přístroj či jiný systém buďto nefunguje, jak očekáváme, nebo předkládá neočekávané výsledky. V tuto chvíli je třeba se hlouběji zabývat fyzikálními principy jeho činnosti a určit, zda chování systému je normální, či zda se jedná o závadu.

Tento učební text je rozdělen do jedenácti kapitol, které se dále dělí na články. Tento učební text by vám měl studium základů biofyziky co nejvíce ulehčit a dát představu o šíři probírané látky.

Je vhodné upozornit, že pro dobré pochopení problematiky tato studijní opora nestačí. Při čtení souvislého textu, např. z libovolné učebnice lékařské biofyziky pokrývající tuto problematiku, dojde ke snazšímu zapamatování a pochopení látky.

1 FYZIKÁLNÍ VELIČINY A JEDNOTKY



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Vzhledem k tomu, že posluchači zdravotnických studijních oborů přicházejí na univerzitu z různých typů středních škol, je nutné zopakovat fyzikální jednotky, známé ze střední školy.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- základní jednotky SI,
- stanovit tzv. rozměr veličiny.



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

základní jednotky SI, odvozené jednotky, rozměr veličiny



DEFINICE

Jednotka je referenční veličina, která slouží ke kvantitativnímu porovnání veličin. Základními jednotkami soustavy SI jsou ty uvedené v Tab. 1.

Tabulka 1: Základní jednotky SI

Základní veličina	Základní jednotka	
	značka	název
délka	m	metr
hmotnost	kg	kilogram
čas	s	sekunda
elektrický proud	A	ampér
termodynamická teplota	K	kelvin
svítivost	cd	kandela
látkové množství	mol	mol

Odvozené jednotky jsou vyjádřeny ze základních jednotek matematickými operacemi – násobením a dělením. Jednotky rovinného a prostorového úhlu – radián a steradián – se nazývají doplňkové jednotky.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Kolik je základních jednotek SI? ¹

Poslední skupinou jednotek jsou jednotky vedlejší. Jedná se o jednotky, které byly uznány pro používání z praktických důvodů. Jedná se především o jednotky časové (den, hodina, minuta), úhlové (stupeň, minuta, vteřina), dále objemové (litr) a hmotnostní (tuna).

Kromě výše uvedených jednotek existují i jednotky jiné, které nejsou zákonné a používají se např. z historických důvodů. Ve zdravotnictví se často používá pro vyjádření hodnoty krevního tlaku jednotka milimetr rtuťového sloupce mmHg, kde platí $1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa} = 1 \text{ Torr}$. Dále pro energetickou hodnotu potravin kalorie, kde $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$.

DEFINICE



Rozměr je vyjádření nějaké fyzikální veličiny pomocí základních veličin.

Např. rozměrem síly F je $\text{m} \cdot \text{l} \cdot \text{t}^{-2}$. Častěji se setkáváme spíše s vyjádřením jednotky dané veličiny pomocí jednotek základních veličin (viz Tabulka 1), tedy např. pro sílu je rozměr jednotky newton [N] $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$.

Tabulka 2: Odvozené jednotky SI

Odvozená veličina	Odvozená jednotka		
	značka	název	rozměr odvozené jednotky
rovinný úhel	rad	radián	1
prostorový úhel	sr	steradián	1
kmitočet	Hz	hertz	s^{-1}
síla	N	newton	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
tlak, (mechanické) napětí	Pa	pascal	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
energie, práce, teplo	J	joule	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
výkon	W	watt	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
elektrický náboj	C	coulomb	$\text{s} \cdot \text{A}$
elektr. potenciál, elektr. napětí, elektromot. napětí	V	volt	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
kapacita	F	farad	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$

¹Základních jednotek SI je 7.

Odvozená veličina	Odvozená jednotka		
	značka	název	rozměr odvozené jednotky
elektrický odpor	Ω	ohm	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
elektrická vodivost	S	siemens	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$
magnetický tok	Wb	weber	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
magnetická indukce	T	tesla	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
indukčnost	H	henry	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
Celsiova teplota	$^{\circ}\text{C}$	Celsiův stupeň	K
světelný tok	lm	lumen	cd.sr
osvětlenost	lx	lux	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$



KONTROLNÍ OTÁZKA

Mezi základní jednotky SI nepatří:²

- a) A b) V c) cd d) mol



DEFINICE

Hodnota veličiny je číslo, kterým násobíme jednotku pro získání veličiny.

Hodnota veličiny závisí také na volbě jednotky, např. pro hmotnost $m = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 0,001 \text{ t}$ nebo pro čas $t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s} = 1/60 \text{ hod.}$ U fyzikálních veličin, které obvykle nabývají extrémně malých či velkých hodnot, a při použití násobků a dílů jednotek používáme exponenciální vyjádření, např. $1,2 \text{ pF} = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ F}$.

Tabulka 3: Násobky a díly jednotek

Předpona		Násobek	
značka	název	číselně	exponenciálně
Y	yotta	1 000 000 000 000 000 000 000 000	10^{24}
Z	zetta	1 000 000 000 000 000 000 000	10^{21}
E	exa	1 000 000 000 000 000 000	10^{18}
P	peta	1 000 000 000 000 000	10^{15}
T	tera	1 000 000 000 000	10^{12}
G	giga	1 000 000 000	10^9
M	mega	1 000 000	10^6
k	kilo	1 000	10^3
h	hekto	100	10^2

²Správná odpověď je b) V

da	deka	10	10^1
d	deci	0,1	10^{-1}
c	centi	0,01	10^{-2}
m	mili	0,001	10^{-3}
μ	mikro	0,000 001	10^{-6}
n	nano	0,000 000 001	10^{-9}
p	piko	0,000 000 000 001	10^{-12}
f	femto	0,000 000 000 000 001	10^{-15}
a	atto	0,000 000 000 000 000 001	10^{-18}
z	zepto	0,000 000 000 000 000 000 001	10^{-21}
y	yokto	0,000 000 000 000 000 000 000 001	10^{-24}

KONTROLNÍ OTÁZKA



Proč jsou např. kmitočet elektromagnetického vlnění a četnost oběhu tělesa při kruhovém pohybu veličinami stejného druhu? ³

- protože rozměr jejich fyzikálních jednotek je stejný s^{-1} , tj. hertz [Hz],
- protože mohou mít stejnou velikost,
- nejsou to veličiny stejného druhu.

Pro radiologii jsou velmi významné další tři odvozené veličiny a jednotky užívané v souvislosti s radiační ochranou, které jsou uvedeny v Tab. 4.

Tabulka 4: Odvozené veličiny a jednotky v radiační ochraně

Odvozená veličina	Odvozená jednotka		
	značka	název	rozměr odvozené jednotky
aktivita	Bq	becquerel	s^{-1}
dávka	Gy	gray	$m^2 \cdot s^{-2}$
dávkový ekvivalent	Sv	sievert	$m^2 \cdot s^{-2}$

³Správná odpověď je a.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Vyberte nesprávné odpovědi: ⁴

Jednotka mmHg používaná ve zdravotnictví:

- a) udává tlak b) udává délku c) odpovídá 133 Pa d) odpovídá 1 Torr
-

⁴Jediná nesprávná odpověď je b.

2 TERMODYNAMIKA A MOLEKULOVÁ FYZIKA

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Náplní této obsáhlé kapitoly je vysvětlení základních pojmů z termiky a termodynamiky. Zavedení pojmu ideální plyn a popis termodynamických dějů. Dále pak popis chemických vazeb, základy molekulové fyziky látek a vysvětlení jevů difúze a osmózy.

CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat termodynamické děje,
 - rozpoznat základní chemické vazby,
 - znát význam difúze a osmózy pro živé organizmy.
-

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



teplota, teplo, stavové veličiny, ideální plyn, stavba atomu, difúze, osmóza

Termika je část fyziky zabývající se tepelnými jevy. Přestože ty provázejí lidstvo od nepaměti, termika se mohla rozvíjet až od objevu teploměru.

2.1 Teplota

DEFINICE



Teplota je mírou tepelného stavu dané látky.

Ve zdravotnictví představuje měření teploty lidského těla významný zdroj informací. Teplotu známe z vlastní zkušenosti. Subjektivně vnímáme horko nebo chlad, případně jejich intenzitu.



PRO ZÁJEMCE

Objektivní měření teploty zahájil švédský astronom, geodet a fyzik Anders Celsius. V roce 1742 uveřejnil své dílo o měření tepla „Pozorování o dvou neměnných stupních na teploměru“. Celsius stupnici rozdělil na 100 dílů a stanovil (z dnešního pohledu opačné) hodnoty pro var vody 0 °C a pro tání ledu 100 °C. Stupnici pak roku 1745 upravil do dnešní podoby botanik Linné, rovněž Švéd. Celsiova stupnice je tedy zavedena podle teplot tání ledu a varu vody při normálním atmosférickém tlaku 101 325 Pa.

Přičiníme-li na Celsiově teplotní stupnici bodu 0 °C hodnotu 273,15 K, získáme teplotní stupnici zvanou Kelvinova.

Jednotkou teploty T je 1 K (kelvin). Jednotky kelvin a °C jsou tedy stejně velké a rozdíl v obou stupnicích je jen v jejich počátku.

Nejběžnějším typem teploměru je stále objemový rtuťový maximální teploměr.

2.2 Stavové veličiny

Termodynamické jevy se popisují stavovými veličinami:

- tlak
- objem
- teplota
- látkové množství.

Řízenou změnu stavových veličin označujeme jako termodynamický děj. Při popisu všech dějů budeme uvažovat tzv. ideální plyn.

Vzájemný vztah stavových veličin a je popsán tzv. stavovou rovnicí. Tu lze zapsat v různých tvarech, např. $\frac{p \cdot V}{T} = konst.$ nebo $p \cdot V = N \cdot k \cdot T$ nebo $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

KONTROLNÍ OTÁZKA



Identifikujte veličiny vystupující v různých zápisech stavové rovnice. ⁵

DEFINICE



Ideální plyn

Molekuly ideálního plynu jsou zanedbatelně malé, dokonale hladké a pružné a kromě vzájemných srážek na sebe nepůsobí žádnými silami.

Objem ideálního plynu je tak charakterizován

- velmi velkým počtem molekul
- nekonečně malých, ideálně pružných
- pohybujících se chaoticky velkými rychlostmi
- při vzájemných srážkách měnících své rychlosti
- mezi srážkami se pohybujících rovnoměrně přímočaře
- principem molekulárního chaosu – všechny polohy a všechny směry rychlostí jsou stejně pravděpodobné, velikosti rychlostí se mění zcela nepravidelně.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Mezi stavové veličiny nepatří: ⁶

- a) tlak b) rychlost pohybu c) objem d) látkové množství

2.3 Termodynamika

Život organismu = neustálé porušování termodynamické rovnováhy.

Termodynamika = obor fyziky zabývající se teplem a tepelnými jevy.

⁵V-objem, p-tlak, T-teplota, N-počet částic, k-Boltzmannova konstanta, n-látkové množství, R_m-plynová konstanta

⁶Správná odpověď je b).

Teplo = část vnitřní energie, která přejde z tělesa o vyšší teplotě na těleso o teplotě nižší, aniž by se konala práce, tedy měnil objem.



K ZAPAMATOVÁNÍ

Základním termodynamickým pojmem je soustava.

Soustava = soubor těles, mezi nimiž je umožněna výměna tepla či jiných druhů energie. Soustavy dělíme

podle interakce s okolím

- otevřená: s okolím vyměňuje jak energii (teplo) tak částice,
- uzavřená: s okolím vyměňuje energii, ale ne částice,
- izolovaná: s okolím nevyměňuje ani energii ani částice;

podle obsahu fází (skupenství)

- homogenní: soustava obsahuje pouze jednu fázi,
- heterogenní: v soustavě se nachází více fází.

Při výkladu termodynamiky budeme sledovat vztahy několika veličin.

- tlak p , teplota T , objem V
- energetické veličiny teplo Q , vnitřní energie U , práce W .

Vnitřní energii = součet energií všech částic v tělese.



VĚTA

První věta termodynamická

Teplo přijaté tělesem je rovno součtu přírůstku vnitřní energie tělesa a vnější vykonané práce,

$$Q = \Delta U + W.$$

Tento vztah je matematickým vyjádřením 1. věty termodynamické. Celkové množství energie izolované soustavy zůstává zachováno

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jak definujeme teplotu? Co je to vnitřní energie? ⁷

K ZAPAMATOVÁNÍ



Izotermický děj

- teplota plynu se nemění, $dT = 0$ nebo $T = \text{konst.}$
- nenarůstá tedy tepelný pohyb částic látky, a tím se nemění ani vnitřní energie
- $U = 0$
- všechno teplo dodané soustavě spotřebuje na konání práce.

Izochorický děj

- objem plynu se nemění, $dV = 0$ nebo $V = \text{konst.}$
- nekoná se žádná práce
- $\Delta W = 0$
- výpočtem 1. věty termodynamické $Q = \Delta U = n \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)$
- všechno teplo dodané soustavě se spotřebuje na zvýšení její vnitřní energie.

Izobarický děj

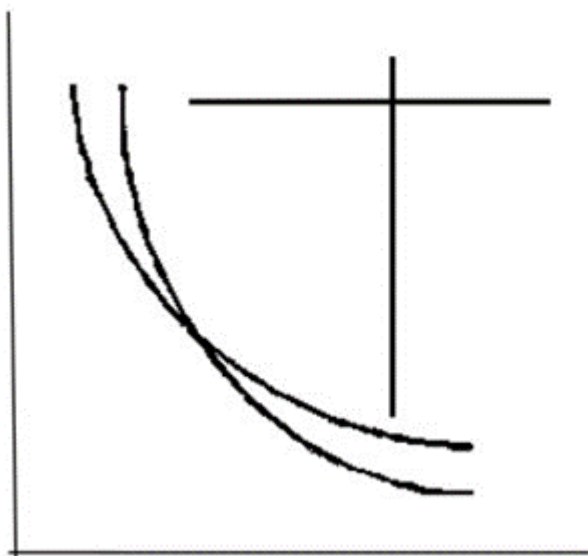
- tlak plynu se nemění, $dp = 0$ nebo $p = \text{konst.}$
- mění se teplota T a objem V .

Adiabatický děj

- plyn nepřijímá ani neodevzdává teplo
- $\Delta W = 0$
- výpočtem 1. věty termodynamické máme práci plynu $W = -\Delta U = n \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)$.

Výklad termodynamických dějů souvisí s 1. větou termodynamickou. Na obrázcích níže jsou diagramy jednotlivých dějů.

⁷Teplota je mírou tepelného stavu dané látky. Vnitřní energii je součtem energií všech částic v tělese.



Obrázek 1: Diagramy termodynamických dějů



SAMOSTATNÝ ÚKOL

Na obrázku výše nejsou popsány osy, ani nejsou přiřazeny křivky k jednotlivým termodynamickým dějům. Vyhledejte si samostatně informace k těmto typům diagramů, popište osy a přiřaďte křivky termodynamickým dějům.



VĚTA

Druhá věta termodynamická

Tepelný stroj, který by trvale konal mechanickou práci pouze na úkor vnitřní energie, se nazývá perpetuum mobile druhého druhu a není možné jej sestrojít.



DEFINICE

V termodynamice je pomocí teploty T a tepla Q definován pojem entropie S vztahem

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}.$$

Je-li v jedné části soustavy koncentrace částic velká a v jiné části malá, pak tato soustava má větší schopnost konat práci než ta, u které je koncentrace částic v celé soustavě podobná. Entropie je tedy vysoká.

- soustava má snahu zaujmout stav s minimální energií
- stav s minimální energií nastane tehdy, jsou-li koncentrace všude stejné
- čím se systém více blíží stavu neuspořádanosti, tím více jeho entropie stoupá.

VĚTA



Třetí věta termodynamická

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0.$$

KONTROLNÍ OTÁZKA



Vyberte všechna nesprávná tvrzení: ⁸

- izobara má v p-V diagramu tvar hyperboly
- jsou-li všechny částice v jedné části soustavy, je její entropie minimální
- stavová rovnice vyjadřuje vzájemný vztah stavových veličin
- teplota absolutní nuly je -273,15 °C.

⁸Nesprávná tvrzení jsou a), b).

KONTROLNÍ OTÁZKA

Přiřaďte termodynamickým dějům jejich definice: ⁹

1) izotermický

2) izochorický

3) izobarický

a) nemění se tlak

b) nemění se teplota

c) nemění se objem

⁹1-b, 2-c, 3-a
20

2.4 Molekulová biofyzika

- zkoumá složení a vlastnosti látek z hlediska fyzikálního pohybu molekul
- aplikuje principy molekulové fyziky na živý organismus a děje v nich probíhající.

K ZAPAMATOVÁNÍ



Atom = nejmenší částice chemického prvku, která má všechny jeho vlastnosti.

Molekula = soubor atomů vázaných pevnými vazbami, nejmenší stabilní částice dané látky.

Látkové množství = počet základních částic (atomů, molekul, iontů) v nějakém souboru. Jednotkou v SI je 1 mol.

- počet částic v 1 molu je dán tzv. Avogadrovou konstantou $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- další konstanta je molární objem $V_m = 22,414 \text{ dm}^3$, udává objem 1 molu plynu za normálních podmínek.
- normální podmínky jsou stanoveny jako teplota $T_0 = 273,15 \text{ K}$ a tlak $p_0 = 101325 \text{ Pa}$.

Avogadrův zákon = stejné objemy ideálních plynů obsahují vždy stejný počet molekul

2.5 Stavba atomu

Pojem atom pochází z řeckého slova atomos – nedělitelný.

DEFINICE



Atom

- částice hmoty, která se už chemickými prostředky dále nedá dělit
- určuje vlastnosti příslušného chemického prvku
- za normálního stavu navenek elektricky neutrální
- atom se dále skládá z atomového jádra, obsahujícího protony a neutrony, a z obalu, obsahujícího elektrony.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Pro praxi je dobré si pamatovat některé fyzikální konstanty. Přiřaďte fyzikálním konstantám jejich velikost: ¹⁰

- 1) Avogadrova konstanta
 - 2) normální teplota
 - 3) molární objem
 - 4) normální tlak
- a) $V_m = 22,414 \text{ dm}^3$
 - b) $N_A = 6,023.1023 \text{ mol}^{-1}$
 - c) $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$.
 - d) $T_0 = 273,15 \text{ K}$



PRO ZÁJEMCE

Moderní atomové teorie se začínají rozvíjet od konce 19. století. Teorii o nedělitelných atomech vyvrátil roku 1897 J. J. Thomson, který elektron. Na základě tohoto objevu vytvořil tzv. Thomsonův model atomu. Ten předpokládal, že atom je tvořen rovnoměrně rozloženou kladně nabitou spojitou hmotou, ve které jsou rozptýleny záporně nabitě elektrony. Představa evokovala rozložení rozinek v tradičním anglickém pudinku, odtud také označení pudinkový model atomu. Při pozdějších pokusech s průchody elektronů různými látkami bylo zjištěno, že prostor vyplněný atomy je nehomogenní a velkou většinou vlastně prázdný. Thomsonův model pak na začátku 20. století překonal Ernest Rutherford, který při interpretaci pokusů s rozptylem částic α dokázal, že většina hmoty s kladným nábojem je umístěna ve velmi malém prostoru ve středu atomu s rozměry řádově 10^{-15} m až 10^{-14} m , přestože atomy mají rozměry řádově 10^{-10} m . To vedlo k Rutherfordově modelu, podle kterého se atom skládá z kladně nabitého jádra, kolem kterého obíhají záporně nabitě elektrony. Toto evokovalo představu planet obíhajících okolo Slunce, a proto se tomuto modelu atomu říká také planetární model. Planetární model měl však některé nedostatky. Podle zákonů klasické elektrodynamiky by se elektron obíhající po kruhové dráze kolem jádra musel pohybovat s dostředivým zrychlením. Nabité částice pohybující se se zrychlením však musí vysílat elektromagnetické záření, čímž

¹⁰ 1-b, 2-d, 3-a, 4-c

ztrácí energii a v krátkém čase 10^{-8} s by se elektrony spirálovitě zřítily do atomových jader. Tyto zásadní rozpory vysvětlila až kvantová teorie, podle které je elektromagnetické záření vysíláno i pohlcováno po kvantech. V roce 1913 pak Niels Bohr vytvořil podle této teorie svůj model kvantových elektronových drah v atomu, z čehož vychází Bohrov model atomu. Podle tohoto modelu obíhají elektrony atomové jádro jen na diskretních drahách, přičemž mezilehlé dráhy nejsou povoleny a vyzařování energie není spojitě. Elektrony mohou pouze za určitých podmínek jednorázovými změnami přejít ze své energetické hladiny do jiné. Bohrov model byl stále založen na klasické fyzice, ale Bohr využil některých závěrů kvantové fyziky, čímž se odstranily nedostatky planetárního modelu. Předpokládal pohyb elektronů pouze po kruhových drahách, přestože obecně se vázané záporně nabitě částice v elektrostatickém poli pohybují po elipsách. V roce 1915 pak proto Sommerfeld vytvořil kvantovou teorii eliptických drah. Pro dva stupně volnosti tohoto pohybu elektronu je potřeba dvou kvantových čísel. Moderní kvantově-mechanický model atomu se dále formoval na základě de Broglieho teorie vlnových vlastností mikročástic a tzv. Schrödingerovy rovnice. Podle té není elektron popisován jako hmotný bod, ale jako vlnová funkce definující pravděpodobnost výskytu elektronu v různých místech prostoru. Spolu s Heisenbergovými relacemi neurčitosti to znamená, že geometricky pravidelné dráhy Bohrova modelu byly nahrazeny neostře definovanými oblastmi, ve kterých se elektron s určitou pravděpodobností nalézá. Tyto oblasti se nazývají orbitaly.

Stav elektronu je určen kvantovými čísly

- hlavním n
- vedlejším l
- magnetickým m
- spinovým m_s .

Tabulka 5: Kvantová čísla

Kvantové číslo	Význam	Hodnoty
hlavní n	energie	$n = 1, 2, 3, \dots$
vedlejší l	velikost dráhového momentu hybnosti	$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$
magnetické m	průmět dráhového momentu hybnosti do směru osy z	$m = 0, \quad \pm 1, \dots, \pm l$
spinové m_s	průmět spinového momentu hybnosti do směru osy z	$m_s = \quad \pm 1/2$

Při popisu dějů v živých organizmech se vychází z vlastností molekul a jejich vzájemného působení (interakcí). Interakce rozdělujeme na

- vazebné (silné, intramolekulární)
- nevazebné (slabé, mezimolekulární).

2.5.1 INTERAKCE VAZEBNÉ

- atom má tendenci dosáhnout elektronové konfigurace nejbližšího tzv. vzácného plynu. Tedy zaplnit všechny valenční orbitály (stabilní elektronová konfigurace)
- prvky vzácných plynů mají valenční orbitály kompletně zaplněné elektrony a jsou chemicky inertní, tj. už nevytvářejí další vazby
- vazba nastane jen tehdy, vznikne-li přeskupením valenčních elektronů větší stabilita než elektronovým přeskupením v atomech.



K ZAPAMATOVÁNÍ

Chemická vazba je interakce dvou nebo více atomů. Chemické vazby se zpravidla rozdělují do čtyř typů

- iontové
- kovalentní
- kovové
- vodíkovým můstkem.

Většinou existuje mnoho kombinací jednotlivých typů. Podmínkou vzniku vazby je, aby nová soustava měla nižší vnitřní energii, než je součet energií původně zúčastněných částic.

Iontová vazba

Jeden atom k sobě přitáhne od druhého atomu elektron příp. více elektronů. Tak zde vzniknou dva ionty

- záporný (aniont) z atomu, který k sobě elektrony připoutal
- kladný (kationt) z atomu, který elektrony ztratil.

Pak jsou k sobě tyto ionty vázány elektrostatickou přitažlivou silou, protože se jedná o částicemi s opačným nábojem. Typické pro sloučeniny s iontovou (také nazývanou elektrostatická) vazbou je jejich dobrá rozpustnost ve vodě.

Kovalentní vazba

Zúčastněné atomy zaplňují valenční vrstvu elektronového obalu, sdílí jeden nebo více párů elektronů mezi sebou.

- nejsilnější z chemických vazeb
- špatná rozpustností
- nevodivost.

Vznik kovalentní vazby vysvětlují dvě teorie:

- teorie valenčních vazeb, která je založena na překryvu valenčních orbitalů
- teorie molekulových orbitalů, která uvažuje víceatomovou částici jako celek.

KONTROLNÍ OTÁZKA



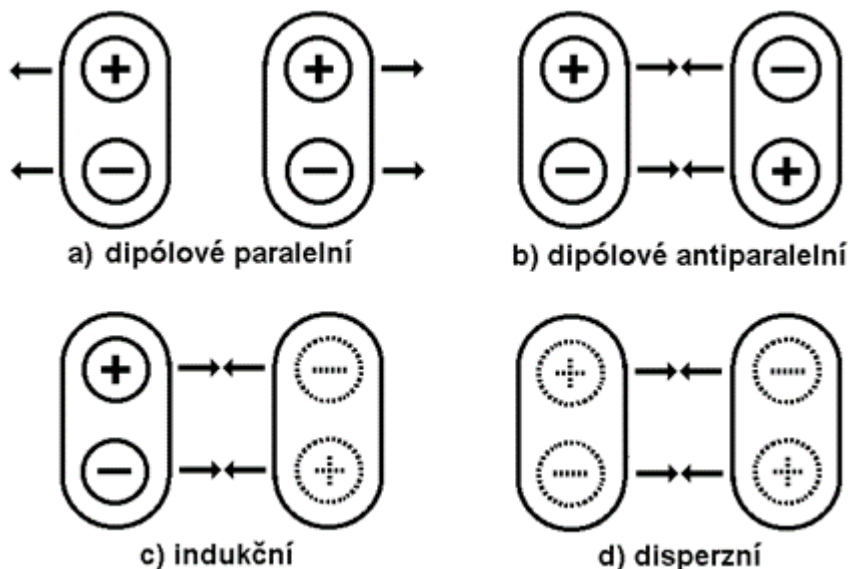
Vyberte nesprávnou odpověď: Mezi základní chemické vazby patří vazba: ¹¹

kyslíkovým můstkem, iontová, kovalentní, kovová

2.5.2 INTERAKCE NEVAZEBNÉ

Podle typu a orientace nábojů rozlišujeme tři druhy nevazebných interakcí:

- dipólové interakce (interakce dipól – dipól)
- indukční interakce (interakce dipól – indukovaný dipól)
- disperzní interakce (interakce indukovaný dipól – indukovaný dipól).



Obrázek 2: Druhy nevazebných interakcí mezi molekulami [8]

¹¹Nesprávná odpověď je „kyslíkovým můstkem“.

Účinky nevazebných interakcí se rozdělují na

- statické (uplatňují se např. v prostorových vztazích částí řetězce molekul bílkovin)
- dynamické (rozpoznávání správných partnerů při biochemických reakcích).

2.6 Molekulové vlastnosti plynů

Podle kinetické teorie plynů je průměrná kinetická energie molekul plynu (a tím jejich rychlosti) závislá jen na teplotě systému.

- monoatomické plyny = dodávaná tepelná energie se spotřebuje na translační pohyb
- víceatomické plyny = dodávaná tepelná energie se spotřebuje i na jiné druhy pohybu.



VĚTA

Daltonův zákon

Plyny jsou dokonale mísitelné. Každé složka ve směsi je možno přisoudit tzv. parciální (dílejší) tlak:

- určen hustotou částic a jejich střední kinetickou energií
- takový tlak, který by složka měla, kdyby byla v soustavě sama
- celkový tlak směsi plynů pak roven součtu všech parciálních tlaků jednotlivých složek.

To vyjadřuje tzv. Daltonův zákon aditivity parciálních tlaků.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

Parciální tlaky dýchaných plynů (kyslíku a oxidu uhličitého) jsou rozhodující veličiny při dýchání.



VĚTA

Henryův zákon

Množství rozpuštěného plynu závisí na chemickém složení plynu a kapaliny, a dále na teplotě a tlaku plynu nad kapalinou.

Při konstantní teplotě je množství plynu V_p rozpuštěného v kapalině V_k přímo úměrné parciálnímu tlaku plynu p_i v plynné fázi a jeho koeficientu rozpustnosti α . Matematicky

$$V_p = \frac{\alpha \cdot p_i \cdot V_k}{p_B}$$

Koeficient α je dán množstvím mililitrů plynu rozpuštěného v 1 ml tekutiny. Rozpustnost plynů v kapalinách tedy se zvyšující se teplotou klesá. Rozpustnost CO_2 je 24-krát větší než O_2 .

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaký je celkový tlak směsi plynů? ¹²

2.7 Molekulové vlastnosti kapalin

U kapalin se molekuly již navzájem prakticky dotýkají. Kapaliny zachovávají svůj objem, ale ne svůj tvar. Nemají tedy pevný tvar, ale přizpůsobují se tvaru nádoby, ve které se nacházejí. Objemová závislost na teplotě je menší než u plynů. Ideální kapalina:

- je dokonale nestlačitelná
- bez vnitřního tření.

Skutečná kapalina má na rozdíl od ideální kapaliny vnitřní tření a dá se mírně stlačit.

VĚTA



Pascalův zákon

Vnější tlaková síla působící na kapalinu v libovolném směru vyvolá uvnitř kapaliny v každém místě stejný tlak. Tento tlak je kolmý na libovolnou plochu zvolenou uvnitř kapaliny.

Hydrostatický tlak kapaliny o hustotě ρ je v hloubce h pod hladinou

¹²Celkový tlak směsi plynů je roven součtu všech tlaků jednotlivých složek směsi (Daltonův zákon).

$$p = \frac{dF}{dS} = h \cdot \rho \cdot g.$$



KONTROLNÍ OTÁZKA

Na čem závisí hydrostatický tlak kapaliny v určité hloubce pod hladinou? ¹³

2.7.1 POVRCHOVÉ JEVY

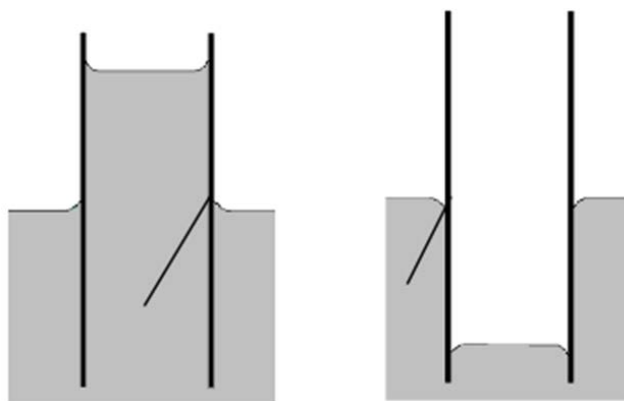
Povrchové jevy jsou způsobeny rozdíly ve vazebních silách na rozhraních mezi kapalinou a plynem nebo kapalinou a pevnou látkou

- na povrchu kapaliny je povrchová vrstva o tloušťce řádově 10^{-8} m
- má snahu stahovat povrch kapaliny, aby měl co nejmenší obsah
- povrchové napětí σ a vzniká v důsledku existence tzv. kohezních sil.

Síly působící mezi molekulami téže látky jsou síly kohezní.

Síly působící mezi molekulami různých látek jsou síly adhezní.

Jsou-li adhezní síly větší než síly kohezní, kapalina pevnou látku tzv. smáčí. V případě, že jsou adhezní síly menší než síly kohezní, kapalina pevnou látku nesmáčí.



Obrázek 3: Smáčivost a nesmáčivost, kapilární jevy – výslednice kohezních a adhezních sil [1]

¹³Je přímo úměrný hustotě kapaliny, hloubce h pod hladinou a gravitační konstantě (Pascalův zákon).

U smáčivé kapaliny dojde ke stoupaní hladiny – kapilární elevaci. U kapaliny nesmáčivé dojde k poklesu hladiny – kapilární depresi.

VĚTA

Rovnice kontinuity

Je-li v_1 rychlost hmotnostního prvku tekutiny při průřezu proudové trubice S_1 a v_2 rychlost hmotnostního prvku tekutiny při průřezu proudové trubice S_2 , pak pro nestlačitelnou tekutinu platí

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \text{konst.}$$

Pro stlačitelnou tekutinu pak

$$S_1 \cdot v_1 \cdot \rho_1 = S_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2 = \text{konst.}$$

VĚTA

Bernoulliho rovnice

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot \Delta h \cdot g + p = \text{konst.}$$

Součet dynamického, hydrostatického a statického tlaku je v každém místě proudící tekutiny konstantní.

KONTROLNÍ OTÁZKA

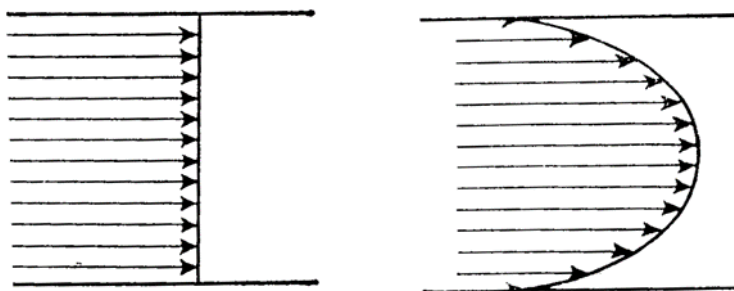
Co se stane s rychlostí proudící kapaliny v trubici, dojde-li ke zúžení trubice? 14

¹⁴Rychlost proudění se zvýší (podle rovnice kontinuity).

Viskozita

- charakterizuje vnitřní tření kapaliny
- závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi
- kapaliny s větší přitažlivou silou mezi částicemi mají větší viskozitu
- větší viskozita zpomaluje pohyb kapaliny nebo těles v kapalině.

Kapalinu lze rozdělit na jednotlivé vrstvy, které se po sobě posouvají. Dynamická viskozita představuje sílu tření mezi dvěma vrstvami proudící kapaliny, které se stýkají v určité ploše.



Obrázek 4: Proudění ideální (vlevo) a skutečné kapaliny (vpravo) [10]



KONTROLNÍ OTÁZKA

Má větší viskozitu voda nebo krev? ¹⁵

2.8 Molekulové vlastnosti pevných látek

- přitažlivé síly mezi částicemi jsou tak silné, že omezují jejich vzájemný pohyb
- částice konají pouze kmitavý pohyb kolem rovnovážných poloh
- zachovávají svůj objem i tvar a jsou prakticky nestlačitelné.

Z hlediska vazby atomů, molekul či iontů rozdělujeme

- krystalické látky (pravidelné uspořádání částic)
Mřížky:
 - iontové
 - atomové (chemické vazby)
 - molekulové
- monokrystaly (určité rozložení se periodicky opakuje v celé části krystalu)
- polykrystaly (skládají se z velkého počtu malých krystalů)

¹⁵Krev. Viskozita krev je asi 4x větší než viskozita vody.

- amorfní látky (mají pravidelné uspořádání jen ve velmi krátkých úsecích).

Důležitou vlastností je směrová závislost určitých fyzikálních vlastností. Rozlišujeme tak látky

- izotropní (určitá vlastnost je pro všechny směry stejná)
- anizotropie (určité fyzikální vlastnosti závisí na směru).

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jak byste charakterizovali kostní tkáň z hlediska homogenity a izotropie? ¹⁶

2.9 Fázové přeměny

DEFINICE



Fáze je látka s určitými mikroskopickými vlastnostmi. Příkladem fází jsou výše zmíněné kapalné, plynné a pevné skupenství, představující rozdílné fáze nějaké látky. Styk dvou fází se označuje jako fázové rozhraní.

Fázová rozhraní mohou být různá:

- kapalina – plyn
- plyn – pevná látka
- kapalina – kapalina.

Skupenství je dané vzájemnými vztahy mezi molekulami.

K běžným příkladům fázových přechodů patří skupenské fázové přechody, jako jsou

- tání (přeměna pevné fáze v kapalnou)
- tuhnutí (přeměna kapalné fáze v pevnou)
- vypařování (přeměna kapalné fáze v plynnou)
- kondenzace (přeměna plynné fáze v kapalnou)
- sublimace (přeměna pevné fáze v plynnou)
- desublimace (přeměna plynné fáze v pevnou).

¹⁶Jedná je o tkáň nehomogenní a anizotropní.

Přechod mezi fázemi je spojen s určitým teplem, které látka musí přijmout či odevzdat, aby se fázový přechod uskutečnil. Toto teplo nazýváme skupenské teplo a značíme L.

2.10 Disperzní soustavy – roztoky



K ZAPAMATOVÁNÍ

Soustavu, která obsahuje alespoň 2 fáze nebo 2 složky označujeme jako disperzní systém. Disperzní soustava je obecnější pojem pro to, co v případě kapalin nazýváme roztok. Rozlišujeme

- *dispersum* (rozptýlená složka)
- *dispersens* (disperzní prostředí).

Disperzní směsi:

- heterogenní (složky mají dvě různé fáze-skupenství)
- homogenní (obě složky jsou v jedné fázi).

U roztoků (*solutio*) pak

- rozpuštěná látka (*solutum*)
- rozpouštědlo (*solvens*)

Podle fází ve směsi

- aerosoly (pevné nebo kapalné látky v plynech)
- emulze (dvě nebo více nerozpustných kapalin)
- pěny (plyny v kapalinách)
- suspenze (pevné látky v kapalinách).

Tabulka 6: Klasifikace disperzních systémů [10]

disperzní prostředí	disperzní podíl	> 100 nm	1÷100 nm	< 1 nm
		disperzní hrubé	disperzní koloidní	disperzní analytické
plynné	plynný	-	-	směsi plynů
	kapalný	děšť, mlha	aerosoly	páry kapalin v plynu
	pevný	prach, dým	aerosoly	páry + tuhé látky v plynu
kapalné	plynný	bubliny pěny	pěny	roztoky plynů v kapalinách

	kapalný	emulze	lysoly	směsi kapalin
	pevný	suspenze	lysoly	pravé roztoky tuhých látek
pevné	plynný	tuhé pěny, bubliny plynů v pevných látkách	tuhé pěny	plyny rozpuštěné v pevných látkách
	kapalný	pevné látky s uzavřenými kapičkami	tuhé pěny	krystalická voda
	pevný	tuhé směsi	tuhé soli	tuhé roztoky, směsné krystaly

2.11 Termodynamické vlastnosti roztoků

DEFINICE



Difúze

Jako difúze se označuje přesun látek z místa o vyšší koncentraci na místo o koncentraci nižší. U kapalin spočívá difúze v pronikání molekul jedné kapalné složky mezi molekuly druhé kapalné složky a naopak. Proces difúze umožňuje pohyb látek uvnitř buněk s látkovou výměnou neboli pasivní transport látek.

VĚTA



První Fickův zákon

1. Fickův zákon určuje hustotu a směr tzv. difuzního toku j při tzv. ustálené difúzi. Jedná se o vektorovou veličinu.

$$\vec{j} = \frac{\Delta n}{\Delta S \cdot t}$$

Číselně vyjadřuje látkové množství dané látky (v molech), které projde jednotkovou plochou S za jednotku času t . Její směr pak vyjadřuje střední směr proudění částic.



DEFINICE

Druhý Fickův zákon platí pro neustálený stav: Časová změna koncentrace látky v daném místě je úměrná prostorové změně gradientu koncentrace.

Difúze má velký význam v biologických systémech. Patří mezi základní mechanismy pasivního transportu látek a využívá se např. při dialýze.



KONTROLNÍ OTÁZKA

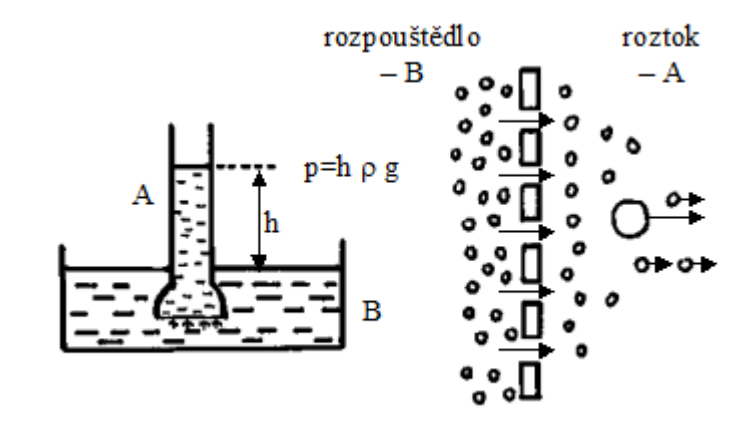
Rozdílné hodnoty jisté fyzikální veličiny jsou nutnou podmínkou difúze. Které veličiny? ¹⁷



DEFINICE

Osmóza je zředování roztoku samovolným přestupem molekul rozpouštědla přes polopropustnou (semipermeabilní) membránu. Polopropustná znamená, že je propustná pouze pro molekuly rozpouštědla. Osmóza je důsledkem snahy po zředění koncentrovanějšího roztoku.

Mírou velikosti osmózy je tzv. osmotický tlak. Je to tlak nutný k zastavení osmózy.



Obrázek 5: Osmóza [8]

¹⁷Jedná se o koncentraci částic.

Osmóza a její mechanismus mají proto velký význam pro biologické objekty, zejména pro vodní regulaci.

- hypotonický roztok – nižší osmotický tlak než krevní plazma
- hypertonický roztok – vyšší osmotický tlak než krevní plazma
- izotonické roztoky – mají stejné osmotické tlaky.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Co je to osmotický tlak? ¹⁸

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jak můžeme popsat difúzi a osmózu? ¹⁹

¹⁸Je to tlak potřebný k zastavení procesu osmózy. Tlak rozpouštědla pronikajícího přes polopropustnou membránu.

¹⁹Zjednodušeně je možno říci, že u difúze dochází k pohybu rozpuštěných látek, u osmózy k pohybu rozpouštědla. Koncentrovanější látky si své rozpouštědlo přitáhnou.

3 BIOFYZIKA BUŇKY



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Buňka je základní stavební součástí živých organizmů. Z hlediska života jsou rozhodující děje biofyzikální děje, které probíhají na buněčné membráně. Jedná se o tzv. klidový a činnostní (akční) membránový potenciál. Těmto důležitým jevům se věnuje tato kapitola.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat stavbu buňky,
 - popsat jevy na buněčné membráně
 - vysvětlit klidový a akční membránový potenciál.
-



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

buňka, buněčná membrána, klidový membránový potenciál, akční potenciál



K ZAPAMATOVÁNÍ

Buňka je základní strukturní, funkční a rozmnožovací jednotka živého organismus. Na jejich strukturách probíhají biochemické reakce.

- tkáň = soubor buněk určitého typu
- orgán = účelná kombinace různých tkání
- systém = funkční spojení více orgánů

Rozlišujeme čtyři základní typy buněk

- svalové
- nervové
- pojivové

- epitelové.

a tři základní tvary buněk

- kulovitý
 - vejčitý
 - tyčinkový.
-

Chemické složení buňky

- voda 60 % - 90 %
 - rozpouštědlo
 - reakce v buňce probíhají ve vodných roztocích
 - štěpení molekul na ionty
 - akumulace tepla
- sušina (10 % - 40 %)
 - anorganické látky (1 % - 10 %)
 - organické látky (bílkoviny, sacharidy, tuky a nukleové kyseliny).

Stavební součástí všech buněčných struktur jsou molekuly bílkovin. Další základní makromolekulární látkou živých organismů jsou nukleové kyseliny

Na buňce rozlišujeme

- cytoplazmu
- jádro
- buněčné povrchy.

Cytoplazma

= tvořena množstvím drobných buněčných struktur - plazmatických organel, které mohou být několikerého druhu. Základem plazmatických organel jsou biomembrány.

Cytoplazma – optické vlastnosti:

- bezbarvá
- propouští viditelné světlo
- obsahuje pigmenty

Cytoplazma – mechanické vlastnosti:

- elastická
- viskozita vyšší než vody

Cytoplazma – chemické složení:

- pH 6,8 (mírně kyselé prostředí)
- hlavní složka volná a vázaná voda (až 85%)
- elektrolyty – ve vodě disociují na ionty (draselné, hořečnaté...)
- bílkoviny (cca 15%)
- lipidy (cca 2%)
- sacharidy (cca 1%).

Buněčné jádro

- je tvořeno chromozómy (obsahuje i velkou molekulu DNA)
- je ohraničeno dvěma biomembránami (jaderný obal s jadernými póry)
- obsahuje jadérka (bílkoviny a RNA).

Buněčné povrchy

- plazmatická membrána (tvořena glykoproteiny, reguluje příjem a výdej látek, polopropustná)
- buněčná stěna (u rostlinných buněk, tvořena polysacharidy a bílkovinami, určuje tvar buňky, propustná).

Membrána se podílí na mnoha funkcích:

- buněčný transport (výměna mezi intracelulárním a extracelulárním prostředím)
- dráždivost a vzrušivost
- energetika živých systémů
- imunita
- rozmnožování.



KONTROLNÍ OTÁZKA

U kterých buněk lidského těla nedochází k dělení? ²⁰

Membrány oddělují cytoplazmu od prostředí. Obalují nebo tvoří její orgány membránového charakteru (membránová soustava buňky):

- mitochondrie (tyčinkovité nebo vláknité útvary, několik set v jedné buňce, uvolňuje se zde energie z chemických látek)
- cytoskeletární aparát (bílkovinná vlákna, umožňují pohyb cytoplazmy uvnitř buňky a pohyb buňky)

²⁰Jedná se o plně diferencované neurony.

- endoplazmatické retikulum (propojené ploché měchýřky, obsahuje enzymy, syntéza důležitých látek v buňce)
- Golgiho aparát (velké ploché měchýřky, syntéza látek biochemickými procesy)
- lysozémy (malé měchýřky, rozkládají některé nepotřebné látky)
- plastidy (u rostlinných buněk, např. leukoplasty, chromoplasty, chloroplasty)
- vakuoly (u rostlinných buněk, velký měchýř naplněný protoplazmou, enzymy)

Podle struktury dělíme buňky

- prokaryotické (bakterie a sinice)
- eukaryotické (houby, rostliny a mnohobuněční i jednobuněční živočichové).

KONTROLNÍ OTÁZKA



Co zajišťují v buňce mitochondrie? ²¹

3.1 Transport přes buněčnou membránu

Základem všech metabolických pochodů v buňce je transport plazmatickou membránou. Podle energetické náročnosti se rozlišují:

- pasivní transport (nevyžaduje dodání metabolické energie).
- aktivní transport (vyžaduje dodání metabolické energie).

Pasivní transport

Transport ve směru koncentračního nebo elektrochemického gradientu. Z energetického hlediska se tedy na transportu podílí:

- difúze (transport rozpuštěné látky podél koncentračního gradientu)
- elektrický (elektrochemický) gradient.
- usnadněná difúze (selektivní permeabilita)
 - plazmatická membrána obsahuje tzv. kanály (póry a otvory), jsou průchodné pouze pro ionty K^+ a v klidu jsou většinou otevřené.
 - membrána obsahuje také kanály, které jsou průchodné pouze pro ionty Na^+ a v klidu jsou většinou zavřené.
 - membrána je neprůchodná pro velké ionty.
- osmóza (transport rozpouštědla ve směru koncentračního gradientu rozpuštěné látky).
- vrátkování (proces otevírání a uzavírání kanálů)

²¹Uvolňuje se zde energie z chemických látek.

Aktivní transport

Transport proti směru koncentračního nebo elektrochemického gradientu. Je třeba pro něj dodávat energii z metabolických procesů. Rozlišujeme

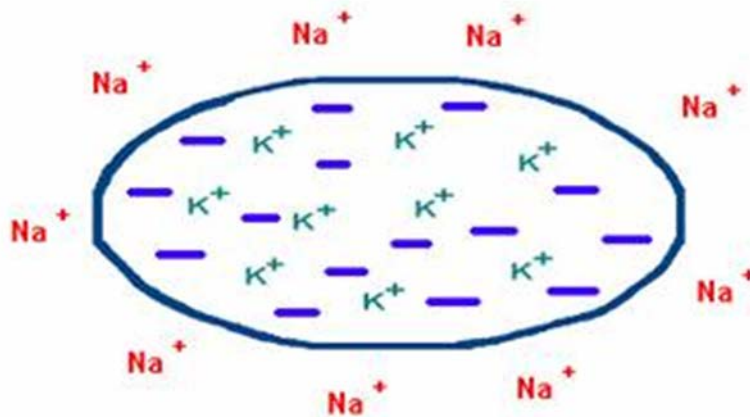
- primární aktivní transport
 - sodíková pumpa = štěpení adenosintrifosfátu (ATP) na adenosindifosfát (ADP) a volný fosfát působením enzymů, které jsou uloženy v buněčné membráně. Rozštěpením jednoho molu ATP na ADP a volný fosfát se uvolní energie 33,5 kJ. To zajistí přenos 3 Na⁺ ven z buňky a 2 K⁺ opět do buňky.
 - Na – K pumpa udržuje uvnitř buňky po celý život nízkou koncentraci Na⁺ a vysoká K⁺.
- sekundární aktivní transport
 - Od primárního aktivního transportu se liší tím, že vazebná afinita proteinu na vnější a vnitřní straně se nemění fosforylací, ale navázáním iontů, nejčastěji sodíkových. Sem je také možno zařadit sekundární aktivní transport glukózy ven z buňky při současném transportu Na⁺ do buňky.

3.2 Membránový potenciál

Tělo buňky je ohraničeno buněčnou membránou. Z funkčního hlediska je membrána důležitá buněčná organela, která se podílí na udržování intracelulárního prostředí a složení extracelulárního prostředí.

V důsledku obsahu určitých iontů, např. K⁺, Na⁺, Cl⁻ a jejich rozdílné průchodnosti membránou je buňka v klidu polarizována:

- vnitřek (intracelulární prostor) je negativní
- vnějšek (extracelulární prostor) je pozitivní.



Obrázek 6: Polarizace buněčné membrány

Napětí mezi intracelulárním a extracelulárním prostředím, se označuje jako klidový membránový potenciál. Velikost tohoto napětí se pohybuje v řádu jednotek až sta milivoltů. Pro buňky pracovního myokardu je typická hodnota klidového membránového potenciálu -90 mV.

K ZAPAMATOVÁNÍ



Klidový membránový potenciál

- dán nerovnoměrným rozdělením iontů po obou stranách buněčné membrány – důsledek koncentračního gradientu iontů Na (uvnitř 30-krát více než vně buněk).
- rozdíl elektrických potenciálů vzniká aktivním transportem (klidový m. p.) a pasivním transportem (akční p.) iontů přes buněčnou membránu
- buněčná membrána je pro ionty Na propustná, ty začínají pronikat vně
- elektrický náboj který nesou ale vytvoří na vnějším povrchu membrány kladné napětí, které další pronikání zastaví
- dán nerovnoměrným rozdělením fyziologických iontů (K, Na, Cl, Ca) po stranách buněčné membrány

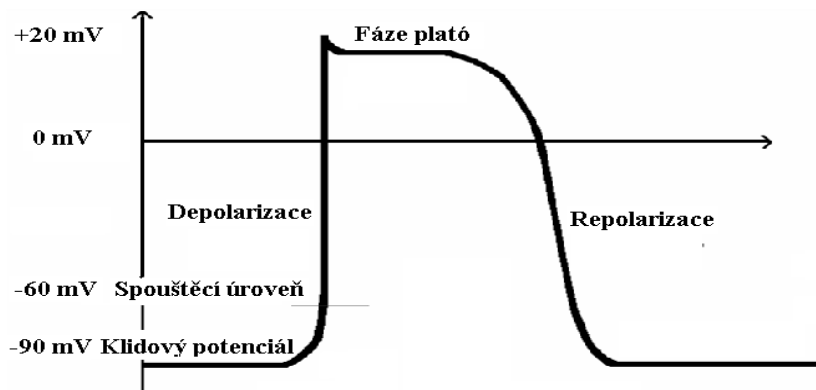
Mechanismus vzniku

- ionty Na^+ čerpány ven a K^+ dovnitř buňky (aktivním transportem tzv. Na-K pum-pa)
- membrána pro Na^+ málo propustná, takže koncentrační gradient Na^+ nemůže být zpětnou difúzí zrušen
- pro neg. nabitě bílkoviny a fosfáty je membrána málo propustná
- membrána propustná pro K^+ , ty pronikají z intracelulárního. do extracelulárního prostoru; proti tomu vzniká potenciál, až nastane rovnováha

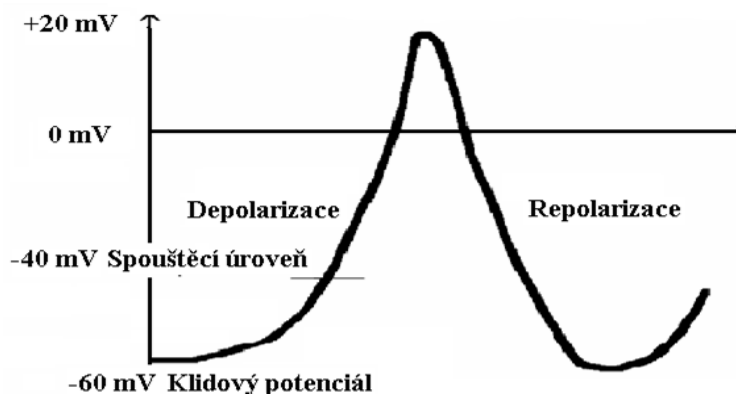
3.3 Akční (činnostní) potenciál

Akční neboli činnostní potenciál je rychlá změna napětí na membráně některých buněk. Intracelulární prostor se z hodnoty -90 mV dostává za krátkou dobu jednotek milisekund na hodnotu $+20$ až $+30$ mV.

- možnost se u vzrušivých membrán šířit i do okolí
- může být vyvolán chemickými ději, vnějšími jevy, příchodem vzruchu nebo změnou napětí na membráně
- časové a napěťové poměry na membráně závisejí na typu buňky viz obr. 7



Obrázek 7: Průběh akčního potenciálu na membráně buňky pracovního myokardu [12]



Obrázek 8: Průběh akčního potenciálu na membráně buňky převodního myokardu [12]



KONTROLNÍ OTÁZKA

Které ionty jsou dominantní při jevech na buněčné membráně? ²²



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaký je účel dlouhé fáze plató u průběhu akčního potenciálu na membráně buňky pracovního myokardu? ²³

K ZAPAMATOVÁNÍ

Vznik a průběh akčního potenciálu

²²Jsou to ionty K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+}

²³Zajišťuje postup depolarizace ve fyziologickém směru a zabraňuje trvalému stahu srdečního svalu.

- depolarizace a transpolarizace způsobeny náhlým zvýšením permeability membrány pro ionty Na^+ – uplatní se jejich gradient – určité množství pronikne specifickým Na kanálem (jen několik ms) na vnitřní stranu membrány
- fáze plató – otevírá se (pomalý) vápenatý kanál, jím pronikají i Na = udržení depolarizace
- repolarizace – po odeznění Ca kanálu, vzrůstající napětí zvýší vodivost K kanálu
- Následkem podráždění se otevřou iontové kanály a změní se propustnost pro ionty (pro K^+ vzroste málo, pro Na^+ více), zrychlí se tok iontů z obou stran, vyrovnají se potenciály a dojde až k transpolarizaci (vnitřek buňky kladný).

Fáze depolarizace a plató = kontrakce (svalových) buněk

Fáze repolarizace = relaxace (svalových) buněk

Akční membránový potenciál má pro různé tkáně svůj charakteristický tvar a dobu trvání. Na průběhu akčního potenciálu se podílí přestup různých iontů přes membránu a tyto ionty procházejí svými vlastními membránovými kanály.

K tomu, aby byl spuštěn mechanismus akčního napětí, stačí vyvolá-li vnější zdroj potenciálový rozdíl na membráně, o velikosti 15 mV (z klidové hodnoty -70 mV na -55 mV). Ke změně membránového napětí může dojít teoreticky několika způsoby:

- změnou teploty
- změnou koncentrace iontů
- změnou hodnot koeficientů permeability.

4 BIOFYZIKA TKÁNÍ A ORGÁNŮ



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Náplní této kapitoly je popis biomechaniky kostí, svalové kontrakce, práce srdce, proudění krve, dýchání, akčních potenciálů srdce a mozku. Bude vysvětlen srdeční cyklus, srdeční objemy a biofyzika dýchání a dechové objemy. Činnost orgánů se dá detekovat jako elektrický signál snímaný z povrchu těla – to jsou elektrokardiografické, elektroencefalografické a jiné signály.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- posoudit mechanické vlastností tkání,
 - popsat srdeční činnost,
 - rozumět významu EKG.
-



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

deformace materiálu, biomechanika, práce svalu, ejekční frakce, dechové objemy, EKG, EMG

4.1 Mechanické vlastnosti tkání

Fyzikální vlastnosti tkání:

- mechanické
 - statické
 - dynamické
- statické vlastnosti:
 - pevnost = odolnost látky proti působení vnější síly
 - pružnost (elasticita) = schopnost tělesa vrátit se po působení vnější síly do původního tvaru

- roztažnost (distenzibilita) = poddajnost látky vůči působení deformující síly
- tvárnost (plasticita) = schopnost látky měnit vlivem vnější síly trvale svůj tvar.
- dynamické vlastnosti:
 - vazkost (viskozita) = dynamická vlastnost látky, která se projevuje během deformačního děje jako odpor proti změně tvaru látky
 - závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi.

Deformace vzniká působením vnější síly na reálná tělesa. To jsou taková, která nejsou ideálně tuhá, ale působením vnější síly mění svůj tvar.

DEFINICE



Základní fyzikální veličinou vztahující se k deformaci tělesa je mechanické napětí σ , definované podobně jako tlak

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta S}$$

Jednotkou mechanického napětí σ je 1 Pa (pascal). Rozměrem je $\text{N}\cdot\text{m}^{-2} = \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$.

Podle působení vnější síly na těleso rozlišujeme mechanické napětí

- tečné (síla je rovnoběžná s plochou, na níž těleso leží)
- normálové napětí (síla je kolmá na tuto plochu).

Při deformaci dochází ke změně rozměrů tělesa. Poměr přírůstku délkového rozměru ΔL a původního rozměru L_0 vzniklého deformací se označuje jako relativní prodloužení ε

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

VĚTA



Vztah mezi relativním prodloužením a napětím udává tzv. Hookeův zákon

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ neboli } \frac{\Delta F}{\Delta S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$$

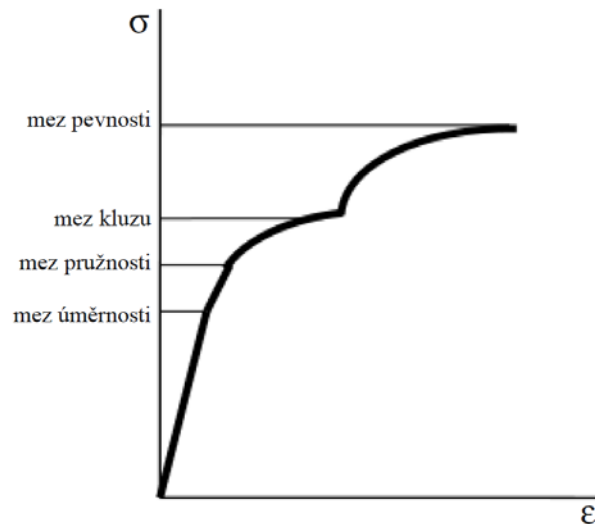
kde E je modul pružnosti v tahu. Vzhledem k bezrozměrnosti relativního prodloužení je jednotkou E rovněž 1 Pa (pascal).

Každý materiál je charakterizován svou deformační křivkou, tedy závislostí mechanického napětí na relativním prodloužení.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Čemu je úměrné prodloužení tělesa? ²⁴



Obrázek 9: Příklad deformační křivky materiálu [1]

Podle způsobu reakce na působení deformující síly dělíme látky na:

- elastické
- plastické (deformace nastává až po určité hodnotě působící síly, po jejím ukončení si zachovávají dosaženou deformaci)
- viskózní (tekutiny)
 - newtonovské (rychlost deformace se mění lineárně s působícím mechanickým napětím)
 - nnewtonovské (rychlost deformace se s působícím mechanickým napětím mění nelineárně)
- viskózně elastické (deformace závisí na vnější síle a čase, do původního stavu se nevrací samovolně, ale vlivem opačně působící síly)

²⁴Působící síle F a modulu pružnosti v tahu E .

- plastickou-viskózně-elastické (vykazují současně vlastnosti látek viskózních i plastických, k deformaci dochází až od jisté prahové síly). Do této skupiny patří většina měkkých tkání.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Co to je deformační křivka? Jaký je obecně její průběh? ²⁵

4.2 Biomechanika kostí

Pro pohybovou mechaniku všech obratlovců je oporou těla kostra složená z kostí, kloubů a vazů. Struktura kosti se přizpůsobuje a zesiluje podle směru trvalých zatěžovacích sil – (zákon o transformaci kostí). Struktura kosti je vybudována s minimem materiálu při maximální pevnosti v daném směru.

Základní typy kostní tkáně jsou

- spongiozní
- kompaktní.

Reálné kosti vykazují vždy kombinaci obou typu kostní tkáně.

Tvary kostí

- dlouhé kosti
 - prostředek kosti = diafýza
 - konce kosti = epifýza
- krátké kosti
- ploché kosti (žebra, spánková kost)
- nepravidelné kosti (obratle).

Spojení kostí (biokinematické dvojice)

- rotační (loketní kloub)
- sférickou (kyčelní a ramenní kloub)
- komplikovanější (např. rotačně-posuvná dvojice kolenního kloubu).

²⁵Je to graf závislosti napětí (normálového) na relativním prodloužení. Průběh: pružná deformace – dopružování – mez pružnosti – tečení materiálu – mez kluzu – mez pevnosti.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké jsou dva základní typy kostní tkáně? ²⁶

4.3 Biofyzika svalů

Svaly = motorické orgány živočichů. Mění energii chemických vazeb (glykogen) v mechanickou práci. Práce je vykonávána prostřednictvím svalového stahu (kontrakce), který je reakcí na nervový podnět.

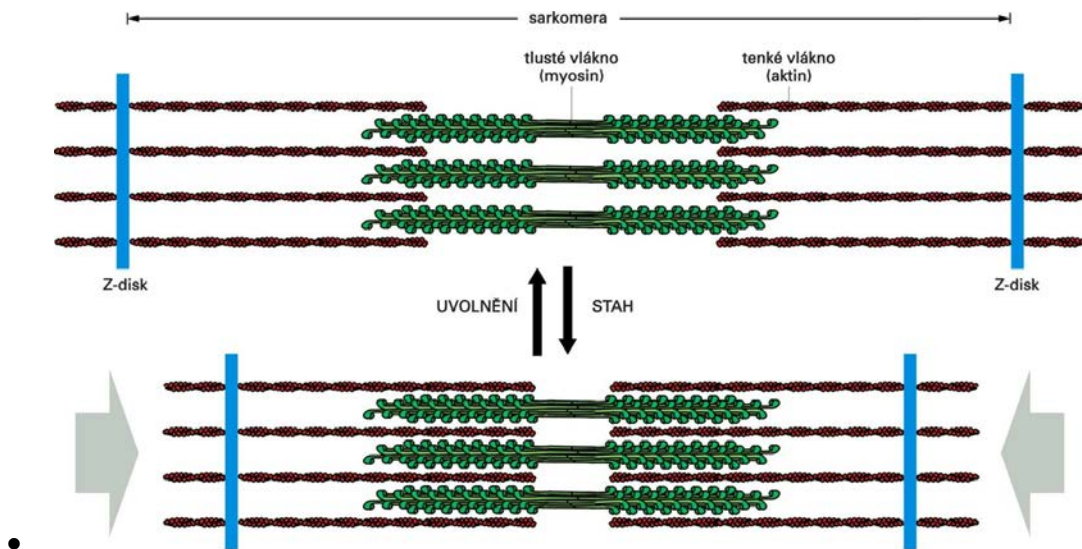
Svalové tkáň se rozděluje na

- kosterní svalovina (příčně pruhovaná) = inervovaná mozgovými a míšními nervy, ovládaná vůlí.
- hladká svalovina (útrobní) = mimovolní
- srdeční svalovina (myokard)
- myoepiteliální tkáň = umožňuje vylučování ze žláz.

Při kontrakci svalového vlákna se aktinová vlákna zasouvají mezi myozinové, čímž se sval zkracuje za vzniku mechanické síly. Při kontrakci vyvíjí sval sílu na své úpony. Rozlišuje se kontrakce

- izotonická (sval se zkracuje a prostřednictvím pák působí na pohyb pohyblivých částí těla = koná se mechanická práce)
- izometrická (sval nemění svou délku – síla vyvinutá svalem při izometrické kontrakci je použita pro vyrovnání jiných vnějších sil obvykle tíhových nebo pro zabránění pohybu.

²⁶ Spongiozní a kompaktní.



Obrázek 10: Schéma svalového stahu [10]

Při kontrakci se uvolňuje teplo $0,12 \text{ J/gram}$ svalu.

Vzniká teplo:

- aktivační (při každé jednotlivé aktivaci)
- zkracovací ($3,5 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$ v průřezu svalu na 1 cm zkrácení).

Celkové teplo uvolněné akcí svalu je nezávislé na zatížení svalu. Kontraktilní elementy svalu se dovedou přizpůsobit různému zatížení.

Svalová vlákna se podle doby zkracování a relaxace dělí:

- tonická (stahují se pomalu a málo intenzivně)
- fázická (stahují se rychle a intenzivně).



Obrázek 11: Průběhy svalového tonu v čase [10]

Oba druhy vláken jsou zastoupeny v každém svalu podle jeho funkce.

Svalová síla = síla potřebná k natáhnutí maximálně kontrahovaného svalu na původní délku. Je největší na začátku natahování a postupně se snižuje.



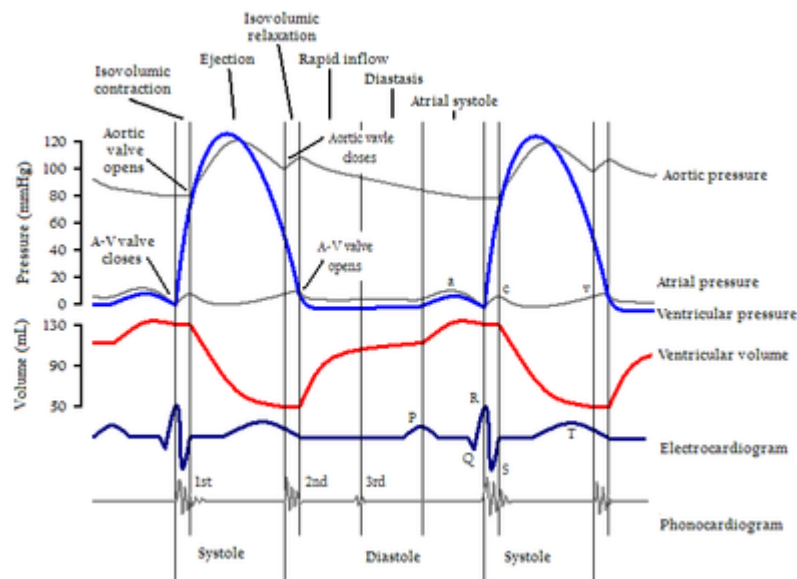
KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké jsou dva základní druhy svalových vláken? ²⁷

4.4 Práce srdce, proudění krve

Srdce je svalovým, dutým orgánem, který rytmickými stahy pohání krev v krevním řečišti. Je uloženo v osrdečníku, který tvoří jeho obal. Skládá se z pravé a levé síně, z pravé a levé komory.

- do pravé síně přitéká odkysličená krev z velkého krevního oběhu
- zezadu a shora ústí horní dutá žíla, zleva a zdola přes bránici pak dolní dutá žíla
- vstup do pravé komory je opatřen trojcípou chlopní
- výstup výtokového traktu je opatřen chlopní plicnice
- vstup do levé komory je přes dvojcípou chlopeň
- pravá a levá komora jsou od sebe odděleny mezikomorovou přepážkou (septum).



Obrázek 12: Fáze srdečního cyklu: plnění síní, plnění komor, vypuzení krve na těla a plic [http://www.enotes.com/topic/Cardiac_cycle]

Srdeční cyklus

- v první (napínací) fázi komorové systoly prudce roste tlak v levé komoře, až převyší tlak v aortě
- následkem tohoto tlakového spádu, se otevírají semilunární chlopně. V ejekční (vypuzovací) fázi, která tímto začíná, se krev vyvrhuje do aorty.

²⁷Tonická a fázická.

- dojde k ochabnutí, komorový tlak rychle klesá, zároveň klesá i tlak v aortě
- aortální chlopně se uzavírají a dojde ke krátkodobému obrácení směru toku krve
- pokles tlaku v aortě se zastaví až uzavřením semilunárních chlopní.

Během následné diastoly jsou aortální chlopně uzavřeny, protože tlak v levé komoře je nižší než v aortě a krev je relativně v klidu.

- tepový objem = množství krve vypuzené při jednom srdečním cyklu (70 ml)
- srdeční akce = počet srdečních cyklů (tepů) za minutu
- minutový objem srdce = množství vypuzené za minutu (tepový objem x srdeční akce), typicky $70 \text{ ml} \times 72 / \text{min} \approx 5 \text{ l/min}$
- srdce přečerpává za 1 minutu prakticky celý objem cirkulující krve
- srdeční index = minutový objem přepočtený na plochu těla.

Normální tlaky v systémovém (velkém) oběhu:

- aorta v době systoly = $16 \text{ kPa} = 120 \text{ mmHg}$
- aorta v době diastoly = $10,5 \text{ kPa} = 79 \text{ mmHg}$.

Normální tlaky v plicním (malém) oběhu:

v době systoly = $3,3 \text{ kPa} = 25 \text{ mmHg}$

v době diastoly = $1,3 \text{ kPa} = 10 \text{ mmHg}$.

KONTROLNÍ OTÁZKA

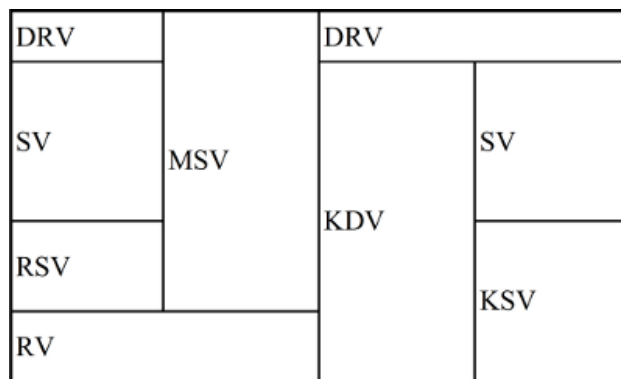


Co je to tepový objem a jaká je jeho průměrná hodnota? ²⁸

Srdeční objemy

- DRV – diastolický rezervní objem
- SV – systolický objem MSV – maximální systolický objem
- RSV – rezervní objem
- RV – reziduální objem
- KDV – konečný diastolický objem
- KSV – konečný systolický objem.

²⁸Množství krve vypuzené při jednom srdečním cyklu. Tento objem činí asi 70 ml.



Obrázek 13: Srdeční objemy [10]



DEFINICE

Ejekční frakce = podíl objemu krve vypuzené při jednom srdečním stahu k množství krve před stahem. $EF = SV/KDV$ [%].

4.5 Biofyzika dýchání

Dýchání je základní životní funkce, spočívající ve výměně dýchacích plynů (kyslíku a oxidu uhličitého) mezi organismem a externím prostředím. Vdechovaný vzduch je však směsí více různých plynů: N_2 (78,03 %), O_2 (20,99 %), vzácné plyny (0,95 %), CO_2 (0,003 %).

Dýchání může rozdělit na

- vnější (výměna dýchacích plynů mezi alveolárním vzduchem a krví)
 - plicní ventilace (doprava vzduchu do alveolů a zpět do zevního prostředí)
 - distribuce (promíchání inspirovaného vzduchu se zbytkovým plicním vzduchem)
 - respirace (výměna plynů mezi plicními sklípky a plicními kapilárami přes alveokapilární membránu)
 - perfúze (trvalá cirkulace krve plicním řečištěm – podílí se na udržování tlakového gradientu pro O_2 a CO_2)
 - difúze (přestup O_2 a CO_2 ve směru tlakového gradientu přes alveolární membránu).
- vnitřní (výměna dýchacích plynů mezi krví a tkáněmi).

O_2 se přenáší:

- fyzikálně rozpuštěný (1,5 %)
- chemicky vázaný na hemoglobin (98,5 %)

CO₂ se přenáší

- fyzikálně rozpuštěný
- vázaný ve formě bikarbonátu
- ve vazbě na proteiny plazmy a hemoglobin.

KONTROLNÍ OTÁZKA

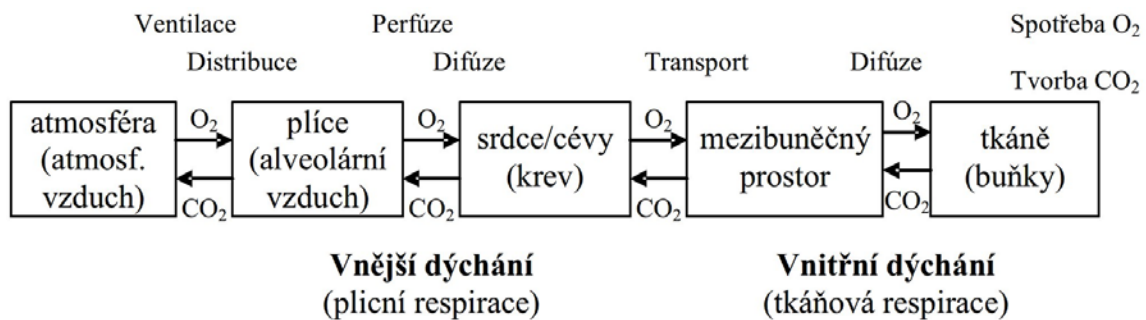


Jaké plyny označujeme jako dýchací? ²⁹

Z hlediska časového průběhu se dechový cyklus rozděluje

- nádech (inspirium)
- výdech (expiriu).

Uplatňují se termodynamické zákony (stavová rovnice, Daltonův zákon, Henryův zákon, Fickovy zákony). Podmínkou proudění vzduchu v dýchacích cestách je tlakový rozdíl mezi atmosférou a alveolami.

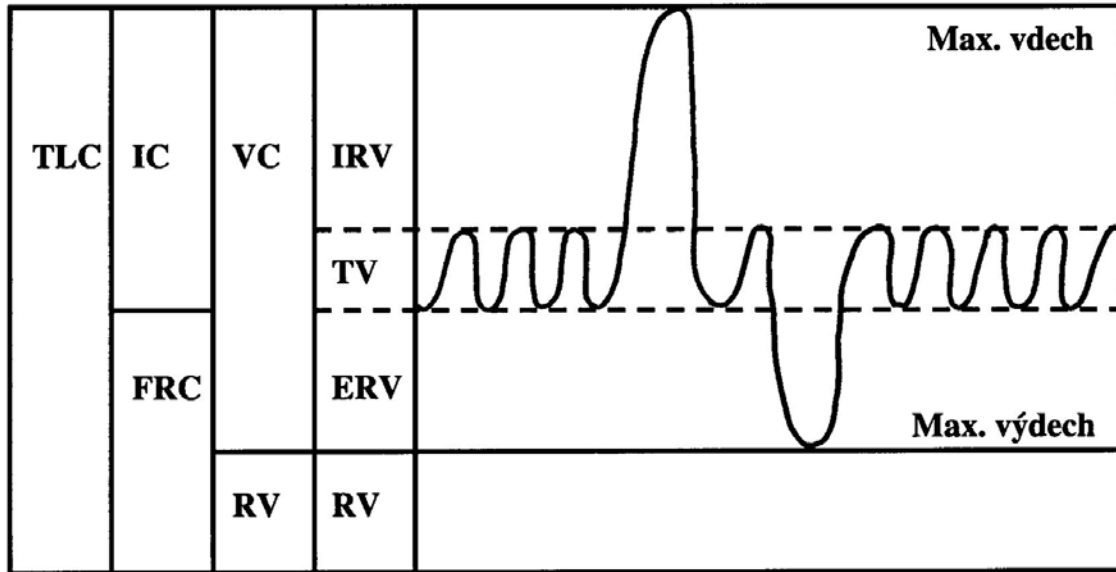


Obrázek 14: Výměna dýchacích plynů [10]

Dechové objemy

- dechový objem (TV), asi 500 ml (15–18 % vitální kapacity).
- inspirační rezervní objem (IRV) = množství vzduchu, které lze maximálním úsilím vdechnout ještě po normálním nádechu, asi 2500 ml (60 % vitální kapacity).
- expirační rezervní objem (ERV) = množství vzduchu, které lze maximálním úsilím ještě vydechnout po klidovém výdechu, asi 1000 ml (25 % vitální kapacity).
- reziduální objem (RV) = množství vzduchu, které zůstává v plicích i po maximálním výdechu, asi 1000–2000 ml.

²⁹Jedná se o kyslík O₂ a oxid uhličitý CO₂



Obrázek 15: Dechové objemy [10]

Plicní kapacity

- Vitální kapacita plic $VC = ERV + VT + IRV$
- Inspirační kapacita plic $IC = VT + IRV$
- Exspirační kapacita $EC = VT + ERV$
- Funkční reziduální kapacita $FRC = RV + ERV$
- Celková kapacita plic TLC

Spirometrie = funkční vyšetření plic.

Přístroj spirometr

- s uzavřeným systémem
- s otevřeným okruhem.

Spirometrické parametry:

- PEF = vrcholová výdechová rychlost
- FEV 1 = usilovně vydechnutý objem vzduchu za jednu vteřinu
- MEF (25, 50, 75) = maximální výdechové průtoky (na různých procentuálních úrovních vydechnuté FVC)
- FRC = funkční reziduální kapacita
- TGV = nitrohruční objem plynů měřený pletysmograficky

4.6 Akční potenciály srdce

U buněk srdečního svalu je během diastoly klidový potenciál asi -80 až -90 mV, daný ionty K^+ . V průběhu systoly vzniká akční potenciál, který má charakteristické plató (viz obr. 7). Průběh akčního potenciálu včetně refrakterní periody je tak řádově delší než u nervových či jiných vláken. V období plató se zvýší propustnost membrány pro vápenaté ionty, které pak působí podobně jako ionty sodné, takže přispějí k udržení stavu depolarizace. Teprve po snížení zvýšené permeability pro vápenaté ionty se zvýší permeabilita pro draselné ionty a dojde k repolarizaci a klidovému potenciálu.

KONTROLNÍ OTÁZKA

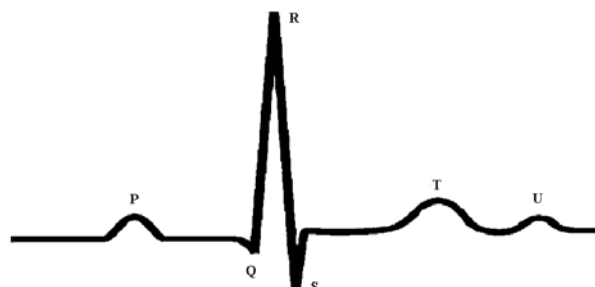


Jaká je velikost klidového membránové potenciálu buněk pracovního myokardu? Vyhledejte si v doporučené literatuře, jak se tato velikost stanovila.³⁰

K ZAPAMATOVÁNÍ



Při obvyklém snímání EKG je depolarizovaná oblast elektronegativní vzhledem k polarizovanému oblastem. Podrážděná myokardiální vlákna se chovají jako dipól a vytvářejí elementární elektrická pole, která jsou v souhrnu charakterizována vektorem srdečního elektrického pole. Elektrické projevy lze sledovat buď elektrodami zavedenými do srdce (epimyokardiálními či endokardiálními), nebo povrchově z končetin a hrudníku. Je-li spojnice snímacích povrchových elektrod umístěna přibližně ve směru podélné srdeční osy, má elektrokardiogram známý tvar podle obrázku níže. Umístění povrchových elektrod je kvůli dobré reprodukovatelnosti standardizováno na bipolární končetinové svody (Einthoven), unipolární zvětšené končetinové svody (Goldberg) a unipolární hrudní svody (Wilson).



Obrázek 16: Základní tvar povrchové křivky EKG [12]

³⁰Je to přibližně -90 mV. Tuto velikost lze stanovit výpočtem tzv. Nerstovy rovnice.

- fyziologický srdeční cyklus začíná oblou a pozitivní vlnou P. Ta trvá asi 80 ms a je obrazem depolarizace síní
- následuje úsek PQ, daný izoelektrickou linií, trvající rovněž asi 80 ms
- dále přichází komorový komplex, složený z kmitů QRS a vlny T
 - negativní kmit Q je obrazem začátku depolarizace komorového myokardu v oblasti septa
 - výrazný a pozitivní kmit R značí postup vzruchu přes stěnu srdečních komor
 - negativní kmit S je obrazem aktivace komorového myokardu při bazi levé komory
- úsek ST je izoelektrická linie po dobu asi 120 ms
- vlna T trvá asi 160 ms a je obrazem repolarizace komorového myokardu
- za vlnou T ještě někdy následuje vlna U, repolarizace Purkyňových vláken.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Která vlna povrchového EKG odpovídá repolarizaci síní? ³¹

4.7 Akční potenciály mozku

Základní jednotka nervové soustavy = neuron.

- dendrity (krátké výběžky buňky, přijímají a zpracovávají signály)
- buněčné tělo (jádro, cytoplazma, organely)
- iniciální segment (vznik akčních potenciálů)
- nervové vlákno (axon, neurit; vedení vzruchů).

Jediný neuron může přijímat informace z mnoha neuronů a i mnoha neuronům přijatou informaci předávat.

Synapse = spojení neuronů nebo neuronů a jiných cílových buněk (smyslové buňky).

Rozlišujeme

- synapse elektrické = těsné spojení mezi buňkami, obousměrný přenos vzruchu,
- synapse chemické = neurony se přímo nedotýkají, jednosměrný přenos vzruchu.

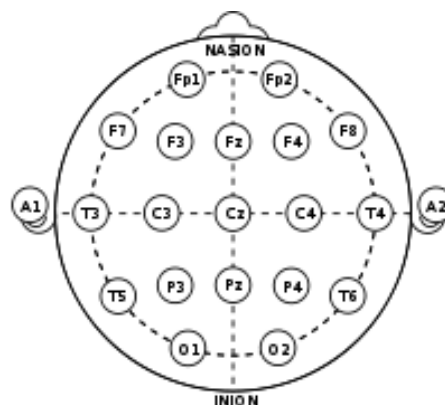
Rozdělení mozku

- přední mozek

³¹Žádná, toto je skryto výraznějším QRS komplexem.

- koncový mozek
 - mozková kůra
 - čichový mozek
 - bazální ganglia
- mezimozek
- střední mozek
- zadní mozek
 - metencephalon
 - mozeček
 - Varolův most
 - míšň mozek
 - prodloužená mícha

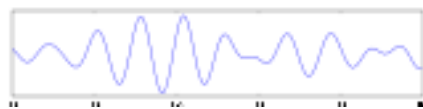
Elektroencefalografie (EEG) = diagnostická metoda používána k záznamu časových změn elektrické aktivity (polarizace neuronů) centrálního nervového systému). Záznam časová aktivity se nazývá elektroencefalogram. Změny v polarizaci neuronů jsou snímány povrchovými elektrodami. Pro rozmístění elektrod na povrchu je používán standardizovaný systém 10/20.



Obrázek 17: Umístění elektrod EEG [10]

Na průběhu elektroencefalogramu se rozlišují tyto významné vlny:

- vlny alfa: $f = 8-13$ Hz, amplituda $< 50 \mu\text{V}$, tělesný a duševní klid



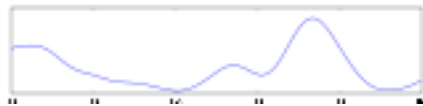
- vlny beta: $f = 15-20$ Hz, amplituda $= 5-10 \mu\text{V}$, zdravý člověk v bdělém stavu



- vlny théta: $f = 4-7$ Hz, amplituda $> 50 \mu\text{V}$, rytmus u dětí, u dospělých je patologický



- vlny delta: $f = 1-4$ Hz, amplituda $= 100 \mu\text{V}$, v hlubokém spánku,



Evokované potenciály = významné změny v EEG signálu vyvolané nějakým vnějším podnětem (světlo, zvuk aj).

Příklady

- VEP = Visual Evoked Potential
- AEP = Auditory Evoked Potential
- BERA = Brainstem Electrical Response Audiometry
- CERA = Cortical Electrical Response Audiometry
- SSEP = Somato-Sensory Evoked Potential.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké vlny rozlišujeme na záznamu EEG? ³²

³²Alfa, beta, théta a delta.

5 BIOFYZIKA VNÍMÁNÍ. EKOLOGICKÁ BIOFYZIKA.

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Náplní této kapitoly je biofyzika vnímání. Všechny smysly a zpracování vnějších podnětů jsou založeny na biofyzikálních principech. Pomocí nich se počitky, mající původně jiné fyzikální vlastnosti (zvukové, světelné vlnění, chemické složení) transformují na nervové vzruchy šířící se do centrálního nervového systému. Každý živý organismus je vystaven určitým vlivům vnějšího prostředí a změnám. Náplní této kapitoly je popsat biofyzikální mechanismy přizpůsobení člověka na změny různých parametrů vnějšího prostředí (teplota, tlak, hluk, elektrická a magnetická pole) a popsat účinky, které tyto změny vyvolávají.

CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- rozlišit různé druhy podnětů,
- posoudit činnost receptoru vzhledem k intenzitě podnětu,
- znát základy biofyziky vnímání,
- posoudit vliv vnějších faktorů na organismus,
- znát účinky hluku, změn teplot, nadmořské výšky (tlaku) a elektrických a magnetických polí na organismus.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



vjem, podnět, receptor, sluch, čich, chuť, zrak, hluk, práh bolesti, termoregulace, chronaxie, reobáze

DEFINICE



Vnímání = příjem a uvědomování si informací z vnějšího a vnitřního prostředí organismu.

Počitek = nejjednodušší prvek vnímání, základ pro složitější procesy; výsledný prvek jednoho smyslového analyzátoru.

Vjem = výsledek většího množství počitků.



VĚTA

Objektivní fyziologie smyslů - Stevensův zákon:

$$R = A \cdot S^n$$

(R = počitek, A = konstanta, S = velikost podnětu, n = 0,2 až 3,5 pro různé druhy podnětů)



K ZAPAMATOVÁNÍ

Druhy podnětů jsou především:

- zrakový
 - sluchový
 - čichový
 - chuťový
 - hmatový.
-



KONTROLNÍ OTÁZKA

Co je to Stevensův zákon? 33



K ZAPAMATOVÁNÍ

Smyslové receptory se rozdělují podle:

- Druhu působící energie (adekvátní energie)

³³Je to mocninná funkce, vyjadřující vztah mezi intenzitou počitku a intenzitou podnětu.

- mechanoreceptory
 - termoreceptory
 - chemoreceptory
 - fotoreceptory.
 - Složitosti:
 - volná nervová zakončení (nejjednodušší)
 - smyslová tělíska
 - smyslové buňky (nejsložitější).
 - Místa vzniku podnětů a způsob zachycení:
 - Exogenní:
 - telereceptory (vzdálené zdroje podnětů - čich, sluch, zrak)
 - exteroreceptory (dotek s organizmem - chuť, kožní vnímání)
 - Endogenní:
 - proprioreceptory (svaly, šlachy, klouby)
 - interoreceptory (ve vnitřních orgánech).
 - Působení podnětu
 - přímo na receptor
 - přenos a zpracování dalšími fyzikálními strukturami.
-

Reakce smyslového receptoru na podnět závisí na kvalitě, intenzitě, trvání a rychlosti změny intenzity podnětu. Biofyzikální podstata podnětu je důležitá pro samotný vznik podráždění v nervových zakončeních, protože každý druh receptoru může na nervové signály transformovat pouze energii určitého typu. Biofyzikální vhodný podnět se nazývá adekvátní (viz rozdělení receptorů podle působící energie).

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké různé druhy receptorů jsou u člověka? ³⁴

K ZAPAMATOVÁNÍ



Z hlediska účinku na receptor rozdělujeme podněty na

- adekvátní (nejcitlivější, nejnižší práh)
- podprahové (nízké intenzity, nejsou schopné vyvolat podráždění s následným vznikem vzruchu)
- prahový (nejvyšší intenzita, která vyvolá vznik akčního potenciálu)

³⁴Mechanoreceptory, termoreceptory, chemoreceptory, fotoreceptory

- nadprahové podněty (s větší intenzitou).
-

Při podráždění nervového vlákna adekvátním podnětem vznikají akční potenciály. Akční potenciál se buď

- rozvine (nadprahový stimul libovolné velikosti)
- nevznikne vůbec (podprahový stimul).

Jestliže čas trvání podnětu přesáhne užitečný čas, intenzitu prahového podnětu to neovlivňuje. Rychlost změn intenzity podnětu má však také svůj vliv.

Vznik akčních potenciálů na buňce vyvolá elektrický impulz. To způsobí rozdíl elektrických poměrů mezi tak podrážděnou buňkou a okolím. Vyvolá to průtok elektrického proudu a akční potenciál se tak šíří i na další buňky.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké účinky má podprahový podnět? ³⁵

5.1 Biofyzika chuti

Receptory chuti jsou tzv. chuťové pohárky. Jsou inervovány více neurony, na asi pět pohárků pak připadá jedno nervové vlákno. Tyto receptory jsou nerovnoměrně rozmístěny v chuťových pohárcích, které se nacházejí především na jazyku, ale také na patře a v krku. Chuťových pohárků má člověk 500-10000.

Rozeznáváme 4 základní druhy chuťových počítků

- sladký = rozeznáván na špičce jazyka
- kyselý = na stranách jazyka
- hořký = na kořenu jazyka
- slaný = na stranách jazyka.

Někdy se uvádí také

- umami (vnímá aminokyselinu kyselinu glutamovou a její soli - glutamáty)
- vápníkový
- tučný.

³⁵Obvykle žádné, nedojde ke vzniku počítku.

Ostatní chutě vznikají kombinací těchto vjemů v koncovém mozku.

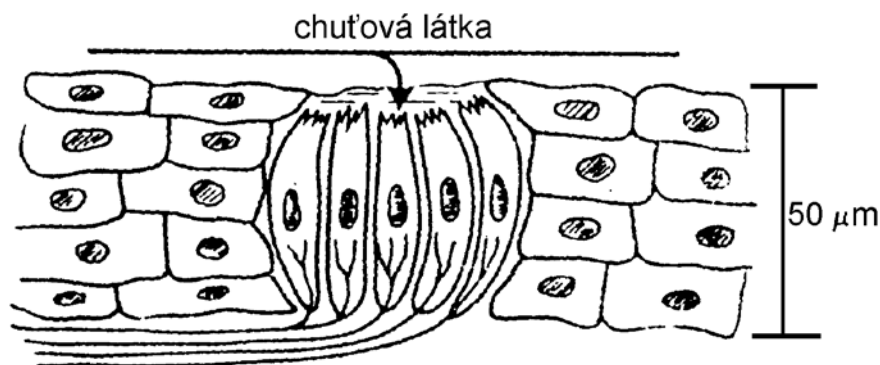
- kyselost je zprostředkována protony (H^+)
- slanost ionty anorganických solí
- sladkost převážně organickými látkami
- hořkost, která je kromě organických látek vyvolána solemi hořčiku a vápníku.

Centrum vnímání chuti se nachází v temenním laloku mozkové kůry, kde se kombinací základních složek tvoří výsledná chuť. Ta je ovlivněna nejen složením jídla, ale také jeho teplotou a především vůní. Chuť je totiž velmi úzce spjata s čichem.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaká je poloha receptorů pro slanou chuť? ³⁶

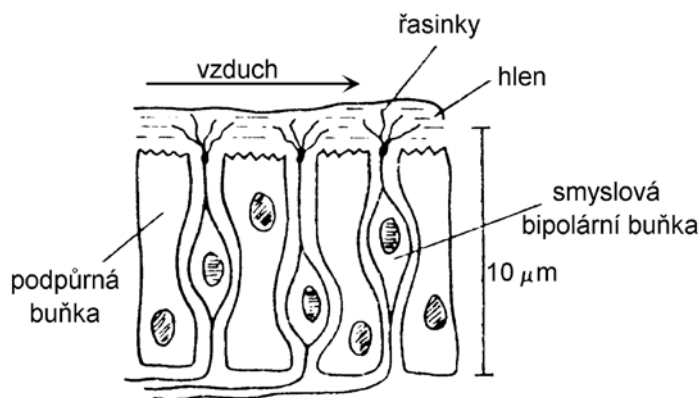


Obrázek 18: Chutě pohárek [10]

5.2 Biofyzika čichu

Čich = schopnost vnímat chemikálie rozpuštěné ve vzduchu nebo ve vodě ve velmi nízkých koncentracích. Čich velmi úzce souvisí s chutí a jejich receptory jsou podobné. U savců je čichovým receptorem nažloutlá a bohatě prokrvená sliznice, umístěná u stropu nosní dutiny, v níž jsou uložena nervová zakončení. Během dýchání přes čichové buňky prochází vzduch s rozpuštěnou vonnou látkou. Vzruchy z nich jsou vedeny do mozku, kde vzniká čichový vjem. Povrch čichové sliznice (epitelu) u člověka je pouze asi do 5 cm². Lze rozlišit až 4000 různých pachů.

³⁶Jsou umístěny po stranách jazyka.



Obrázek 19: Čichové buňky [10]

5.3 Biofyzikální funkce lidského ucha



DEFINICE

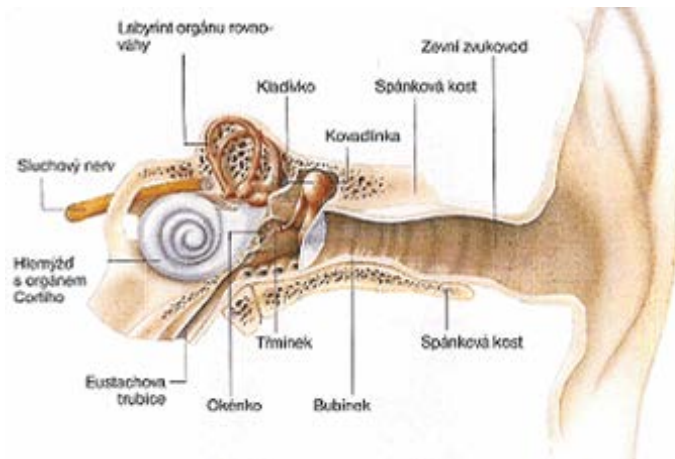
Zvuk je mechanické vlnění (tlakové změny) šířící se prostředím v kmitočtovém rozsahu lidského sluchu (tj. 16 - 20 000 Hz). Rychlost šíření ve vzduchu je asi 340 m/s a je závislá na teplotě podle vztahu $v=331,82+0,81 \cdot t$.

Sluch je fylogeneticky nejmladším smyslem. Sluch se někdy také označuje jako velmi jemný hmat. Sluchový analyzátor je nejsložitější způsob mechanického vnímání. Podstatnou charakteristickou zvuku je jeho kmitočet. Určuje výšku zvuku (tónu), tedy odráží periodicitu zvukového děje ve vědomí. Výška tónu je objektivní. Vnímání výšky tónu je subjektivní.

Kmitočtový rozsah lidského sluchu je asi 16 Hz až 16 kHz (tj. cca 9 oktáv), maximálně až do 20 kHz. Kmitočtový rozsah lidské řeči = 100 Hz až 8 kHz.

Anatomickým orgánem sluchového a rovnovážného ústrojí je ucho. Dělí se na:

- vnější ucho
 - ušní boltec
 - zevního zvukovod
- střední ucho
 - dutinka v pyramidě spánkové kosti
 - tři drobné sluchové kůstky (kladívko, kovádlínka a třmínek)
 - navzájem spojené jemnými klouby
- vnitřní ucho
- hlemýžď, vestibulární labyrint, Cortiho orgán.



Obrázek 20: Anatomie ucha

5.3.1 SLUCHOVÉ VADY

Stejně jako u jiných vad, platí i u vad sluchových, že se mohou lišit stupněm závažnosti – od lehkých přes středně těžké a těžké až po velmi těžké. Navíc však v tomto případě musíme rozlišovat i různé typy vad:

- převodní (konduktivní)
- percepční (senzoneurální)
- smíšené (kombinované).

Toto dělení rozhoduje, do jaké míry a jakými prostředky lze vadu odstranit, zmírnit nebo alespoň kompenzovat.

Převodní poruchy jsou ty, jejichž příčina je v zevním nebo středním uchu; převodní se jim říká proto, že je při nich poškozen nebo zcela znemožněn převod zvuků do vnitřního ucha. Často jsou spojeny i s bolestí v uchu nebo s výtokem z něj. Ztráta sluchu obvykle nepřesahuje 60 dB, takže zvuky hlasitější tito lidé slyšet mohou. Proto také právě tyto osoby nejvíce těží z pomoci sluchových pomůcek (sluchadel). Převodní poruchu sluchu mohou vyvolat i úrazy hlavy, a to nejčastěji rozpojením či zlomením sluchových kůstek.

Percepční nedoslýchavost je následkem poruchy vnitřního ucha. O percepční nedoslýchavosti mluvíme, pokud jsou poškozené vláskové buňky, nervová vlákna nebo jejich spojení s hlemýžděm, nebo pokud nefungují optimálně. Pokud je poškozená část vnitřního ucha, ztratí se nebo sníží schopnost přeměnit mechanickou energii na elektrickou, která je posílána do mozku.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké jsou druhy sluchových vad? ³⁷

5.4 Biofyzikální funkce lidského oka



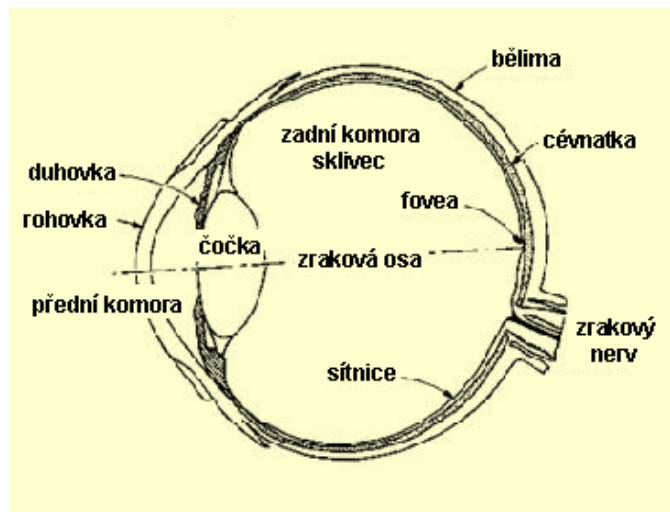
DEFINICE

Světlo = příčné elektromagnetické vlnění. Rychlost šíření závisí na prostředí. Pro všechny elektromagnetické vlny ve vakuu platí rychlost $c=3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podobně jako u světla platí

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Vidění = příjem a zpracování informací o vnějším světě zrakovým analyzátozem – okem. To zahrnuje i další přídatné celky = oční víčka, řasy, slzné žlázy, spojivky, zevní oční svaly. Primární obraz vzniká optickou a fotochemickou cestou.

Optické dráhy = systém nervových buněk zajišťující přenos informace do mozku.



Obrázek 21: Schéma lidského oka [<http://www.paladix.cz/clanky/barevne-videni-druhy-pohled.html>]

³⁷Jsou tři – převodní, percepční a smíšené.

Bělina

- tloušťka 1–1,5 mm, v zadní části je otvor pro průchod nervu

Cévnatka

- tvoří temnou komoru pro sítnici a udržuje teplotu oka

Sítnice

- světločivná vrstva oka, obsahuje fotoreceptory – tyčinky a čípky

Rohovka

- tloušťka 0,7 mm

Duhovka

- kruhový otvor (zornice)

Čočka

- vyvíjí se po celý život, ve stáří akomodace klesá a se čočka mění v tuhé jádro.

Sklivec

- složení 99 % H₂O, 7 g NaCl na 1 litr, změna kyselosti vyvolá změnu očního tlaku

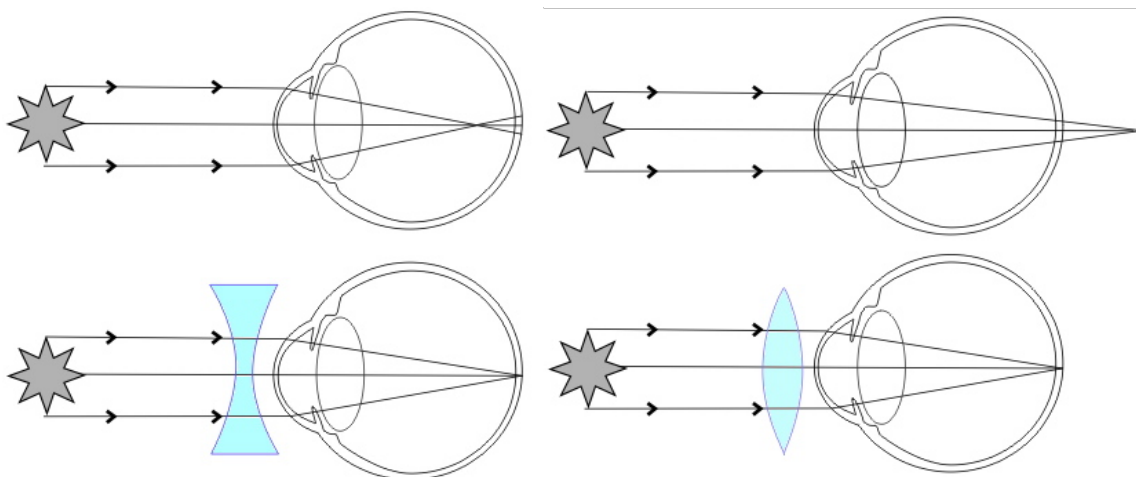
Komorová voda

- mezi rohovkou a duhovkou, tekutina 7–8 % NaCl na 1 l.

Člověk má světločivé buňky v sítnici každého oka.

- tyčinky (asi 130 milionů buněk) – rozlišují pouze odstíny šedi a zajišťují vidění i za slabé intenzity světla = skotopické vidění.
- čípky (asi 7 milionů buněk) – umožňují barevné vidění (modrá, zelená a červená). Zajišťují vidění za dobrých světelných podmínek = fotopické vidění.

Zdravé oko tvoří bodovou zobrazovací soustavu a jeho obrazové ohnisko leží na sítnici. V tomto případě je oko emetropické. V případě, kdy obrazové ohnisko neleží na sítnici nebo optický systém oko nezobrazuje bodově, jedná se o ametropické oko.



Obrázek 22: Krátkozrakost a její korekce, dalekozrakost a její korekce
[<http://www.cocky-online.cz/ocni-vady-kratkozrakost/>]

Ametropie = refrakční vady oka.

Druhy ametropií (podrobněji viz kapitola 11):

- Sférická:
 - krátkozrakost (myopie) = lomivost příliš velká, paprsky se sbíhají před sítnicí; koriguje se čočkou rozptylkou;
 - dalekozrakost (hyperopie) = lomivost příliš malá, paprsky se sbíhají za sítnicí; koriguje se čočkou spojkou;
- Asférická:
 - astigmatismus = lámavé plochy nemají souměrný sférický (kulový) tvar, způsobující nepřesné zaostření světla na sítnici; paprsky světla se nespojují na sítnici do jednoho ohniska, ale vzájemně se míjejí a na sítnici se projevují jako různě velké a zakřivené plošky; v malé míře přítomen u každého, ale vyrovnán oční čočkou.

Konvenční zraková vzdálenost pro čtení = 0,25 m.

Presbyopie (starozrakost, vetchozrakost) = přirozená degenerace oční čočky, není možné již ostře vidět předměty v konvenční zrakové vzdálenosti.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Co je to žlutá skvrna? (použijte případně doporučenou literaturu)³⁸

³⁸Jedná se místo na sítnici, kde je největší hustota čípků, a proto nejostřejší vidění.

KONTROLNÍ OTÁZKA

Jak byla stanovena hodnota konvenční zrakové vzdálenosti? (použijte případně doporučenou literaturu) ³⁹

5.5 Ekologická biofyzika.**DEFINICE**

Ekologická biofyzika (ekobiofyzika) se zabývá vztahem (interakcí) organismu a vnějšího prostředí.

Výsledkem interakcí organismu s vnějším prostředím je:

- reakce organismu na účinek vnějších faktorů (okamžitá odpověď na vnější podnět)
- případné poškození organismu vnějšími faktory (patologická změna vyvolaná podnětem)
- adaptace (změna fyziologické funkce následkem přizpůsobení organismu dlouhodobému působení fyzikálního faktoru).

K faktorům působícím na organismus patří vystavení (expozice):

- zvuku (hluku),
- ionizujícímu záření,
- mechanickým vlivům (tlak, gravitace),
- meteorologickým podmínkám, teple
- elektrickým proudům,
- neionizujícímu záření,
- chemickým látkám v prostředí,
- biologickým agens v prostředí,
- chemickým látkám v potravinách a pokrmech,
- biologickým agens v potravinách a pokrmech.

Účinek závisí na:

- druhu podnětu
- intenzitě

³⁹Je to nejmenší vzdálenost předmětu od oka, kde je oko minimálně namáháno (akomodace).

- době trvání podnětu
- místu působení
- citlivosti organismu.

Některé příznivé účinky vnějších jevů se používají při tzv. fyzikální léčbě.

5.5.1 VYSTAVENÍ MECHANICKÝM VLIVŮM (TLAK, GRAVITACE)

Organismus je mechanickým vlivům vystaven neustále, protože atmosférický tlak vzduchu a gravitační zrychlení působí trvale.

Geobiofyzika = zkoumá účinky zemské gravitace a zrychlení.

Barobiofyzika = zkoumá účinky podtlaku a přetlaku.

Na zemském povrchu má gravitační zrychlení velikost $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Podle výslednice všech zrychlení působících na organismus rozlišuje

- stav beztíže
 - výslednice všech sil je nulová
 - nenastává dráždění vestibulárního ústrojí (není povědomí o poloze těla v prostoru)
 - porucha koordinace
- gravitační přetížení
 - kladné
 - směřuje od hlavy k nohám (rychlý pohyb vzhůru)
 - člověk snese až 5-ti násobné kladné přetížení (5.g)
 - hromadění krve v dolních končetinách, klesá arteriální tlak v srdci
 - vzniká odkrvení mozku, tzv. bílá slepota
 - záporné
 - směřuje od nohou k hlavě (rychlý pohyb dolů)
 - člověk snese až 3-násobné záporné přetížení (3.g)
 - hromadění krve v hlavě, tzv. červená slepota
 - příčné
 - směřuje kolmo na osu těla.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Snese člověk větší kladné (pohyb vzhůru) nebo záporné (pohyb dolů) přetížení?⁴⁰

⁴⁰Až 5-ti násobné kladné přetížení a 3-násobné záporné přetížení.

Při nepravidelných změnách pohybu organismu může vzniknout tzv. kinetóza. Projevuje se zvracením, bledostí při cestování v dopravních prostředích. Příčinou je dezorientace centrální nervové soustavy, kdy vznikají protichůdné vjemy z různých receptorů (vestibulární ústrojí, oko, žaludek, aj.) Pro zachování rovnováhy organismu musí statické orgány zpracovat informace z vnějšího prostředí.

PRO ZÁJEMCE



Účinky nadmořské výšky (atmosférický tlak s výškou klesá)

- v důsledku snížení atmosférického tlaku dochází ke snižování nasycení krve kyslíkem (tzv. saturace). Do výšky 2000 m se saturace krve kyslíkem nemění a je normální. Ve výškách 5000–5500 m představuje atmosférický tlak jen asi 50 % normální hodnoty a saturace krve kyslíkem je asi 80 %. S další nadmořskou výškou saturace rychle klesá. Objevují se bradykardie, klesá minutový srdeční výdej. Postupně se objevují bolesti hlavy, palpitace, závratě, únava.
- nutná je aklimatizace, která je však úplná až po třech týdnech pobytu. Pokud není aklimatizace dostatečná, vzniká tzv. horská (výšková) nemoc, vedoucí k otupení smyslového vnímání a apatii.

V terapii respiračních onemocnění se používají tzv. podtlakové komory, kde je tlak snížen v rozmezí 20–40 kPa.

Účinky v hloubce pod vodní hladinou (hydrostatický tlak s hloubkou roste)

Při ponoru pod hladinu se zvyšuje tlak vody a tím zvyšuje parciálních tlaků dýchacích plynů (kyslík, dusík), což zapříčiní jejich vyšší obsah v krvi. Po snížení tlaku při vynořování se dýchací plyny uvolňují, přičemž kyslík se v tkáních zužitkuje, ale dusík se uvolňuje pomaleji a tvoří bubliny, které způsobí svalové bolesti, křeče až bezvědomí.

V terapii plicních onemocnění, otrav CO nebo popálenin se používají tzv. přetlakové komory (barokomory), kde je tlak 26–54 kPa.

5.5.2 VYSTAVENÍ METEOROLOGICKÝM PODMÍNKÁM

Vlivem podnebí a počasí se zabývá bioklimatologie resp. biometeorologie. Ty lze rozdělit na:

- humánní
- zoologickou

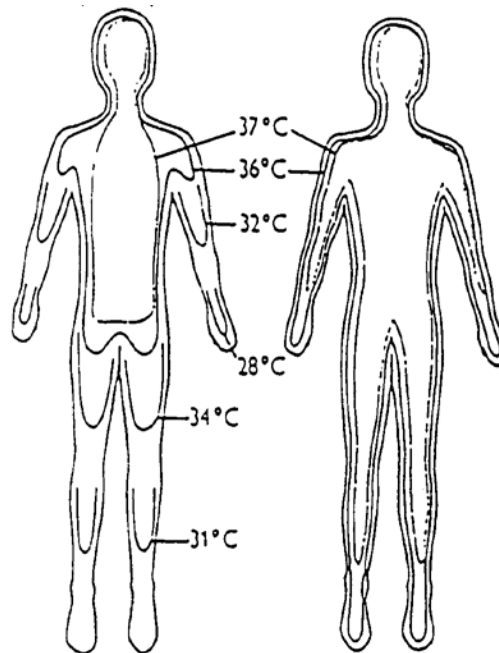
- botanickou
- kosmickou.

Různé druhy teplokrevných živočichů mají různou hodnotu udržované vnitřní teploty. Teplo se v těle tvoří exotermickými biochemickými reakcemi nebo svalovou prací. Denně se u člověka vytvoří asi 6300 kJ.

Výdej tepla se uskutečňuje

- 35 % vedením (kondukcí) a prouděním (konvekcí)
- 40 % sáláním (radiací)
- 25 % vypařováním (evaporací).

Účinnost termoregulačních mechanismů je ovlivněna vlhkostí vzduchu, danou obsahem vodních par ve vzduchu.



Obrázek 23: Rozložení teploty u člověka [10]



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké množství tepla se u člověka denně vytvoří? Jaká je oproti tomu doporučený příjem energie potravou? 41

⁴¹Vytvoří se asi 6300 kJ. Doporučený příjem (pro muže) je 8000 kJ.

5.5.3 VYSTAVENÍ ELEKTRICKÝM A MAGNETICKÝM POLÍM

Elektrické pole Země vzniká mezi záporně nabitým zemským povrchem a kladně nabitou ionosférou. Jeho velikost je v řádu stovek V/m. Pro organizmus je vhodná převaha záporně nabitých iontů, převaha kladných iontů může způsobit únavu nebo bolesti hlavy.

Magnetická pole jsou rovněž součástí životního prostředí. Biologické účinky magnetických polí jsou důsledkem působení na příslušné receptory, ovlivnění reakcí radikálů a tkáňové iontové výměny (především vápenatých iontů Ca^{2+}). Magnetická pole způsobují vazodilataci, analgezii, podporují hojení. Statické magnetické pole (permanentní magnety) snižuje dráždivost nervových struktur, nízkofrekvenční ji zvyšuje. Magnetické pole zpomaluje laminární proudění a sedimentaci erytrocytů. Dále se využívají pro rehabilitaci, urychlení hojení, při bolestech zad, neuralgií aj.

6 ÚČINKY TEPLA, TERMOTERAPIE. BIOLOGICKÉ RYTMY.



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Náplní této kapitoly je objasnění reakcí organismu na vnější podněty. Především pak na podněty teplotní, kdy je popsána termoregulace. Jelikož se většina biologických dějů se děje v pravidelných rytmech, jsou v závěru této kapitoly popsány biorytmy.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat termoregulační mechanismy,
 - rozlišit základní biologické rytmy.
-



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

termoregulace, biorytmy

V lidském těle dochází k pomalé oxidaci sacharidů, tuků a bílkovin z potravy, a tak se vytváří energie pro činnost svalů a všech orgánů. Klidový (bazální) metabolismus je asi $45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ na jednotku plochy těla (1 m^2). Vzniklé teplo musí člověk odvádět do okolního prostředí, musí tak dosáhnout tepelné rovnováhy mezi teplem vyrobeným a odevzdaným. V těle se může akumulovat jen malá část tepelné produkce.

6.1 Účinky tepla, termoterapie



DEFINICE

Teplo Q je forma energie, celková kinetická energie neuspořádaného pohybu molekul látky.

Odevzdávání tepla, tj. ochlazování organismu se děje následujícími fyzikálními mechanismy:

- prouděním (konvekcí, asi 15 %) tepla z povrchu těla do okolního vzduchu,
- sáláním (radiací, až 60 %) tepla z povrchu těla na okolní předměty a stěny,
- vedením (kondukcí, asi 1 %) tepla na dotykové plochy.

Dále je možné teplo odevzdávat:

- vypařováním (evaporací) potu na povrch kůže,
- ohřevem vdechovaného vzduchu v plicích,
- vypařováním vody v plicích.

Subjektivním pocitem tepelného komfortu se označuje stav dosažení tepelné rovnováhy člověka bez nadměrného pocení.

Intenzita vývinu tepla v lidském těle závisí na činnosti člověka.

• spánek (bazální metabolismus)	85 W
• sezení v klidu – duševní práce	90 - 95 W
• sezení s mírnou aktivitou a uvolněné stání	120 - 150 W
• lehká práce (práce v laboratoři, učitelé)	140 - 200 W
• středně těžká práce (slévači, přednášející)	200 - 260 W
• chůze rychlostí 3,5 km/h po rovině	290 W
• těžká práce (tesaři, nakládači s lopatou)	260 - 320 W
• velmi těžká práce (dřevorubci, ruční sekáči)	320 W
• krátkodobý max. výkon	1800 W

Spotřeba energie za 24 hodin je rovněž individuální a závisí na převažující denní činnosti:

- klid 10 - 11 MJ
- lehká práce 11 - 14 MJ
- těžká práce 14 - 18 MJ.

Vyšší tělesná teplota zrychluje metabolismus a působí relaxačně na kosterní svaly. Přehřátí se organismus brání rozšířením kožních kapilár a pocením. V horké vodě je činnost termoregulace omezená, teplo se odpařuje jen z neponořených částí. Z důvodu nerovnováhy mezi přijatým a odevzdaným teplem nastane zvýšení tělesné teploty. Dýchání je povrchové a zrychluje se. Příznivé účinky tepla se využívají v termoterapii. Teplo vyvolá snížení odporu v cévách kůže i jinde a zvýší se prokrvení.

Snížení teploty organismu se nazývá hypotermie. Dochází k zúžení cév a tím k omezení ztrátám tepla sáláním a vedením. Zvyšuje se tak i periferní cévní odpor, roste krevní tlak, mírně se zvyšuje srdeční frekvence. Produkce tepla se zvyšuje až na čtyřná-

sobek. Hlavními mechanismy jsou svalová aktivita a svalový třes. Při poklesu teploty tělesného jádra pod 35 °C vzniká třes, psychické změny, dezorientace, halucinace. Při teplotě jádra pod 30 °C nastává bezvědomí. Při poklesu pod 28 °C selhání krevního oběhu a smrt. Uměle se teplota tkání snižuje z terapeutických důvodů. Hypotermie se využívá při některých chirurgických a neurochirurgických operacích. Chlad dále zvyšuje činnost štítné žlázy, prohlubuje dýchání a zpomaluje metabolismus.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jakými biofyzikálními mechanismy se tělo brání před chladem? ⁴²

6.2 Biologické rytmy

Většina biologických dějů se děje v pravidelných rytmech. Perioda se pohybuje od milisekund, přes tzv. cirkadiální (nejčastější, perioda 24 hodin), až po sezónní (perioda jeden rok). Rozhoduje i původ vzniku rytmu. Rozlišujeme

- endogenní rytmy (procesy v organizmu)
- exogenní rytmy (změny vnějšího prostředí).

Základním biorytmem je 24 hodinový (cirkadiální) cyklus, kterým se řídí více než 300 funkcí a dějů. Cirkadiální rytmy jsou společné pro všechny formy života. Tento rytmus se vyvinul jako adaptace na cyklické změny prostředí dané otáčením zeměkoule. Dále existují sezónní rytmy, jež jsou úzce svázány s cirkadiálními rytmy a vnímáním času. Tyto biologické rytmy umožňují organismům předpovídat budoucí změny prostředí a připravit se na nepříznivé období.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jakou periodu má nejčastější biorytmus? ⁴³

⁴²Vazokonstrikce, nárůst krevního tlaku, zvýšení rychlosti srdeční akce, svalový třes.

⁴³Cirkadiální rytmus, perioda 24 hod.

7 ZDROJE A DRUHY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ. DETEKCE A DOZIMETRIE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Náplní této kapitoly je základní popis vzniku a detekce ionizujícího záření. Ionizující záření může vzniknout přirozeně (v přírodě) nebo uměle. Existují čtyři druhy záření, které označujeme α , β , γ a neutronové záření. Ionizující záření se v medicíně široce využívá pro diagnostiku i terapii. Vzhledem k potenciálně nebezpečným účinkům ionizujícího záření je nutno zajistit sledování činnosti zdrojů a měření dávek ionizujícího záření. Pro se v této kapitole seznámíme s principy detekce ionizujícího záření.

CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- znát základní druhy ionizujícího záření a jejich vlastnosti,
- interakce záření,
- metody dozimetrie,
- vysvětlit principy detektorů ionizujícího záření,
- vysvětlit jev scintilace.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



ionizující záření, záření alfa, beta, gama, dozimetrie, dávky, ionizující záření, detekce, scintilace, detektory

Zdroje ionizujícího záření je možno rozdělit na

- Přírodní:
 - kosmické záření, radionuklidy (uran, radium)
- Umělé
 - rentgenky, umělé radionuklidy
 - urychlovače
 - kruhové

- cyklotron
- betatron
- lineární
- Jaderné reaktory

Atom je složen z atomového obalu a atomového jádra. Atomové jádro je kladně nabitá část atomu a je jeho hmotným i prostorovým středem. Atomové jádro tvoří více než 99,9 % hmotnosti atomu. Průměr jádra je jen asi 10^{-14} m, kdežto průměr celého atomu je asi 10^{-10} m. Jádro se pak skládá z nukleonů, což jsou neutrony a kladně nabitě protony. Ty se pak ještě dále skládají z kvarků a gluonů. Nukleony uvnitř jádra na sebe navzájem působí silami, které se označují jako jaderné síly.

- protonové číslo Z = vyjadřuje počet protonů v jádře
- nukleonové (hmotnostní) číslo A = vyjadřuje celkový počet nukleonů v jádře
- neutronové číslo $N = A - Z$, udává počet neutronů v jádře
- izotopy prvku = obsahují při stejném počtu protonů různý počet neutronů
- nuklidy = atomy, které mají stejné protonové číslo i nukleonové číslo.

Jako elementární částice se označují buďto subatomární částice (elektrony a nukleony).



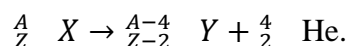
KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaký je náboj jednoho elektronu? (použijte případně doporučenou literaturu) ⁴⁴

7.1 Zdroje ionizujícího záření v životním prostředí

Přirozená radioaktivita je důsledkem samovolného rozpadu atomového jádra některých nestabilních izotopů. Látky, jejichž jádra jsou schopna samovolného rozpadu, se označují jako radioaktivní. Při radioaktivním rozpadu mohou vzniknout čtyři druhy záření, které označujeme α , β , γ a neutronové záření.

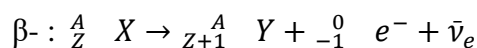
Záření α je proud jader helia (α -částic) a nese kladný elektrický náboj. Dochází při něm k přeměně jádra prvku ${}^A_Z X$ na jádro jiného prvku podle vztahu



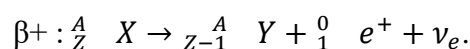
⁴⁴Je to $1,6 \cdot 10^{-19}$ C (elementární náboj)

Protonové i neutronové číslo α -částice je rovno 2. Vzhledem k velikosti částic α jde o nejméně pronikavý druh jaderného záření. Lze jej odstínit i listem papíru. α -částice se také poměrně pomalu pohybují, ale mají silné ionizační účinky.

Záření β je proud záporně nabitých elektronů. Někdy se rozlišuje záření β^- (elektrony) a β^+ (kladně nabitě pozitrony). Dochází při něm ke zvětšení protonového čísla Z o jedničku při zachování počtu nukleonového čísla A podle vztahů



nebo



Charakteristické pro β^- přeměny je emise elektronového neutrína ν_e nebo antineutrína $\bar{\nu}_e$ a uvolnění energie odpovídající hmotnostnímu úbytku systému. Záření β je středně pronikavé, lze ho zachytit 1 cm plexiskla nebo 1 mm olova.

Záření γ je elektromagnetické záření o vysokém kmitočtu s velkou energií kvant fotonů. Nemá elektrický náboj. Může se uvolnit po vyzáření částic alfa nebo beta jako zbývající nadbytečná energie při přechodu jádra do stabilnějšího stavu. Protonové ani nukleonové číslo jádra se po vyzáření kvanta záření γ nemění. Jeho pronikavost je velmi vysoká, ale je méně ionizující. Pro odstínění se používají tlusté štíty z kovů velké hustoty (olovo).

Neutronové záření je proud neutronů. Nemá elektrický náboj. Pohltí jej tlustá vrstva vody nebo betonu.

Radioaktivitu charakterizujeme jako změnu počtu částic za určité časové období. Obsahuje-li systém v určitém počátečním čase nějaký počet atomů stejného druhu, dochází v důsledku α a β rozpadu ke změně původního počtu atomů. Je-li v čase t v systému původní počet atomů n , pak počet atomů Δn , které se přemění za čas Δt závislý na druhu atomů. Platí rovnice

$$-\Delta n = \lambda \cdot n \cdot \Delta t$$

kde λ je tzv. rozpadová konstanta.

Záporné znaménko značí, že Δn je záporné, protože nepřeměněných atomů ubývá.

Řešením této diferenciální rovnice obdržíme již známý vztah pro časovou závislost počtu atomů při radioaktivním rozpadu

$$n(t) = n_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

kde n_0 je počet nerozpadlých atomů v počátečním čase 0 a $n(t)$ počet nerozpadlých jader v čase t . Poločasem rozpadu $T_{1/2}$ pak označujeme dobu potřebnou k přeměně právě poloviny původního počtu atomů. Z podmínky

$$n(T_{1/2}) = \frac{n_0}{2} = n_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

dostáváme

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$



PRO ZÁJEMCE

Nestabilní jádra vznikající v přírodě bývají často radioaktivní. Radioaktivní prvky jsou uspořádány do radioaktivních rozpadových řad. Rozpadová řada popisuje postupný radioaktivní rozpad nestabilních jader těžkých prvků. Rozpad v těchto řadách probíhá vždy rozpadem alfa nebo beta. Rozlišujeme tři přírodní radioaktivní řady:

Uranovou $4n+2$, začínající uranem U 238 a končící olovem Pb 206

Aktiniovou $4n+3$, začínající uranem U 235 a končící olovem Pb 207

Thoriovou $4n$, začínající thoriem Th 232 a končící olovem Pb 208.

Existuje i čtvrtá umělá radioaktivní řada Neptuniová $4n+1$, začínající plutoniem Np 237 a končící bismutem Bi 209. S výjimkou Neptuniové řady začínají všechny základní řady relativně stabilním, v přírodě běžným izotopem s extrémně dlouhým poločasem rozpadu 10^9 až 10^{10} let. Na konci každé rozpadové řady je stabilní izotop. Počet rozpadových řad vyplývá z toho, že vyzařováním alfa se počet nukleonů mění právě o čtyři, zářením beta se nemění. Z hlediska využití přirozeně radioaktivních prvků ve zdravotnictví je nejdůležitější řada uranová, protože obsahuje prvky radium a radon, které jsou terapeuticky využívány;

Počet radioaktivních přeměn, které nastanou v systému za určitý čas, charakterizuje veličina aktivita A . Z definice se vypočte podle vztahu

$$A = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

Jednotkou aktivity A je becquerel Bq, odpovídající jedné přeměně za sekundu.

Pohlcování záření γ je dáno exponenciálním vztahem

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x},$$

kde I_0 je počáteční intenzita a μ je absorpční koeficient. Absorpční vlastnosti určitého materiálu je možno vyjádřit polotloušťkou D, což je tloušťka průchodem přes kterou klesne počáteční intenzita záření γ na polovinu. Platí podobně jako při odvození poločasu rozpadu

$$D = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

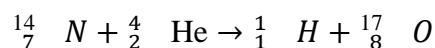
KONTROLNÍ OTÁZKA



Co je to aktivita radioaktivního prvku? ⁴⁵

7.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Umělá radioaktivita je podmíněna přeměnou jádra, která je způsobena nějakým vnějším vlivem. Například po ostřelování částicemi α se mohou jádra dále samovolně rozpadat. Historicky první radioaktivní přeměnou byla přeměna atomu dusíku na kyslík podle rovnice



Umělými radioaktivními přeměnami je možné připravovat umělé nuklidy, které v přírodě vlastně nevyskytují. Jedná se o prvky, které mají protonové číslo $Z > 92$. Všechny tyto umělé nuklidy jsou však velmi nestabilní a rychle se rozpadají s výjimkou plutonia ${}_{94}^{239} Pu$ s poločasem rozpadu v řádu tisíců let.

⁴⁵Počet radioaktivních přeměn, které nastanou za daný čas.

Ve zdravotnictví tvoří umělé zdroje ionizujícího záření velmi často RTG přístroje. RTG záření je forma elektromagnetického záření o vlnových délkách 10 nm až 100 pm. Záření vlnové délky větší než 0,1 nm je nazýváno měkké a kratší je tvrdé rentgenové záření. Foton rentgenového záření vzniká při interakcích vysoce energického elektronu.

7.3 Interakce záření

Interakcí záření rozumíme jeho vliv na nějakou ozařovanou látku. Za běžných podmínek jsou látky složeny z atomů, ty jsou dále vázané do molekul a vytvářejí struktury pevného, kapalného nebo plynného skupenství. Na rozdíl od interakce makroskopických těles nebo elektromagnetických záření delších vlnových délek (světlo) mají kvanta ionizujícího záření tak krátkou vlnovou délku, že interagují individuálně s jednotlivými atomy látky. Interakce ionizujícího záření s látkou probíhá tedy především na atomární úrovni.

Ionizační účinky jsou společnou vlastností všech druhů ionizujícího záření. Interakce záření s látkami jsou však specifické pro každý typ záření. Ionizující záření můžeme rozdělit na

- přímo ionizující (jeho kvanta nesou elektrický náboj, záření alfa a beta)
- nepřímo ionizující (jeho kvanta nejsou elektricky nabita, záření RTG a gama).

Z hlediska biologických účinků na ozařovanou látku se záření dělí na

- řídké ionizující (RTG záření, gama, beta)
- hustě ionizující (záření alfa, neutronové záření, protonové záření).

Při průchodu různých druhů ionizujícího záření může mohou nastat tyto interakce:

- žádná
- silná
- slabá
- elektromagnetická.

Při absorpci záření je látce předávána část energie na úrovni kinetické energie atomů. Při každé další interakci se takto bude předávat další kinetická energie a látka se bude zahřívat. Při použití ve zdravotnictví se však tento jev neuplatní.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jakou fyzikální podstatu má RTG záření? ⁴⁶

⁴⁶Jedná se o elektromagnetické záření o vlnové délce 10^{-8} – 10^{-11} m.

7.3.1 INTERAKCE NABITÝCH ČÁSTIC - PŘÍMO IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

- excitace a ionizace
- rozptyl
- brzdné záření
- další.

Záření alfa je proud letících héliových jader ${}_2\text{He}^4$. Ze všech běžných kvant záření má největší hmotnost a největší elektrický náboj. Má velmi silné ionizační účinky.

Záření beta⁻ je proud záporně nabitých elektronů e⁻. Při interakci působí elektrickými odpuzivými silami na elektrony, které z atomového obalu vyráží a tím způsobuje ionizaci atomů. Dolet je cca 1-4 mm.

Záření beta⁺ je proud kladně nabitých pozitronů e⁺. Při interakci zpočátku podobně jako záření beta⁻ elektrostatickou přitažlivou silou vytrhává elektrony z atomů za vzniku iontů, a díky své malé hmotnosti bude rychle měnit směr svého pohybu. Dolet je rovněž cca 1-4 mm.

7.3.2 INTERAKCE NEPŘÍMO IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Interakce záření gama a RTG

U záření gama a RTG nemají kvanta žádný elektrický náboj. Jejich ionizační schopnost tak nespočívá na přímých účincích elektrických sil, ale na urychlení elektronu atomu ozářené látky kmitajícím elektromagnetickým polem.

Nastávají dvojí jevy

- ionizační
- neionizační
 - fotoefekt
 - Comptonův rozptyl
 - tvorba elektron-pozitronových párů
 - fotojaderná reakce

7.4 Detekce a dozimetrie ionizujícího záření

Ionizující záření není vnímatelné lidskými smysly. Proto je nutné jej detekovat nepřímo pomocí přístrojů. Detekce záření je nejčastěji založena na interakci ionizujícího záření s látkou detektoru.

Způsob detekce lze rozdělit na

- kontinuální (informace o okamžité hodnotě detekovaného záření)
- kumulativní (integrální, hodnota ukazatele detektoru narůstá po celou dobu, po kterou je detektor ozařován.

Z fyzikálního hlediska rozlišujeme několik druhů dozimetrických veličin.

Absorbovaná dávka D - střední energie předaná ionizujícím zářením do látky a absorbovaná v jednotce hmotnosti ozařované látky v určitém místě. Jednotkou absorbované dávky je gray (Gy).

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

kde

D – absorbovaná dávka;

$d\bar{\epsilon}$ – střední energie;

d_m – hmotnost látky.

Dávkový příkon je poměr nárůstu dávky dD za čas dt . Jednotkou je $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

kde

\dot{D} - dávkový příkon;

dD – přírůstek dávky;

dt – časový interval.

Kerma K je kinetická energie uvolněná ionizujícím zářením z objemu materiálu. Je definována poměrem. Kerma se používá jen v souvislosti s nepřímo ionizujícím zářením a charakterizuje energii předanou nepřímo ionizujícím zářením při první srážce nabitým částicím. Jednotkou kermy je Gy.

$$K = \frac{dE_k}{dm}$$

kde

K - kerma;

dE_k - součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v určitém objemu látky o hmotnosti dm ;

m - hmotnost látky.

Kermový příkon \dot{K} je poměr nárůstu kermy dK za časový interval dt . Jednotkou kermového příkonu je $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

kde

\dot{K} - kermový příkon;

dK - přírůstek kermy;

t - časový interval.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Co je to kerma? ⁴⁷

Expozice X je elektrický náboj vytvořený ionizujícím zářením ve vzduchu. Jednotkou je coulomb na kilogram ($\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$). Je dána poměrem

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

⁴⁷Součet kinetických energií všech nabitých částic uvolněných ionizujícími částicemi v určitém objemu látky.

X - expozice;

dQ - absolutní hodnota celkového elektrického náboje iontů jednoho znaménka vzniklých ve vzduchu při úplném zabrzdění všech elektronů a pozitronů, které byly uvolněny fotony v objemovém elementu vzduchu o hmotnosti dm ;

dm - hmotnost látky.

Expoziční příkon \dot{X} je přírůstek expozice dX za časový interval dt . Jednotkou expozičního příkonu je $C.kg^{-1}s^{-1}$.

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

\dot{X} - expoziční příkon;

dX - přírůstek expozice;

dt - časový interval.

7.5 Detekce ionizujícího záření.



DEFINICE

Detektor = zařízení pro detekci (měření) ionizujícího záření. Použité principiální metody jsou založeny na změnách vlastností (fyzikálních, chemických) látek detektoru při vystavení ionizujícímu záření.

Podle časového průběhu se detektory dělí:

- kontinuální (zobrazí okamžitou hodnotu detekovaného záření, po ukončení expozice klesnou na nulu)
- integrální (sčítací, zobrazí hodnotu za celou dobu expozice, po ukončení expozice zůstává informace v detektoru uchována).

Podle fyzikálního principu se detektory dělí:

- fotografické = založené na fotochemických účincích záření
- materiálové = využívající dlouhodobější změny vlastností látek působením ionizujícího záření
- elektronické = energie ionizačního záření se převádí na elektrické impulsy, které se zesilují a vyhodnocují.

Dále se dělí na

- plynové ionizační komory
- scintilační detektory
- polovodičové detektory
- mikrokalorimetrické detektory
- magnetické spektrometry.

Podle komplexnosti sledované informace se měřicí přístroje dělí:

- detektory záření = udávají pouze intenzitu záření, bez informace o druhu a energii
- spektrometry = měří i energii kvant záření a další charakteristiky
- zobrazovací detektory částic = zobrazují prostorové rozložení intenzity záření
- dráhové detektory částic = zobrazují dráhy pohybu částic v prostoru.

7.5.1 FOTOGRAFICKÉ

Využitím fotografické detekce ionizujícího záření jsou např. filmové dozimetry. Základem filmového dozimetru je světlotěsně zabalené políčko fotografického filmu. Ionizující záření procházející obalem filmu ve fotoemulzi vytváří latentní obraz. Míra zčernání filmu je pak mírou množství záření, které filmem prošlo za celou dobu před vyvolání (integrální detekce). Pro malé dávky záření platí přibližně lineární závislost mezi dávkou ozáření a zčernáním fotografického materiálu, při vyšších dávkách roste zčernání až nakonec dosahuje stavu nasycení.

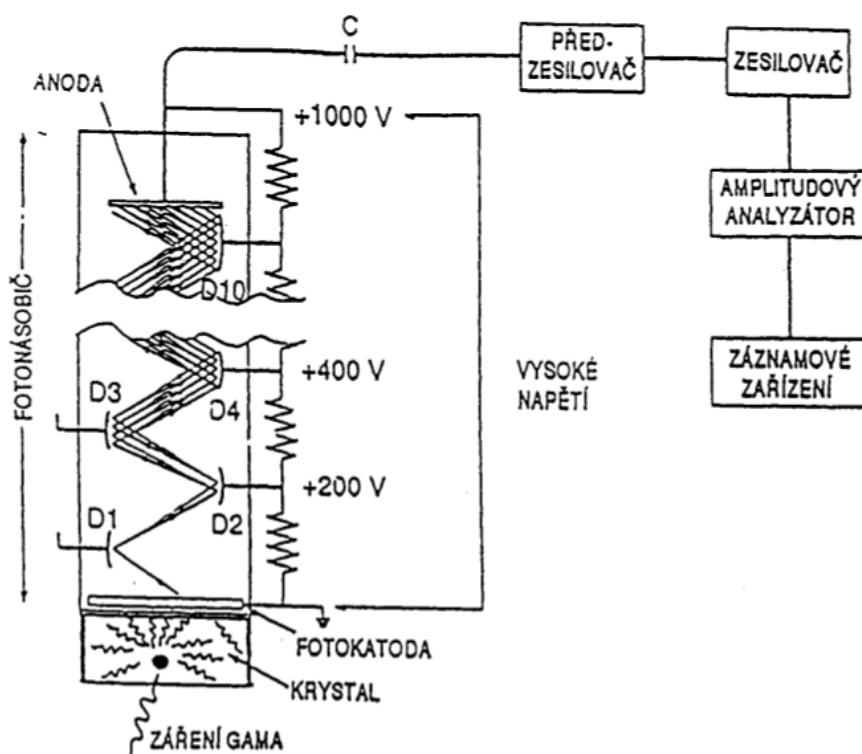
7.5.2 POLOVODIČOVÉ DETEKTORY

Vnikne-li do polovodičového detektoru kvantum ionizujícího záření, způsobí ionizační energie přeskok úměrného množství elektronů. Tyto elektrony se v elektrickém poli začnou pohybovat ke kladné elektrodě a elektrickým obvodem projde krátký proudový impuls. Polovodičové detektory jsou zhotoveny většinou z monokrystalů germania se stopovým množstvím lithia. Výhodné elektromechanické vlastnosti polovodičových detektorů umožňují jejich miniaturizaci a integraci jednotlivých polovodičových elementů do větších systémů. Tyto multidetektorové systémy mohou poskytovat informaci jak o energii registrovaného záření, tak o místě dopadu jednotlivých ionizujících kvant, či o dráhách částic. Polovodičové detektory mají oproti scintilačním nižší detekční účinnost pro záření gama.

7.5.3 SCINTILAČNÍ DETEKTORY

Scintilační detektory patří mezi nejpoužívanější detektory ionizujícího záření. Scintilační detektor se skládá ze scintilátoru a z fotonásobiče. Scintilátor mění energii záření na světelné záblesky a fotonásobič tyto záblesky (scintilace) registruje.

Záření způsobuje excitaci atomů ve scintilátoru. Při jejich návratu do základního energetického stavu se vyzařuje energie ve formě záření, zpravidla ve viditelné krátkovlnné nebo blízké ultrafialové oblasti spektra. Světelný záblesk se pak na fotokatodě fotonásobiče přeměňuje na elektrický impuls. Výsledná scintilace je tvořena několika stovkami fotonů, v závislosti na energii primárního detekovaného záření.



Obrázek 24: Princip scintilačního detektoru [10]



KONTROLNÍ OTÁZKA

Jak vzniká záblesk, který je scintilačním detektorem detekován? ⁴⁸

⁴⁸Vzniká při návratu excitovaných elektronů do základního energetického stavu, kdy se vyzařuje energie ve formě viditelného záření.

8 BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO A NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Účinky ionizujícího záření se projevují v různé míře u všech živých organismů. Závažnost účinků pak závisí na mnoha okolnostech. V této kapitole se zaměříme na popis mechanismů účinků ionizujícího záření na živé tkáně. Dále pak na rozdělení účinků na deterministické a stochastické a na určení dávek absorbovaných, ekvivalentních a efektivních. Jsou také uvedeny vlivy zvuku a neionizujícího elektromagnetického záření.

CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- posoudit účinky ionizujícího záření na živou tkáň,
- rozlišit deterministické a stochastické účinky,
- znát některé limity dávek,
- znát účinky ultrazvuku, infrazvuku, infračerveného a ultrafialového záření.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



ionizující záření, radiační ochrana, účinky deterministické a stochastické, dávka

Účinek záření na buňku rozlišujeme

- přímý (změna biologicky důležité makromolekuly)
- nepřímý (způsobený radikály a peroxidem vodíku).

Vliv ionizujícího záření je tím výraznější, čím má buňka větší schopnost k rozmnožování a čím méně je diferencovaná. Proto jsou organismy vůči záření nejcitlivější na počátku vývoje.

8.1 Mechanizmy účinku ionizujícího záření na živou tkáň

Účinek na živou tkáň probíhá v několika fázích:

Fyzikální stadium

Při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace. Tento primární proces je velmi rychlý 10-16 až 10-14 sekundy.

Fyzikálně – chemické stádium

Dochází k interakci iontů s molekulami, což vede k disociaci molekul a vzniku volných radikálů. Je to proces velice rychlý, který trvá asi 10-14 až 10-10 sec.

Chemické stádium

Vzniklé radikály, ionty a další produkty reagují s biologicky důležitými organickými molekulami (molekuly DNA, RNA, enzymy, proteiny) a mění jejich složení a funkci.

Biologické stádium

Změny v biologicky důležitých molekulách mohou způsobit funkční a morfologické změny v buňkách, orgánech i v organismu jako celku.



KONTROLNÍ OTÁZKA

Co jsou to přímé účinky ionizujícího záření? ⁴⁹

8.2 Ochrana před zdroji ionizujícího záření

Na živé tkáně působí obecně všechny druhy záření. Kromě jistých terapeutických účinků jsou zde i škodlivé účinky při činnosti zdrojů ionizujícího záření, před kterými je třeba se chránit. Generátory záření jsou ve zdravotnickém prostředí zejména rentgenová zařízení a urychlovače částic. Škodlivé účinky ionizujícího záření rozdělujeme na deterministické a stochastické.



DEFINICE

Deterministické účinky

⁴⁹Jsou způsobeny změnami biologicky důležitých makromolekul.

- mají klinicky jednoznačný projev.
- nastávají až po dosažení určité dávky (prahu) v příslušných tkáních a orgánech.
- existují dávky s nulovou intenzitou účinku (podprahové).
- jsou spojeny se zánikem buněk a následnou ztrátou funkce tkání a orgánů.
- s růstem dávky dochází k nárůstu ztráty buněk.
- ochrana spočívá v zamezení dosažení prahových dávek pro jednotlivé tkáně a orgány, a tedy ve stanovení limitů pro dávky.

DEFINICE



Stochastické (náhodné) účinky

- jsou důsledkem změn v buňkách přeživších ozáření.
- změněná buňka se může vyvinout v nádor.
- s rostoucí dávkou záření roste pravděpodobnost vzniku účinku, nikoliv jeho intenzita.
- náhodný charakter mají i dědičné důsledky ozáření u potomstva ozářených osob.

Tabulka 7: Účinky ionizujícího záření

Somatické		Genetické	
Časné	Pozdní		
Akutní nemoc z ozáření	Chronický útlum krvetvorby	Nádorové onemocnění různých orgánů	Genetické následky u potomků
Akutní poškození kůže	Chronické poškození kůže	Leukémie	
Poruchy plodnosti	Zákal oční čočky		
Poškození vývinu plodu			
Deterministické		Stochastické	

Pro účely kvantifikace účinků je definováno několik veličin.

Absorbovaná dávka **D**

- energie záření absorbovaná jednotkou hmotnosti tkáně m

- $D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$.
- jednotkou dávky D je 1 Gy (gray).

Ekvivalentní dávka H_T

- střední absorbovaná dávka D_T v orgánu násobená radiačním váhovým faktorem w_R
- $H_T = D_T \cdot w_R$.
- jednotkou ekvivalentní dávky H_T je 1 Sv (siewert).

Tabulka 8: Radiační váhové faktory w_R

druh záření	elektrony záření γ	neutrony podle energie		protony	částice α , těžká jádra, štěpné produkty
		E < 10 keV nebo E > 20	100 keV-2 MeV		
w_R	1	> 5	< 20	5	20



KONTROLNÍ OTÁZKA

Které záření má největší váhový faktor a které nejmenší? ⁵⁰

Efektivní dávka E

- součet ekvivalentních dávek H_T v ozářených tkáních, které jsou váženy tkáňovým váhovým faktorem w_T , který pro danou tkáň vyjadřuje riziko vzniku stochastických účinků
- $E = \sum H_T \cdot w_T$.
- jednotkou efektivní dávky E_T je 1 Sv (siewert).

Tabulka 9: Tkáňové váhové faktory w_T

tkáň	faktor w_T	tkáň	faktor w_T
gonády	0,2	játra	0,05
tlusté střevo	0,12	jícen	0,05
plice	0,12	štítná žláza	0,05
žaludek	0,12	ostatní	0,05
močový měchýř	0,05	kůže	0,01
mléčná žláza	0,05	povrchy kostí	0,01

⁵⁰Největší má záření alfa (nejvyšší ionizační schopnost), nejmenší pak záření gama a elektromagnetické.

Kolektivní efektivní nebo kolektivní ekvivalentní dávka S

- součet efektivních, popř. ekvivalentních dávek všech jednotlivců v určité skupině
- jednotkou je 1 manSv (mansievert).

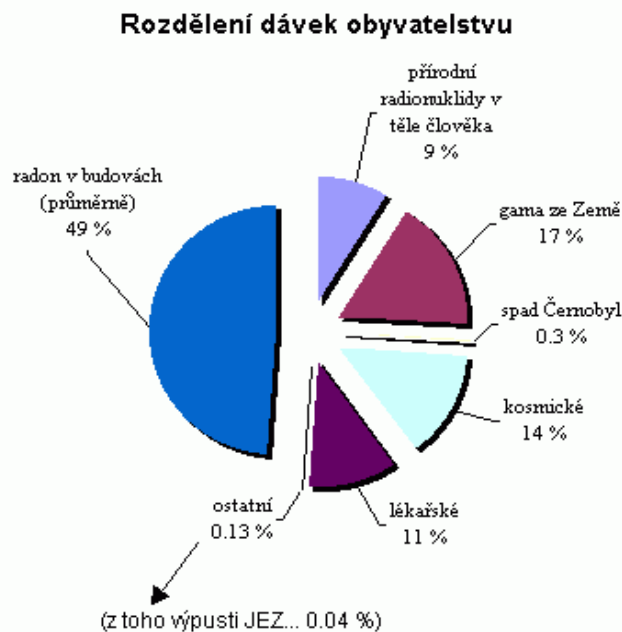
Základními limity pro radiační pracovníky jsou efektivní dávky

- $E = 20 \text{ mSv/rok}$ za období 5 po sobě následujících let nebo
- 50 mSv za jeden rok.

Dále pak ekvivalentní dávka

- pro oční čočku $H_T = 150 \text{ mSv/rok}$
- pro kůži, ruce a chodidla $H_T = 500 \text{ mSv/rok}$.

Pro běžné obyvatelstvo jsou základní limity pro efektivní dávky $E = 1 \text{ mSv/rok}$ za období 5 po sobě následujících let nebo 5 mSv/rok za předpokladu, že průměrná dávka 1 mSv/rok není za období pěti let překročena. Dále pak ekvivalentní dávka pro oční čočku $H_T = 15 \text{ mSv/rok}$ a pro kůži, ruce a chodidla $H_T = 50 \text{ mSv/rok}$. Při výkonu povolání jsou radiační pracovníci pro účely monitorování a lékařského dohledu rozdělení do kategorie A nebo B. Do kategorie A patří radiační pracovníci s roční efektivní dávkou $E > 6 \text{ mSv}$, do kategorie B patří ostatní pracovníci.³



Obrázek 25: Rozdělení dávek obyvatelstvu [<http://www.radon-mereni.cz/radon/radon-prirodni-ozareni/radon-prirodni-ozareni-id2>]

Tabulka 10: Typické hodnoty efektivních dávek, které obdrží pacient při lékařském vyšetření pomocí metod rentgenové diagnostiky ve srovnání s ozářením z přírodních zdrojů.

Vyšetření	Typická efektivní dávka (mSv)	Přibližná doba, za kterou by člověk obdržel ekvivalentní dávku ozáření z přírodních zdrojů
Končetiny a klouby	< 0,01	< 1,5 dne
Zuby	0,02	3 dny
Plíce	0,02	3 dny
Lebka	0,07	11 dní
Mamografie	0,1	15 dnů
Kyčel	0,3	7 týdnů
Pánev	0,7	4 měsíce
Hrudní páteř	0,7	4 měsíce
Břicho	1,0	6 měsíců
Bederní páteř	1,3	7 měsíců
Polykací akt	1,5	8 měsíců
CT hlavy	2,3	1 rok
IVU	2,5	14 měsíců
Vyšetření žaludku	3	16 měsíců
Střevní pasáž	3	16 měsíců
Irigoskopie	7	3,2 roku
CT hrudníku	8	3,6 roku
CT břicha	10	4,5 roku

8.3 Účinky zvuku, ultrazvuku a infrazvuku

Zvuk je mechanické vlnění a na živé organizmy může mít určitý biologický účinek. Ten závisí na individuálním fyzickém a psychickém stavu člověka. Za zvuk považujeme mechanické vlnění, které jsme schopni vnímat sluchovým ústrojím. Je v rozmezí kmitočtů asi 16 Hz - 20 kHz. Mechanická vlnění pod 16 Hz označujeme jako infrazvuk, mechanická vlnění nad 20 kHz jako ultrazvuk.

Zvuk má účinky

- na sluchový orgán
- na vegetativní nervový systém
- na psychiku člověka

Prokazatelně škodlivé jsou dlouhodobé hladiny zvuku o intenzitě více než 75 dB. Určitá intenzita hluku, které je člověk vystaven během spánku, může mít stejně nepříznivé účinky jako téměř dvojnásobná intenzita v bdělém stavu.

8.3.1 ULTRAZVUK

V praxi vzniká nejčastěji v umělých generátorech. Má využití v lékařské diagnostice, defektoskopii v průmyslu nebo vyvolávání vibrací. V přírodě ho využívají někteří živočišové k orientaci. Ultrazvukové vlny však mohou mít velmi silný účinek na živý organismus. Udává se trhání vodních řas, živočišných buněk, krevních elementů. Dále vzrůst tělesné teploty laboratorních myší například na 45 °C.

Biologické účinky ultrazvuku rozdělujeme na

- primární (dané mechanickým působením vlnění)
- sekundární (vliv energií, na které se ultrazvuk transformoval – tepelná, mechanická aj).

Primárními účinky jsou tzv. kavitace a akustické proudění prostředí. Kavitací označujeme vznik mikrobublin, které vznikají v prostoru s mechanickým vlněním. Primární účinky mohou být dále

- stimulační (např. zlepšení látkové výměny)
- inhibiční (poškození červených a bílých krvinek).

Přesto jsou biologické účinky dnešních diagnostických přístrojů zanedbatelné a ultrazvuk se považuje za bezpečnou metodu, kterou je někdy možné nahradit i rizikovější rentgenová vyšetření např. u dětí. Dále se využívá při prenatalní diagnostice. Ultrazvuková energie se ve tkáních neakumuluje a používané intenzity jsou řádově nižší, než stanovené bezpečnostní limity.

8.3.2 INFRAZVUK

Vzniká nejčastěji při provozu některých strojních zařízení nebo jako hluk z dopravy. V přírodě je to proudění vody, větru nebo zemětřesení. Intenzita infrazvukového vlnění v přírodě Hz je obvykle na úrovni 80-90 dB. Při bouřkách nebo přechodech front dosahuje až 120 dB. Přestože infrazvuk nevnímáme, může mít nepříznivé účinky na živé organismy, např. způsobit vážné závratě. Aerodynamický infrazvuk v dopravních prostředcích vzniká např. při porušení hermetizace kabiny (otevření okének) a tím změně laminárního obtékání kabiny okolním vzduchem na turbulentní.

Pro člověka jsou zvláště nebezpečné ty kmitočty, které se shodují s nějakými biologickými rytmy. Je-li člověk vystaven kmitočtům blízkým 7 Hz, pak se nemůže uvést do klidu a soustředit se. Dále se mohou vyskytnout stavy nevolnosti, úzkost aj.

Stejně jako pro všechna mechanická vlnění lze vlivu všech zvuků zabránit pouze vakuem nebo dostatečnou vzdáleností od zdroje.

8.3.3 ÚČINKY NEIONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ (VIDITELNÉHO SVĚTLA, INFRAČERVENÉHO, ULTRAFIALOVÉHO A MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ)

Celý rozsah kmitočtů elektromagnetického vlnění od jednotek Hz po stovky EHz se rozděluje do tzv. kmitočtových pásem. Kmitočty v rámci jednoho pásma mají podobné fyzikální vlastnosti, týkající se např. šíření vlny v prostoru. Jednotlivé hranice pásem na sebe navazují, mezi pásmy nejsou tedy žádné ostré skoky. Společné pro všechna pásma je, že se jedná o vlnění elektromagnetické, má tedy stejnou fyzikální podstatu.

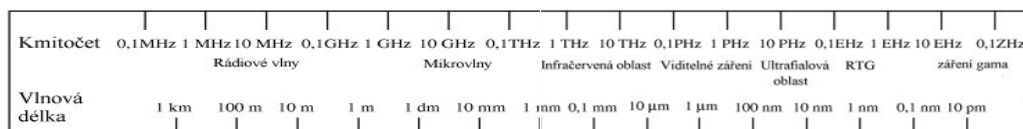
Ze základních vztahů kvantové fyziky vyplývá, že energie vlnění je úměrná jeho kmitočtu.

Tedy čím vyšší je kmitočet, tím vyšší je i jeho energie. Od jistých kmitočtů ($1,7 \cdot 10^{15}$ Hz) mají vlnění tak velkou energii, že jsou schopny ionizace.



PRO ZÁJEMCE

Rádiové vlny se používají především k přenosu informací a bezdrátové komunikaci. Jejich vlnová délka se pohybuje v rozmezí od několika km do několika mm. Elektromagnetického pole s kmitočtem do 300 GHz má energii řádově menší, než je energie tepelného pohybu molekul v živé tkáni. Proto mohou být účinky neionizujícího záření pouze tepelné nebo stimulační. Podskupinou rádiových vln jsou mikrovlny. Jedná se o elektromagnetické vlny, které jsou v kapalinách dobře absorbovány polárními molekulami. Když takovou molekulu zasáhne elektromagnetická vlna, dokáže molekulou podle kmitočtu vlny otáčet. Tento jev se využívá k ohřevu potravin v mikrovlnných troubách. Absorbovaná energie mikrovln se mění na kinetickou energii molekul, čímž vzniká teplo, které se využije na zvýšení teploty. Podobný jev však může nastat i v živém organismu. Ten je tvořen převážně vodou, proto je mikrovlnné záření potenciálně nebezpečné. Ochrana před mikrovlnami spočívá v odstínění zdroje mikrovlnného záření.



Obrázek 26: Elektromagnetické spektrum
[<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:ElmgSpektrum.png>]



KONTROLNÍ OTÁZKA

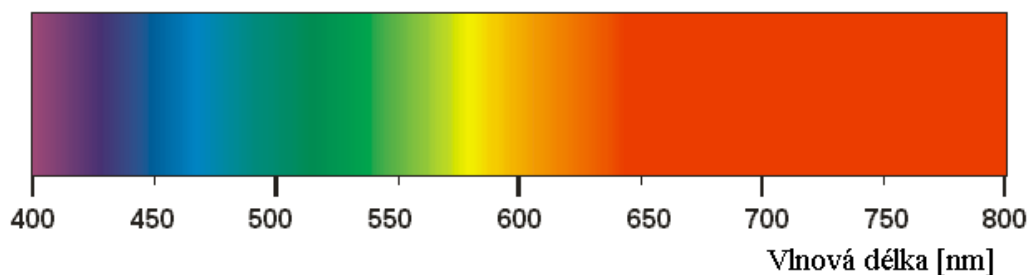
Od jakého kmitočtu můžeme elektromagnetické vlnění považovat za ionizující? ⁵¹

⁵¹Přibližně od $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz

Infračervené záření tvoří dlouhovlnnou část tzv. optického spektra. Má tepelný, analgetický, spasmolytický a stimulační účinek. Vzniká vibrací a rotací atomů a molekul v každé hmotě, jejíž teplota je vyšší než absolutní nula. Vlastnosti infračerveného záření závisí na jeho energii, proto se oblast dále dělí podle vlnového rozsahu na tři pásma

- IR-A: krátkovlnné pásmo od 120 do 300 THz (0,8 až 2,5 μm) - svými fyzikálními vlastnostmi se blíží viditelnému záření; málo se pohlcuje ve vodě
- IR-B: střední pásmo od 30 do 120 THz (2,5 až 10 μm) - oblast silného tepelného vyzařování, téměř úplně se pohlcuje ve vodě
- IR-C: vzdálená IR (C) od 300 GHz do 30 THz (1 mm až 10 μm) - záření je výrazně absorbováno vodou i sklem.

Viditelné záření je oblast citlivosti lidského oka. Ta je nejvyšší při vlnové délce asi 550 nm. Lidské oko je tedy nejcitlivější na zelenožlutou barvu.



Obrázek 27: Spektrum viditelného záření
[<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Spectre.svg>]

Ultrafialová oblast (ultra-violet UV) se v rozsahu vlnových délek 10 nm až 380 nm z hlediska biologických účinků dělí na spektrální oblasti

- UV-A (> 315 nm)
- UV-B (280 - 315 nm)
- UV-C (< 280 nm).

Pro člověka je UV záření neviditelné, existují však živočichové, kteří jej dokáží vnímat. Jeho přirozeným zdrojem je Slunce. UV záření je velmi energetické, narušuje chemické vazby. Biologické účinky se projevují denaturací bílkovin (UV-B), inaktivací enzymů (UV-C), změnami DNA, vznikem mutací, fotochemickými účinky.

9 PRÁCE S ELEKTRICKÝMI PŘÍSTROJI, RIZIKA A ZÁSADY BEZPEČNOSTI U ELEKTROSPOTŘEBIČŮ



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V této kapitole se seznámíme s bezpečností používání elektrických přístrojů, účinky elektrického proudu na člověka.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- orientovat se v bezpečné obsluze zdravotnických elektrických přístrojů,
 - posoudit bezpečnost přístrojů
 - popsat účiny elektrického proudu na organismus.
-



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

elektrický proud, bezpečnost, krytí, světelná návěstí

9.1 Základní pojmy

Elektrický proud se definuje jako uspořádaný pohyb nosičů elektrického náboje. Elektrické napětí je zase definováno jako rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma body, kde napětí měříme. Je vhodné si uvědomit základní fyzikální odlišnosti mezi těmito veličinami, alespoň na laického uživatelského pohledu.

- elektrický proud je veličina „dynamická“, veličina charakterizující tok. Je tím, co se skutečně nějak projevuje (zahřívá topnou spirálu, rozsvítí žárovku, roztočí motor,...)
- elektrické napětí je veličina „statická“, která je přítomna, aniž by se cokoli dělo (napětí mezi zdírkami zásuvky, póly baterie).

Samozřejmě obě veličiny jsou spolu svázány (v nejjednodušším výkladu) tzv. Ohmovým zákonem.

Druhy elektrického proudu

- stejnosměrný (z baterií, případně usměrněných zdrojů)
- střídavý, technický kmitočet 50 Hz (běžný z rozvodné sítě)

9.2 Účinky elektrických proudů na organismus

Většina tkání v organismu jsou vodiče elektrického proudu, protože obsahují velké množství vody. Z pohledu elektrických vlastností jsou charakterizované svou

- impedancí (odporem) či vodivostí
- kapacitou
- indukčností.

Účinek elektrického proudu je výsledkem interakce nábojů iontů a makromolekul, membránových potenciálů a dalších jevů. Účinek elektrického proudu závisí kromě intenzity (amplitudy) i na druhu a elektrických vlastnostech tkáně. Elektrický proud může u člověka způsobit i úraz. Nejcitlivějšími tkáněmi jsou mozek, dýchací hrudní svaly, nervová centra a srdce.

Tabulka 11: Příklady některých účinků elektrického proudu a jejich úrovní

1 mA	práh cití
5 mA	hranice bezpečného proudu přes kůži
10 až 20 mA	dráždění svalů
50 mA	dráždění srdečních a dýchacích svalů
100 až 300 mA	riziko fibrilace komor
6 A	trvalá kontrakce komor

9.2.1 STEJNOSMĚRNÝ PROUD

- má na organismus elektrolytické účinky
- protéká tkáně pohybem iontů
- dráždivé účinky mohou nastat pouze při zapnutí, vypnutí nebo náhlé změně proudu
- tepelné účinky se musí projevit při každém průchodu elektrického proudu vodičem
- čím je větší odpor větší, tím větší je i vzniklé teplo.

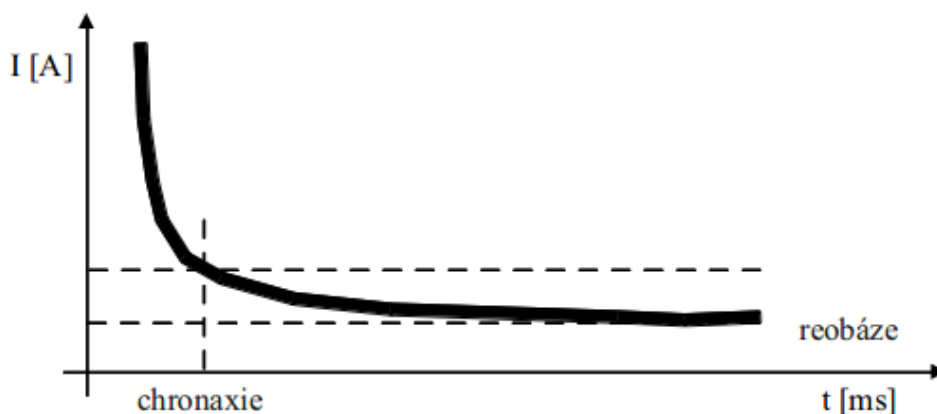
Léčba stejnosměrným proudem se nazývá galvanoterapie, která se aplikuje pomocí kovových elektrod. Průchodem elektrického proudu se zlepšuje prokrvení tkání a zvyšuje se látková výměna.

Dělí se na

- galvanizaci (léčba chronických onemocnění, poúrazových stavů, poruch prokrvení, spazmů svalstva aj.)
- iontoforézu (aplikace léčiva, jehož molekula má na povrchu elektrický náboj).
- impulzoterapii (aplikace nízkofrekvenčních proudů – rozcvičování svalů, stimulace hladkého svalstva, elektrostimulace denervovaných svalů).

K vyjádření dráždivosti tkání se používá tzv. Hoorwegova-Weissova křivka, udávající závislost amplitudy prahového stimulačního proudu na šířce impulzu. Má tvar hyperboly a jsou na ní definovány dvě charakteristické hodnoty:

- reobáze, jako proudový stimulační práh pro teoreticky nekonečně široký impuls (hodnota proudu, pod kterou podráždění vyvolat nelze);
- chronaxie, jako šířka impulzu, při které je práh roven dvojnásobku reobáze.



Obrázek 28: Hoorwegova-Weissova křivka [12]

9.2.2 STŘÍDAVÝ PROUD

Střídavý nízkofrekvenční proud (50 až 500 Hz) má pouze slabé elektrolytické účinky, jsou však významné účinky dráždivé.

Dráždivý účinek roste se stoupajícím kmitočtem asi do 100 Hz. Střídavý vysokofrekvenční proud prakticky nemá žádné elektrolytické účinky a dráždivé účinky se stoupajícím kmitočtem klesají, mohou se plně uplatnit tepelné účinky, které jsou pro vyšší kmitočty už dominantní.

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké jsou dominantní účinky stejnosměrného proudu? Jaké proudu střídavého? ⁵²

KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké znáte terapeutické účiny elektrického proudu? ⁵³

9.3 Ochrana před účinky elektrického proudu

Podstatou ochrany před úrazem elektrickým proudem jsou ochrany:

- před nebezpečným dotykem tzv. živých částí (částí, které jsou a mohou být při normálním provozu pod napětím)
- před nebezpečným dotykem neživých částí (částí, které nejsou za normálních okolností pod napětím, avšak mohou pod ním být při stavu jedné nebo více závad, tedy při poruchovém stavu)
- před přepětím
- před nadproudy
- před poruchovými proudy

Principiální způsoby ochrany před nebezpečným dotykem:

- zabránit průchodu proudu tělem
- omezit proud, který může tělem procházet, na bezpečnou hodnotu
- samočinným odpojením od zdroje

Ochrana před dalšími účinky

- tepelnými (aby nedošlo k přehřátí vodičů a způsobení požáru)
- nadproudy (samočinným odpojením od zdroje, omezením nadproudu)
- přepětím
- poruchovými proudy.

⁵² Stejnosměrný proud má především galvanické účinky, střídavý především dráždivé, s vyššími kmitočty pak i tepelné.

⁵³ Elektroterapie srdce (kardiostimulace, defibrilace), elektroléčba v rehabilitaci.

Značení vodičů

- L1, L2, L3: fázové vodiče (třífázová soustava); barvy hnědá a černá
- L: fázový (živý) vodič u jednofázové soustavy
- N: neutrální vodič; barva modrá
- PE: ochranné uzemnění; barva zeleno-žlutá
- PEN: sdružený vodič neutrální a ochranný; barva zeleno-žlutá

Živých částí (jsou určeny k vedení el. proudu a jsou normálně pod napětím)

- jednopólově: kontaktně nebo přeskokem se uzavírá okruh přes tělo do země
- dvoupólově: mezi živými částmi o různém potenciálu

Neživých částí (vodivé či nevodivé, za normálního provozu bez napětí, při poruše mohou být pod napětím)

- kontaktně (nebo přeskokem) z neživých částí, které se vlivem poruchy ocitnou pod napětím.

Barvy světelných návěstí

- Červená: nebezpečí vyžadující okamžitou reakci
- Žlutá: opatrnost nebo zvýšená pozornost
- Zelená: připraven k provozu

Stupeň krytí udává odolnost elektrických přístrojů proti vniknutím předmětů nebo kapalin. Vyjadřuje se v tzv. IP kódu, který je tvořen znaky „IP“ následovanými dvěma číslicemi: první číslice udává ochranu před vniknutím předmětů, druhá číslice označuje stupeň krytí před vniknutím kapalin.

Tabulka 12: Stupně krytí před vniknutím předmětu

stupeň	Krytí před vniknutím předmětů
IP 0x	bez ochrany
IP 1x	velkých
IP 2x	malých
IP 3x	drobných
IP 4x	velmi drobných
IP 5x	prachu částečně
IP 6x	prachu úplně

V normě jsou pak definovány přesné rozměry předmětů.

Tabulka 13: Stupně krytí před vniknutím kapalin

stupeň	Krytí před vniknutím kapalin
IP x0	bez ochrany
IP x1	Chráněno proti kapající vodě 1+0,5 mm za minutu.
IP x2	Chráněno proti kapající vodě 3+0,5 mm za minutu.
IP x3	Chráněno proti vodní tříšti.
IP x4	Chráněno proti stříkající vodě.
IP x5	Chráněno proti tryskající vodě.
IP x6	Chráněno proti intenzivně tryskající vodě.
IP x7	Chráněno proti ponoření do vody na 30 minut do hloubky 1 metr.
IP x8	Chráněno proti potopení do vody.
IP x9	Chráněno proti tryskající vysokotlaké teplé vodě.

10 ZDRAVOTNICKÉ ELEKTRICKÉ ROZVODY.



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V této kapitole se seznámíme s bezpečností používání elektrických přístrojů a zvláštnostmi elektrických rozvodů ve zdravotnických zařízeních.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- identifikovat zdravotnické prostory z hlediska bezpečnosti
 - orientovat se v barvách zásuvek na zdravotnickém pracovišti
 - popsat důležitost bezpečnostně-technických kontrol.
-



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

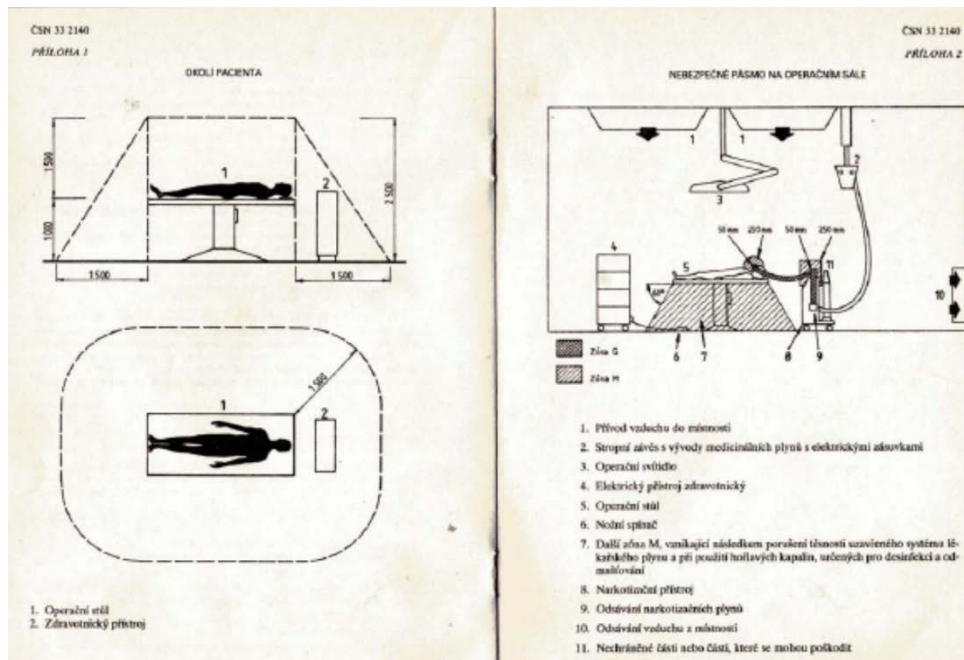
bezpečnost, záložní zdroje, izolace

Klasifikace prostor z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem

- normální: vnější vlivy nezvyšují nebezpečí úrazu el. proudem
- nebezpečné: přechodně nebo trvale zvýšené nebezpečí v důsledku vnějších vlivů (vlhkost, horko, otřesy, chemicky (korozivně) agresivní
- zvlášť nebezpečné: trvale zvýšené nebezpečí (mokro, stísněné prostory s vodivým okolím, kombinace horka a vlhka)

Zdravotnická pracoviště patří mezi prostory zvlášť nebezpečné.

Ve zdravotnických zařízeních se rozlišují různé prostory, viz orientační obrázky níže.



Obrázek 29: Orientační zobrazení prostor na operačním sále

- skupina 0: zdravotnický prostor, kde se nepředpokládá použití žádných příložných částí a kde porucha (zkrat) zdroje nemůže způsobit ohrožení života.
- skupina 1: zdravotnický prostor, kde při první závadě nebo při přerušení základního napájení je možné připustit přerušení provozu (funkce) zdravotnických elektrických přístrojů, aniž by došlo k ohrožení pacienta. V tomto zdravotnickém prostoru se předpokládá použití příložných částí: – zevně; – uvnitř těla, ale ne v místech, která jsou vyhrazena skupině 2.
- skupina 2: zdravotnický prostor, kde se předpokládá použití aplikovaných částí: – pro intrakardiální použití; nebo – pro náročná ošetření, nebo chirurgické zákroky, kde výpadky (přerušení) napájení může ohrozit pacienty

Zajištění kontinuity dodávky el. energie

- dva nezávislé přívody z veřejné elektrické sítě
- záložní zdroje (místní nouzové zdroje): např. diesela agregát, UPS.

Hlídač izolačního stavu

- monitoruje nepřetržitě odpor mezi krajními vodiči sekundárního obvodu a ohlašuje pokles pod 50 k Ω
- hlášení (alarm) je akustické a světelné • akustické lze vypnout, světelné nikoli, ustane až se svod odstraní

10.1 Barevné označování zásuvek

Zelená barva



- pro připojení zdravotnických i jiných elektrických přístrojů, které musí mít zajištěno nouzové napájení, ale přerušení do 2 minut (což je nejdelší čas, kdy dojde k obnově napětí na těchto vývodech) neohrozí život nebo zdraví pacientů, neohrozí základní provoz zdravotnického zařízení a nezpůsobí nenahraditelné škody.

Žlutá barva



- pro zdravotnickou izolovanou soustavu, která se používá pro napájení zdravotnických elektrických přístrojů, jejichž charakter použití vylučuje likvidovat prvou závadu izolace přerušením napájení a tím vypnutí přístroje, protože vyřazení přístroje z provozu by mohlo ohrozit život nebo zdraví pacientů.

Oranžová barva



- pro vývody velmi důležitých obvodů, což je v principu zdravotnická izolovaná soustava s ještě vyšším stupněm zajištění dodávky elektrické energie napájeno z UPS.

Kromě těchto, normou požadovaných rozlišení, je možné použít další rozlišení, i když jejich počet by měl zůstat velmi nízký.

Hnědá barva



- pro vývody méně důležitých obvodů např. pro zdravotnické přístroje, které se při používání dostanou do kontaktu s pacientem.

Bílá barva



- pro vývody méně důležitých obvodů pro úklidové a údržbářské stroje a přístroje a další méně náročné spotřebiče (například vařiče, ledničky nebo radiopřijímače na sesternách). Pro zdravotnické přístroje se mohou použít pouze v mimořádných situacích.

10.2 Bezpečnostně technická kontrola

Bezpečnostně technická kontrola (dále jen BTK), nebo někdy lidově revize, jsou kontroly stavu, správné funkčnosti a bezpečnosti zdravotnických přístrojů.

Ve zdravotnictví se jedná o přezkoušení současně jak bezpečnosti, tak i funkčnosti.

BTK pomáhá zajistit:

- provozuschopnost
- plnou funkčnost či alespoň nezbytnou funkčnost
- vhodnost ke klinickému užití – stále vyhovovat technickým požadavkům pro dané vyšetření/ošetření
- bezpečnost pro pacienta, pro obsluhu a pro okolí.

Jedná se o povinnou kontrolu zakotvenou v legislativě a její splnění se vyžaduje a kontroluje.

Za stav zdravotnického prostředku je odpovědný poskytovatel zdravotní péče.

Obvyklá periodicita kontrol je u všech značek přístrojů jeden rok.

11 ZÁKLADY OPTIKY



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V této kapitole budou stručně vysvětleny principy paprskové optiky, jejíž pochopení je důležité pro zvládnutí vztahů v optické soustavě oka. Dále budou vysvětleny podstaty refrakčních zrakových vad a jejich korekce.



CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete:

- rozumět fyzikální podstatě světla,
 - znát základní vztahy pro paprskovou optiku,
 - popsat základní oční vady a jejich korekci.
-



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

světlo, paprsková optika, oční vady

V praxi pracujeme se světlem obvykle jako s paprskem. Ve skutečnosti je však světlo elektromagnetickým zářením, a má tedy stejné vlastnosti jako jiné druhy elektromagnetického záření (např. infračervené, ultrafialové, mikrovlnné, aj.).



DEFINICE

Světlo je příčné elektromagnetické vlnění. Pro všechny elektromagnetické vlny ve vakuu platí, že se šíří rychlostí $c=3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\text{vlnová délka } \lambda = \frac{\text{rychlost světla}}{\text{frekvence vlnění}} = \frac{c}{f}$$

Optika:

- geometrická
 - přímočaré šíření
- vlnová
 - studuje vlnové vlastnosti (ohyb světla, difrakční jevy)
- kvantová
 - studuje elementární vlastnosti záření:

Zdroje světla

Vlastní

- teplotní
- luminiscence
- výbojky, lasery

Nevlastní

- odraz světla

11.1 Základní pojmy

Optické zobrazení – transformace vstupního svazku světelných paprsků optickými prostředky (zobrazovací soustavou) ve výstupní svazek.

Zobrazovací soustava je soubor zobrazovacích prvků (např. optických ploch – nejčastěji rovinných a kulových – zrcadla, lámavé plochy a čočky) sloužících k požadovanému optickému zobrazení.

Optická plocha je nejjednodušší zobrazovací prvek tvořený hladkým zobrazovacím rozhraním mezi dvěma různými prostředími.

Optická osa je přímka procházející středem křivosti kulové zobrazovací plochy (kulové úseče) a vrcholem této plochy.

Poloměr křivosti kulové zobrazovací plochy určuje vzdálenost středu křivosti a vrcholu této plochy.

Předmětový prostor je prostor, ve kterém se nachází zobrazovaný předmětový bod (např. reálný předmět).

Obrazový prostor je prostor, ve kterém se nachází bod vytvořeného obrazu.

Reálný (skutečný) obraz je obraz, u kterého světelné paprsky procházejí body obrazu.

Zdánlivý obraz je obraz, u kterého světelné paprsky neprocházejí body obrazu, ale vzniknou jejich extrapolací do obrazového prostoru.

Předmětové ohnisko je bod na optické ose zobrazovací soustavy, který se zobrazí v nekonečnu, ležící ve vzdálenosti f od vrcholu rozhraní.

Obrazové ohnisko je bod na optické ose zobrazovací soustavy, ve kterém se vytvoří obraz předmětu umístěného v nekonečnu, ležící v ohniskové vzdálenosti.

11.2 Základní vztahy

Zákon odrazu světla

Při dopadu světelného paprsku na rozhraní dvou různých prostředí dojde k jejich částečnému nebo úplnému odrazu. Odražený paprsek zůstává v rovině dopadu. Úhel odrazu α je roven úhlu dopadu α' světelného paprsku.

Zákon lomu světla

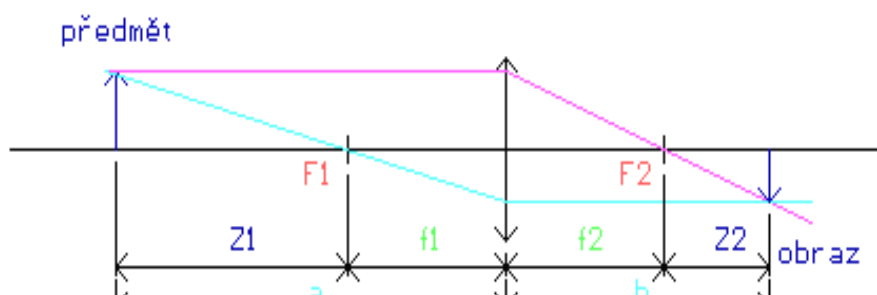
Světelný paprsek dopadající na rozhraní dvou různých optických prostředí prochází částečně z jednoho prostředí do druhého. Prošlý paprsek se láme v rovině dopadu. Poměr sinů úhlu dopadu α a úhlu lomu β je roven poměru indexů lomu prostředí.

Pravidla paprskové optiky

- paprsek jdoucí středem se neláme.
- paprsek směřující do ohniska vychází rovnoběžně s osou.
- paprsek jdoucí rovnoběžně s osou vychází směrem z ohniska.

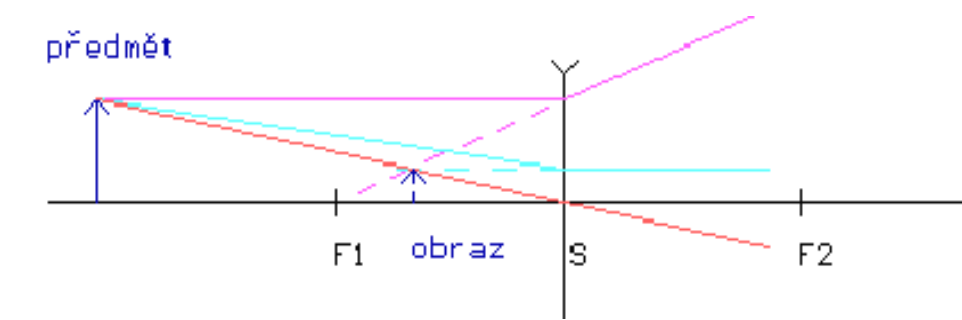
Použití při konstrukci obrazu získaného pomocí čoček (známé z fyziky základní školy).

Spojná čočka (spojka):



Obrázek 30: Zobrazení spojkou

Rozptylná čočka (rozptylka):



Obrázek 31: Zobrazení rozptylkou

Platí několik jednoduchých vztahů:

- Rovnice čočky: $1/a + 1/b = 1/f$
- Newtonova rovnice $z_1 \cdot z_2 = f_1 \cdot f_2$
- Optická mohutnost čočky: $D = 1/f$ [D] = dioptrie

kde

f_1, f_2 = ohniskové vzdálenosti

F_1, F_2 = ohniska

a, b = vzdálenost předmětu resp. obrazu od čočky

z_1, z_2 = vzdálenost předmětu resp. obrazu od ohniska

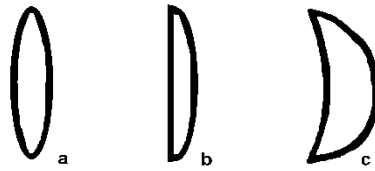
Optické zobrazení

- odrazem
 - zrcadlo kulové, rovinné, parabolické
 - kulová zrcadla dutá a vypuklá
- lomem
 - čočky.

11.3 Druhy čoček

Spojka – ohnisková vzdálenost a optická mohutnost >0 :

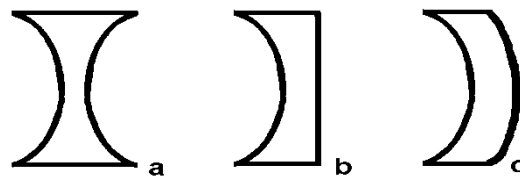
- dvojevypuklá - bikonvexní (a)
- ploskovypuklá - plankonvexní (b)
- dutovypuklá - konkávkonvexní (c)



Obrázek 32: Druhy spojných čoček

Rozptylka – ohnisková vzdálenost a optická mohutnost <0 :

- dvojdutá - bikonkávní (a)
- ploskodutá - plankonkávní (b)
- vypuklodutá - konvexkonkávní (c)



Obrázek 33: Druhy rozptylných čoček

11.4 Korekce zrakových vad

emetropie – stav, při němž je správný poměr mezi lomivostí optického aparátu oka a předozadní délkou očního bulbu

ametropie – porucha vidění způsobená nepoměrem mezi předozadní délkou očního bulbu a lomivostí optické soustavy oka.

Druhy ametropií

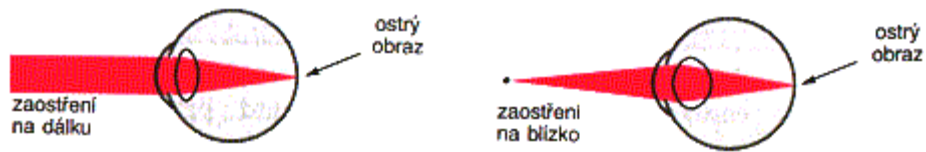
Sférická:

- krátkozrakost (myopie)
- dalekozrakost (hyperopie)

Asférická:

- astigmatismus

Emetropické oko

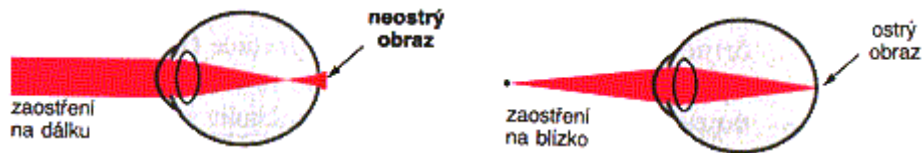


Obrázek 34: Fyziologické (emetropické) oko [Schmidt, F.: Fyziologie, Scientia Medica, 1993]

Ametropie sférické

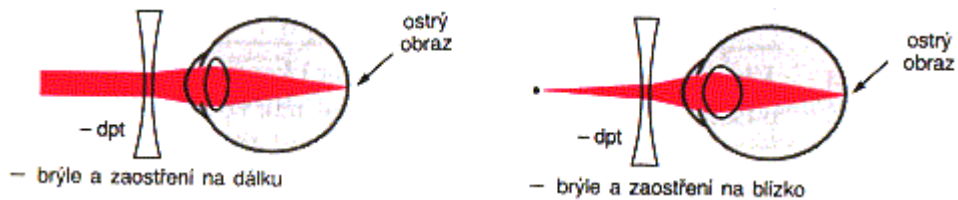
Oko myopické (krátkozraké)

Velká lomivost, paprsky se sbíhají před sítnicí



Obrázek 35: Principiální schéma myopie

Korekce: rozptylkou - ohnisko čočky je ve vzdáleném bodě

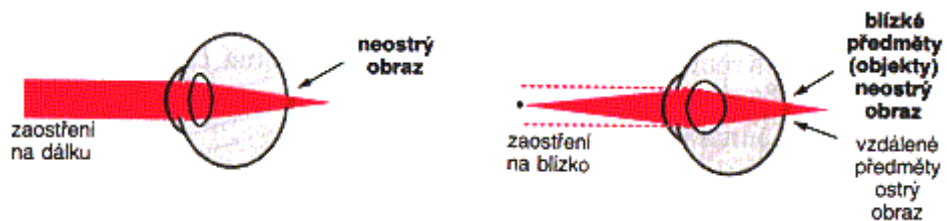


Obrázek 36: Korekce myopie

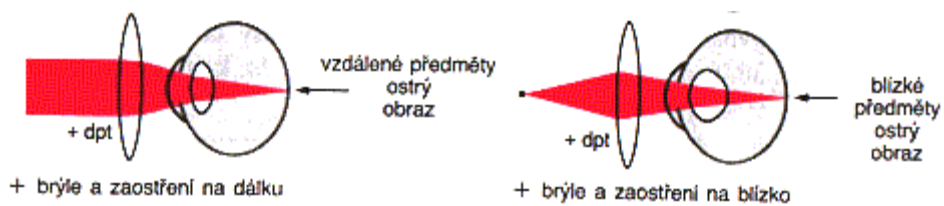
Krátkozraké oko vidí vzdálené předměty nezřetelně a větší. Akomodací nelze upravit

Oko hyperopické (hypermetropické, dalekozraké)

Paprsky se sbíhají až za sítnicí.



Obrázek 37: Principiální schéma hyperopie



Obrázek 38: Korekce hyperopie

12 LITERATURA























- [1] Kubeš P., Kyncl Z. Fyzika I. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. 190 stran.
- [2] www.szu.cz [cit. 2019-12-25]
- [3] <http://www.csets.sk/konf99/Zeman.htm> [cit. 2019-12-18]
- [4] <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm> [cit. 2019-12-21]
- [5] Vacek K., Nauš J. Vybrané partie z fyziky pro biology. 1. vydání. Praha: Academia, 1986. 208 stran
- [6] Navrátil L., Rosina J. a kol.: Medicínská biofyzika, Grada, 2005.
- [7] Rosina J., Kolářová H., Stanek J.: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů, Grada, 2006.
- [8] Hálek J. a kol.: Biofyzika pro bakaláře, II. vydání Olomouc 2002.
- [9] Hrazdára I. a kol.: Biofyzikální principy lékařské přístrojové techniky, MU Brno 1999.
- [10] Hálek, J. Elektronické texty přednášek z Lékařské biofyziky, dostupné na síti UP Olomouc F:\Software\HALFYZ
- [11] Hrazdára I., Mornstein V. Lékařská biofyzika a přístrojová technika. Neptun Brno, 2001.
- [12] Korpas D. Kardíostimulační technika. Mladá fronta, 2011
- [13] Beneš J., Stránský P., Vítek F. *Základy lékařské biofyziky*. Praha: Univerzita Karlova, 2005. ISBN 80-246-1009-4.
- [14] Rozina J, a kol. Biofyzika - Pro zdravotnické a biomedicínské obory. Praha: Grada, 2021, 304 s.

SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY

Blahopřejeme, došli jste až na konec této studijní obory. Pokud jste průběžně a samostatně odpovídali na kontrolní otázky, měli byste mít dobrou představu o tom, které pasáže si ještě musíte zopakovat.

Doporučuje pro samostudium zvolit i některou doporučenou literaturu.

PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON

	Čas potřebný ke studiu		Cíle kapitoly
	Klíčová slova		Nezapomeňte na odpočinek
	Průvodce studiem		Průvodce textem
	Rychlý náhled		Shrnutí
	Tutoriály		Definice
	K zapamatování		Případová studie
	Řešená úloha		Věta
	Kontrolní otázka		Korespondenční úkol
	Odpovědi		Otázky
	Samostatný úkol		Další zdroje
	Pro zájemce		Úkol k zamyšlení

Pozn. Tuto část dokumentu nedoporučujeme upravovat, aby byla zachována správná funkčnost vložených maker. Tento poslední oddíl může být zamknut v MS Word 2010 prostřednictvím menu Revize/Omezit úpravy.

Takto je rovněž omezena možnost měnit například styly v dokumentu. Pro jejich úpravu nebo přidávání či odebrání je opět nutné omezení úprav zrušit. Zámek není chráněn heslem.

Název: **Název studijní opory**

Autor: **Jména autorů každé na nový řádek včetně titulů**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě
Fakulta veřejných politik v Opavě

Určeno: studentům SU FVP Opava

Počet stran: 118

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.