

J. Rosina, H. Kolářová, J. Stanek

BIOFYZIKA PRO STUDENTY ZDRAVOTNICKÝCH OBORŮ

Státní vědecká knihovna v Košicích

III.203425

PRŮ. č. 979454
80-247-1383-7
000256879



2720033758

GRADA Publishing

Doc. MUDr. Jozef Rosina
Doc. RNDr. Hana Koliářová, CSc.
MUDr. Jiří Staněk, CSc., MSc.

BIOFYZIKA PRO STUDENTY ZDRAVOTNICKÝCH OBORŮ

Recenzovali:

Prof. MUDr. Vlastimil Slouka, CSc.
MUDr. Jiří Bakala

Obrázky překreslila Mgr. A. Kateřina Novotná na základě podkladů dodaných autory.
Fotografie dodali autoři.

Copyright © Grada Publishing, a.s., 2006
Cover Photo © profimedia.cz/CORBIS, 2006

Vydala Grada Publishing, a.s.,
U Průhonu 22, Praha 7
jako svou 2596. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Helena Glezgová
Sazba a zlom Josef Lutka

Počet stran 232

Vydání první, Praha 2006

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,
Husova 1881, Havlíčkův Brod

*Publikace vyšla za podpory firmy Medata, spol. s r.o. – distribuce
a servis kompletní spičkové lékařské ultrazvukové diagnostiky a moni-
torovacích přístrojů*



*Názvy produktů, firm apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registro-
vanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznače-
no.*

*Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování
a aplikaci jsou sestaveny s nejlépeším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro
autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.*

*Všechna práva vyhrazena. Tato kniha ani její část nesmí být žádným způsobem reproduková-
ny, ukládány či rozšiřovány bez písemného souhlasu nakladatelství.*

ISBN 80-247-1383-7

OBSAH

| | |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| Úvod | 9 |
| 1 Stavba hmoty, síly v přírodě | 11 |
| 1.1 Elementární částice hmoty | 11 |
| 1.2 Atomové jádro | 12 |
| 1.3 Elektronový obal | 12 |
| 1.4 Formy hmoty | 13 |
| 1.5 Disperzní systém | 13 |
| 1.6 Transportní jevy | 15 |
| 1.7 Jevy na rozhraní mezi dvěma fázemi | 18 |
| 1.8 Pohyb látek | 19 |
| 1.9 Interakce v přírodě | 20 |
| 2 Přeměna energie v organismu | 23 |
| 2.1 Potřeba energie | 23 |
| 2.2 Hladovění | 25 |
| 3 Sedimentace krve | 27 |
| 3.1 Fyzikální podstata sedimentace krve | 27 |
| 4 Odstředivá síla | 31 |
| 4.1 Využití odstředivé síly ve zdravotnictví | 31 |
| 5 Biofyzikální aspekty letecké dopravy | 35 |
| 5.1 Biofyzikální aspekty kosmických letů | 35 |
| 5.2 Přetížení a beztlaký stav | 36 |
| 6 Vnější tlak a organismus | 41 |
| 6.1 Působení vnějšího tlaku na organismus | 41 |
| 6.2 Vliv podtlaku na organismus | 41 |
| 6.3 Vliv přetlaku na organismus | 45 |
| 6.4 Otrava kyslíkem | 48 |
| 7 Sterilizace | 49 |
| 7.1 Základní pojmy | 49 |
| 7.2 Fyzikální postupy sterilizace | 49 |
| 7.3 Chemické postupy sterilizace | 53 |
| 7.4 Destilace, termostát, inkubátor | 54 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8 Biofyzikální aspekty regulace teploty, využití tepla a chladu | 57 |
| 8.1 Regulace teploty lidského těla | 57 |
| 8.2 Měření teploty | 61 |
| 8.3 Infračervené záření | 62 |
| 8.4 Koupele | 63 |
| 8.5 Lokálně používané tepelné procedury | 66 |
| 8.6 Chlad | 67 |
| 8.7 Využití kryoterapie v medicíně | 69 |
| 8.8 Priesnitzovy obklady | 70 |
| 9 Vliv vlhkosti vzduchu na organizmus | 71 |
| 9.1 Vlhkost vzduchu | 71 |
| 10 Hluk a audiometrie | 75 |
| 10.1 Vliv hluku na organizmus, ochrana proti hluku na pracovišti, audiometrie | 75 |
| 11 Fyzikální vyšetřovací metody | 81 |
| 11.1 Poslech, poklep, pohmat | 81 |
| 12 Ultrazvuk | 85 |
| 12.1 Charakteristika a vlastnosti | 85 |
| 12.2 Výroba ultrazvuku | 87 |
| 12.3 Obecný princip sonografie | 88 |
| 12.4 Účinky ultrazvuku | 89 |
| 12.5 Principy diagnostického užití ultrazvuku | 91 |
| 12.6 Principy terapeutického užití ultrazvuku | 95 |
| 13 Biologické membrány, klidový a akční membránový potenciál | 97 |
| 13.1 Klidový membránový potenciál | 97 |
| 13.2 Akční membránový potenciál | 99 |
| 14 Elektrický proud | 101 |
| 14.1 Obecná charakteristika | 101 |
| 14.2 Pasivní elektrické vlastnosti tkání | 104 |
| 14.3 Účinky elektrického proudu | 106 |
| 14.4 Využití elektrického proudu v medicíně | 107 |
| 14.4.1 Stejnoseměrný proud | 107 |
| 14.4.2 Střídavý proud o nízké frekvenci | 112 |
| 14.4.3 Střídavý proud středních frekvencí (několik kHz) | 116 |
| 14.4.4 Výsokofrekvenční proud a elektromagnetické vlnění | 118 |
| 14.5 Úrazy elektrickým proudem | 122 |
| 14.5.1 Zasažení bleskem | 123 |
| 14.5.2 Sekundární příznaky úrazů elektrickým proudem | 124 |
| 14.6 Aktivní elektrické vlastnosti vrušivých tkání | 125 |
| 14.7 Elektroklima | 129 |
| 15 Fyzikální základy dýchání, krevní oběh a krevní tlak | 131 |
| 15.1 Dýchání | 131 |
| 15.2 Krevní oběh a krevní tlak | 134 |
| 15.3 Měření krevního tlaku | 141 |
| 16 Optické záření, oko, přístroje a zařízení využívající optické metody | 143 |
| 16.1 Optické záření | 143 |
| 16.2 Viditelné světlo | 145 |
| 16.3 Teorie barevného vnímání | 146 |
| 16.4 Fyziologické a psychologické účinky barev, zrakové iluze | 146 |
| 16.5 Zdravé oko, vady oka a korekce vad | 148 |
| 16.6 Hygiena osvětlení pracoviště | 153 |
| 16.7 Přístroje a zařízení využívající optické metody | 155 |
| 16.8 Ultrafialové záření (UV) | 162 |
| 16.9 Infračervené záření (IR) | 166 |
| 17 Biomechanika, deformace pevného tělesa a její význam ve zdravotnictví | 169 |
| 17.1 Biomechanické funkce kostí, kloubů a šlach | 170 |
| 17.2 Síla pružnosti, meze | 170 |
| 17.3 Mechanické vlastnosti chrupavky | 173 |
| 17.4 Mechanické vlastnosti kloubu | 174 |
| 17.5 Šlachy a vazy | 175 |
| 17.6 Mechanické vlastnosti biologických materiálů | 175 |
| 17.7 Biokompatibilita | 175 |
| 18 Ionizující záření | 177 |



Úvod

Vývoj moderního zdravotnictví je úzce spjat s vývojem přírodních věd, především biologie, fyziky a chemie. Právě na rozhraní fyzikálních a biologických věd vznikla jedna z mezioborových vědních disciplín – biofyzika.

Oblast lékařské biofyziky soustřeďuje svůj zájem na člověka, na fyziologické a patologické projevy organismu a s tím související principy diagnostiky a terapie. Její součástí je i biofyzika, která studuje základní mechanismy působení různých fyzikálních faktorů na zdraví člověka.

Učebnice lékařské biofyziky, kterou držíte v rukou, je napsána pro studující různých bakalářských zdravotnických programů. Autoři věří, že si v ní „svůj text“ najdou všichni budoucí bakaláři.

Jednotlivé kapitoly podávají dostatečný obecný výklad různých fyzikálních dějů. Každá kapitola je pak rozšířena o materiál potřebný pro výuku jednotlivých bakalářských specializací (např. fyzioterapie, ošetrovatelství, zdravotní vědy apod.). Tento výukový text je uveden menším typem písma a prohlubuje obecné formulace učiva základních kapitol a zdůrazňuje medicínské aplikace.

Vzhledem k tomu, že je učebnice určena zejména studentům bakalářských studijních programů a smyslem bakalářského studia je zejména „výuka dovedností“, jsou fyzikální děje vysvětlovány záměrně bez použití (někdy) složitějšího „matematického aparátu“.

Předkládaná učebnice má za cíl pomoci studentům lépe pochopit aplikaci biofyziky pro jejich budoucí povolání v obecné rovině a také na mnoha konkrétních příkladech.

Praha, 2006

doc. MUDr. Jozef Rosina

doc. RNDr. Hana Kolářová, CSc.

MUDr. Jiří Stanek, CSc., MSc.

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 18.1 | Charakteristika ionizujícího záření | 177 |
| 18.2 | Jednotky v radioaktivitě | 179 |
| 18.3 | Druhy radioaktivní přeměny | 179 |
| 18.4 | Rentgenové záření | 181 |
| 18.5 | Neutrony | 183 |
| 18.6 | Kosmické záření | 183 |
| 18.7 | Biologické účinky ionizujícího záření | 184 |
| 18.8 | Přímý a nepřímý účinek ionizujícího záření | 184 |
| 18.9 | Radiosenzitivita | 185 |
| 18.10 | Ochrana před vnějším ozářením | 186 |
| 18.11 | Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření | 188 |
| 18.12 | Život buňky zasažené radioaktivitou | 189 |
| 18.13 | Akutní nemoc z ozáření | 189 |
| 18.14 | Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii | 191 |
| 19 | Využití ionizujícího záření v medicíně | 201 |
| 19.1 | Záření γ | 201 |
| 19.2 | Scintilační kamera | 203 |
| 19.3 | Tomografická scintigrafie | 204 |
| 19.4 | Rentgenové záření | 205 |
| 19.5 | Radioterapie | 207 |
| 19.6 | Terapeutické využití rentgenového záření | 208 |
| 19.7 | Terapie pomocí záření γ | 209 |
| 19.8 | Léčba částicemi | 210 |
| 19.9 | Ozařovací plán | 212 |
| 20 | Laser a jeho uplatnění ve zdravotnictví | 213 |
| 20.1 | Lasery, fyzikální podstata | 213 |
| 20.2 | Využití laseru | 216 |
| 21 | Nukleární magnetická rezonance | 221 |
| 21.1 | Princip MR | 221 |
| 21.2 | MR angiografie | 223 |
| 21.3 | Funkční magnetická rezonance (fMR) | 223 |
| 21.4 | Využití magnetické rezonance (MR) | 225 |
| | Rejstřík | 227 |

1 Stavba hmoty, síly v přírodě

1.1 Elementární částice hmoty

Elementární částice hmoty (protony, neutrony, elektrony) jsou stavebními kameny atomů (tab. 1). Všechny atomy (průměr atomu je řádově 10^{-10} m) se skládají z atomového jádra a elektronového obalu. Elektronový obal je tvořen, jak již název napovídá, záporně nabitými elektrony a je odpovědný za chemické a spektrální vlastnosti atomu. Atomové jádro nese odpovědnost za fyzikální vlastnosti látek, je složené z protonů a neutronů, je v něm soustředěna téměř veškerá hmotnost atomu a nese kladný elektrický náboj. Počet protonů v jádře určuje celkový náboj jádra, a tím i atomové číslo Z prvku, a tedy i zařazení atomu v periodické soustavě prvků. Celkový počet nukleonů (protonů „ Z “ a neutronů „ N “) v jádře udává hmotnostní (nukleonové) číslo A . Počet protonů v jádře je stejný jako počet elektronů v obalu, proto se atom jeví jako elektricky neutrální. Platí:

$$A = N + Z.$$

Podle současné fyziky se protony a neutrony skládají z **kvarků**, nejmenších dosud známých elementárních částic. Kvarky mají neobvyklou vlastnost – nesou „nečíslicelný“ elektrický náboj. Jeden typ, označovaný jako „ u “ je nositelem kladného náboje o velikosti $2/3$, druhý, označovaný jako „ d “ nese záporný zlomkový náboj velikosti $-1/3$. Všechny běžné částice mají přitom náboj celočíselný. To je možné proto, že například proton je složený ze dvou kvarků „ u “ a jednoho kvarku „ d “ ($+2/3+2/3-1/3 = 1$). Neutron se skládá ze dvou kvarků „ d “ a jednoho kvarku „ u “ ($-1/3-1/3+2/3 = 0$).

Tab. 1 Základní charakteristiky částic atomu

| Částice | symbol | hmotnost (kg) | relativní hmotnost | elementární náboj |
|----------|-------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| proton | p (p^+) | $1,6725 \cdot 10^{-27}$ | 1,0072 | $+1,6 \cdot 10^{-19}$ C (Coulomb) |
| neutron | n (n^0) | $1,6748 \cdot 10^{-27}$ | 1,0086 | bez náboje |
| elektron | e (e^-) | $9,1091 \cdot 10^{-31}$ | 1/1836 | $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C |

1.2 Atomové jádro

Počátkem 20. století existovalo několik modelů atomu, avšak žádný z nich se příliš nepřiblížil skutečnosti. Jádro atomu bylo objeveno v roce 1906 Ernestem Rutherfordem. Po mnoha experimentech své vědecké skupiny vyslovil závěr, že uvnitř atomu je malé jádro, v němž je soustředěna téměř veškerá hmota atomu a veškerý kladný náboj. Experimenty ukazují, že atomové jádro není ostře ohraničeno, ale že se hustota jaderné hmoty mění. Ukazuje se také, že v jádře působí na jaderné částice specifické přitažlivé síly – jaderné síly (silné interakce). Poloměr jádra se definuje jako poloměr oblasti, ve které působí jaderné síly (průměr jádra je řádově 10^{-15} m). Pro určení hmotnosti jader (v jádře je umístěna prakticky celá hmotnost atomu) můžeme užít hmotnostní spektroskopii.

Principem je, že kladně nabitě ionty – atomy s odebraným elektronem – o prakticky stejné energii vstupují šterbinou do homogenního magnetického pole s vektorem magnetické indukce kolným ke směru svazku. Dráha iontů s menší hmotností je více zakřivená a ionty dopadnou na fotografické desce do jiného místa než ionty těžší. Další možností je určování hmotnosti jader ze studia jaderných reakcí.

Hmotnost jader se obvykle udává v atomových hmotnostních jednotkách (ta je definována jako $1/12$ hmotnosti izotopu uhlíku ^{12}C) nebo pomocí kladové energie (udávané v eV).

1.3 Elektronový obal

Uspořádání elektronů se řídí obecnou zásadou, že libovolný systém (v daném případě elektronový obal) je stabilní, je-li jeho celková energie minimální. U atomu v základním stavu jsou tedy zaplněny energetické hladiny s nejnižší energií, hladiny se obsazují postupně tak, že každý další elektron obsadí dosud volnou hladinu s nejmenší energií. Energie elektronu roste se vzdáleností od jádra.

Charakteristika každého elektronu, nacházejícího se v elektronovém obalu, je jednoznačně určena čtyřmi kvantovými čísly (hlavní popisuje hladinu, na které se elektron nachází; vedlejší určuje typ orbitalů; magnetické určuje orientaci jednotlivých orbitalů v prostoru; spinové popisuje tzv. vnitřní moment hybnosti) a dále se podřizuje také Pauliho vylučovacímu principu. Toto pravidlo říká, že dva elektrony se nemohou nacházet

ve stejném stavu, ve kterém by měly všechna čtyři kvantová čísla stejná, jejich stavy se musí lišit alespoň v jednom kvantovém čísle.

Při absorpci energie (tepelné, světelné, energie ionizujícího záření apod.) elektronem může tento přejít na hladinu s vyšší energií a atom se tak dostane do **excitovaného stavu**. Vzhledem k výše popsané obecné zásadě stability atomu, charakterizované minimální energií, přechází elektron na hladinu s nižší energií: Při tomto přechodu dochází k vyzaření absorbované energie ve formě fotonů elektromagnetického vlnění. Pokud přijme atom tolik energie, že dojde k uvolnění elektronu z elektronového obalu, vznikne z atomu elektricky neutrálního kladně nabitá částice – kationt.

1.4 Formy hmoty

Hmota je základem všeho, co nás obklopuje. Je složena z malých pohybujících se částic. Jejich počet, druh pohybu a podmínky, ve kterých se částice vyskytují, určují, jak se bude hmota navenek jevit.

Dvě nejnámější formy hmoty jsou **pole (záření)** a **látka**. Pojem záření zahrnuje běžné jevy kolem nás: např. magnetické pole, teplo, světlo, zvuk aj. Nejlépe prozkoumané je pole elektromagnetické (jeho elementární kvanta – fotony – mají nulovou klidovou hmotnost, pohybují se konstantní rychlostí rovnou rychlosti světla ve vakuu). Mezi látky řadíme fyzikální objekty malých rozměrů, např. elektrony, protony a neutrony, atomy a molekuly. Každý ví, že látka se v prostředí naší Země může vyskytovat v různých skupenstvích (pevném, kapalném, plynném a plazmatickém). Látka v pevném skupenství si za daného tlaku a teploty zachovává objem i tvar; kapalina si zachovává pouze objem a plyn přijímá tvar i objem své nádoby. Plazmatický stav, vznikající zahříváním plynu, se v určitých směrech podobá plynnému skupenství. Látky jsou charakterizovány hmotností, elektrickým nábojem, rozměrem, tvarem, složením, vzájemným působením, při kvantovém popisu též kvantovými čísly.

1.5 Disperzní systém

Disperzní systém je soustava látek, která obsahuje alespoň **dvě složky** – fáze (chemická individua), přičemž jedna složka (disperzní podíl) je rozptýlena ve druhé složce (disperzním prostředí). Disperzním systémem

je například krev, která obsahuje složku korpuskulární (krvinky) a tekutou (plazma).

Obsahuje-li systém dvě složky a existuje-li určitá hranice mezi částicemi tvořícími obě složky, nazývá se takový systém **heterogenní**. Obsahuje-li naopak dvě složky a složka tvořící disperzní podíl, je rozptýlena ve složce tvořící disperzní prostředí v tak drobných částicích (atomech, molekulách), že nelze mluvit o rozhraní, nazývá se takový systém **homogenní**.

Suspenzi rozumíme hrubou disperzi tuhých látek v kapalném disperzním prostředí. Jejich koncentrovaným formám říkáme pasty. Emulze je disperzní systém sestávající ze dvou nemísitelných kapalin, z nichž jedna je ve formě kapiček rozptýlena ve druhé. Označení aerosol se používá pro hrubé (velikost rozptýlených částic 1 μm až 1 mm) nebo koloidní disperze (velikost rozptýlených částic 1 nm až 1 μm) tuhých látek či kapalin v plynném disperzním prostředí (tab. 2). S emulzemi a suspenzemi se

setkáváme též v živé přírodě. Suspenzí je například krev, příkladem emulze je mléko. Ke vzniku emulzí dochází například v tenkém střevě člověka. Potravinou přijaté tuky, které jsou ve vodě nerozpustné, jsou emulgovány dříve, než jsou napadány lipázami. Funkci emulgátorů vykonávají soli žlučových kyselin. Účinek emulgátorů spočívá ve tvorbě adsorpčního filmu na povrchu kapek disperzní fáze, přičemž se částice emulgátorů orientují tak, že svou hydrofobní částí míří do nepolární složky a lyofilním zbytkem do fáze polární. Suspenze, emulze a aerosoly jsou častou formou léčebných, dezinfekčních a kosmetických preparátů.

Naopak, soustavné vdechování aerosolů obsahujících křemičitany způsobuje chorobu z povolání – silikózu plic. Zdravotní nebezpečí představuje též možnost vzniku aerosolů radioaktivních izotopů, které způsobí zamoření ovzduší a případnou kontaminaci osob vdechováním a po usazení i zamoření povrchu předmětů.

1.6 Transportní jevy

Transportní jevy jsou děje, které probíhají v důsledku pohybu disperzí a při nichž dochází k transportu látek. Mezi tyto jevy patří:

Viskozita

Viskozitou se rozumí **vnitřní tření** (vznikající vzájemným silovým působením částic) mezi vrstvami proudící kapaliny. Na stykové ploše dvou vrstev kapaliny pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat pomalejší a pomalejší naopak zadržovat vrstvu rychlejší.

Viskozita je jednou z nejdůležitějších vlastností, která ovlivňuje vlastnosti proudění látek. Kapalina s větším vnitřním třením teče pomaleji. Větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině. Rychlost pohybu molekul proudící kapaliny závisí na teplotě, s rostoucí teplotou viskozita klesá a kapalina se pohybuje rychleji. Praktický význam v medicíně má viskozita krve. Její hodnota je ovlivněna hlavně teplotou.

Příklad: Při teplotě 37 °C se viskozita udává v rozmezí 3,0–3,6 mPa.s, u plazmy je to 1,8–2,0 mPa.s. Hodnoty viskozity krve je třeba sledovat například při podávání většího množství erytrocytů (tzv. erymasy) nebo při patologickém zmožení červených krvinek – polycytemia vera.

Tab. 2 Rozdělení disperzních systémů

| Disperzní prostředí | disperzní podíl | disperze hrubé velikost částic 1 μm – 1 mm | disperze koloidní velikost částic 1 nm – 1 μm | disperze analytické velikost částic do 1 nm |
|---------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| plyn | plyn | není | není | směsi plynů |
| | kapalina | děst', mlha, aerosoly | aerosoly | páry kapalin v plynu |
| | pevná látka | kouř, dým, aerosoly | aerosoly | páry tuhé látky v plynu |
| kapalina | plyn | bubliny, pěny | pěny | roztoky plynů v kapalinách |
| | kapalina | emulze (např. mléko) | lyosoly | směsi kapalin |
| | pevný | suspence | lyosoly, koloidní roztoky | pravé roztoky (glukoza ve vodě) |
| pevná látka | plyn | bubliny plynů v pevných látkách | tuhé pěny | plyny rozpouštěné v pevných látkách |
| | kapalina | pevné látky s uzavřenými kapičkami | tuhé pěny | krystalická voda |
| | kapalina | tuhé směsi | tuhé soly | tuhé roztoky |

Difuze

Difuzi definujeme jako pohyb částic (disperzního podílu) jedné látky do druhé. Pohyb je vyvolán **koncentračním spádem** (gradientem) a řídí se snahou o úplné vyrovnání koncentrace v celém objemu. Molekuly rozpuštěné látky putují do míst s nižší koncentrací a jev trvá do té doby, než se koncentrace disperzního podílu v celém objemu vyrovnají. Difuze je jedním z nejdůležitějších fyzikálních dějů, které umožňují pohyb látek uvnitř a vně buněk.

Dialýza

Je to difuze malých molekul a iontů z kolooidního roztoku dialyzační membránou do čistého rozpouštědla. V medicíně jsou dialýzou z těla odstraněny odpady metabolismu, které jsou u zdravého člověka odstraňovány pomocí ledvin. Tento proces je život zachraňující výkon, bez něhož by člověk s nefunkčními ledvinami zemřel. Známe dvě formy dialýzy:

Hemodialýza, při níž je krev pacienta vyčištěna pomocí speciálního přístroje (tzv. umělé ledviny). Tento proces, který se opakuje obvykle třikrát týdně a trvá čtyři až šest hodin, se provádí v tzv. dialyzačních střediscích. Druhým typem dialýzy je **peritoneální dialýza**, kdy se krev čistí uvnitř těla pacienta pomocí pobřišnice (peritonea). Do těla se přitom čtyřikrát až pětkrát denně přivádí speciální roztok (starý roztok se přitom vždy nahradí novým), který provádí čištění krve.

Princip dialýzy: Jde o princip difuze přes dialyzační membránu. Na jedné straně membrány protéká krev, na druhé je dialyzační roztok. Látky s rozdílnou koncentrací v krvi a v roztoku přecházejí z oblasti s vysokou koncentrací do oblasti s nízkou koncentrací. A tak látky škodlivé, obsažené v krvi, které však nejsou v dialyzačním roztoku, postupně přecházejí z krve do tohoto roztoku. Látky, které se při dialýze nesmí z těla odstranit, musejí být přítomny i v dialyzačním roztoku. Všechny takové látky však do roztoku přidat nelze (například vitaminy a aminokyseliny), a tak je pacient musí nahrazovat klasickou cestou – v potravě (během dialýzy se doporučuje jíst), popřípadě v tabletech. Dialyzační roztok naopak nesmí obsahovat jiné cizorodé látky, které by přešly opačně do krve. Proto se k míchání roztoku používá absolutně čistá voda. Dialyzační roztok přitéká a odtéká většinou rychlostí kolem 500 ml/min.

K rychlému čištění nebo zahuštění (odstraňování rozpouštědla) lze místo dialýzy použít **ultrafiltraci**. Jde o podstatě o filtraci membránou, kte-

rá nepropouští koloidy, urychlenou podtlakem pod membránou nebo přetlakem nad membránou. Použitím různých membrán o známé propustnosti lze disperzní systém rozdělit na frakce podle velikosti částic, případně i odhadnout velikost částic. Hemofiltrace na rozdíl od dialýzy využívá konvektivní transport solutů (transport založený na proudění rozpuštěných látek) během ultrafiltrace přes dialyzační membránu. Konvektivní pohyb solutů závisí na filtračním tlaku rozpouštěných látek a vody na speciální hemofiltrační membráně.

Osmóza

Mezi živými tkáněmi existují **polopropustné** (semipermeabilní) **membrány**, které propouštějí molekuly rozpouštědla (nejčastěji vody), ale přitom nepropouštějí molekuly látek, které jsou ve vodě rozpuštěné (disperzní podíl). Snaha po vyrovnání koncentrací se může realizovat pouze průnikem rozpouštědla do roztoku. To vede ke zředování více koncentrovaného roztoku. Tomuto samovolnému zředování říkáme osmóza. Roztok o nižším osmotickém tlaku se nazývá hypotonický, o vyšším osmotickém tlaku hypertonický. Rozpouštědlo proudí vždy z roztoku hypotonického do hypertonického. Roztoky o stejném osmotickém tlaku se nazývají izotonické nebo izosmotické. Mezi takovými k osmóze nedochází.

Velikost osmotického tlaku Π udává van't Hoffova rovnice:

$$\Pi = c \cdot R \cdot T,$$

kde c je molární koncentrace rozpouštěné látky
 R plynová konstanta a T teplota.

Každá buňka reaguje změnou objemu na prostředí, do kterého je umístěna. Například erytrocyt přemístěný ze svého obvyklého prostředí do hypotonického prostředí začne přijímat vodu a může dojít k rozpadu erytrocytu (hemolýze). Naopak v hypertonickém prostředí proudí voda z erytrocytu ven a červená krvinka se srašťuje. Za normálních okolností jsou tkáň i tělní tekutiny v osmotické rovnováze, neboť orgány jsou schopny osmotický tlak regulovat. Největší úkol při osmoregulaci mají ledviny. Pokud organismus ztratil velké množství tekutin (krvácení, průjmy), je třeba ztrátu nahradit vpravením vody a případně též elektrolytů a živin do krevního řečiště. Tato kapalina (infuze) musí být ovšem s krví izotonická. Podání hypotonického nebo hypertonického roztoku poškozuje krevní elementy.



1.7 Jevy na rozhraní mezi dvěma fázemi

Molekuly nacházející se na povrchu kapaliny mají odlišné vlastnosti od molekul uvnitř kapalné fáze. Mají větší energii než ostatní molekuly a výsledkem je vznik **povrchového napětí**, veličiny, která charakterizuje závislost povrchové energie kapaliny na jejím povrchu (kapalina má snahu mít co nejmenší energii, proto se snaží mít i nejmenší energii povrchovou).

Povrchové napětí je definováno jako síla, nacházející se na povrchu kapaliny a působící kolmo na jednotku délky povrchu fáze ($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$). Povrchové napětí klesá s rostoucí teplotou a nezávisí na velikosti povrchu, způsobuje dva biologicky důležité důsledky: kapilární elevaci a depresi (vodné roztoky mají spíše elevaci). Látky, které snižují povrchové napětí kapalin, se nazývají povrchové aktivní látky (surfactanty, tenzory). Povrchové napětí se uplatňuje na fázových rozhraních živých organizmů. Má velký význam například při dýchání. S povrchovým napětím na rozhraní dvou fází souvisí i další jev – adsorpce. Adsorpce je děj, při němž adsorbent váže adsorbovanou látku pouze slabými van der Waalsovými silami. Prohází pouze na povrchu adsorbentu. V důsledku výhodnějšího energetického uspořádání soustavy se na fázovém rozhraní může významně zvýšit koncentrace látky z jedné fáze – rozpuštěné látky nebo plynu. Pro množství adsorbované látky je rozhodující v případě plynu tlak, v případě roztoku koncentrace.

Příklad: Některá léčiva upravují prostředí v tenkém i tlustém střevě, odstraňují tlak a napětí vzniklé na základě plynatosti. Jejich účinek spočívá ve snížení povrchového napětí tekutiny obsažené v žaludku a trávicím ústrojí, čímž usnadňují odchod plynu a odstraňují nepříjemné pocity s tím spojené. Jedná se o látky, které se po perorálním podání nevstřebávají, působí pouze uvnitř trávicí trubice a odchází v nezměněném stavu stolici. Některé potravinové doplňky působí v těle člověka na všechny povrchy sliznic tak, že snižují povrchové napětí. Tím působí jako vylučovací a detoxikační funkce organismu.

Anti-HA protilátky neutralizující virus vyvolají ochranu před adsorpcí viru na receptorová místa cílových buněk, a tím zabrání infekci.

Účinnost tetanického anatoxinu zvyšuje jeho adsorpce na fosforečnan nebo hydroxid hlinitý. Protilátková odpověď je pak 5–10x vyšší, protilátky perzistují po delší dobu a množství nutného anatoxinu pro vyvolání imunity je nižší než množství, které je potřebné bez adsorpce na minerální nosič.

1.8 Pohyb látek

Znalost mechanismů kinetiky látek je nezbytná například ve farmakoterapii, kde se hledá pro danou formu léčivé látky nejúčinnější způsob podání. **Cesta podání** může být intravaskulární (lék je podán do žíly, do arterie či přímo do dutiny srdce), extravaskulární (lék podáváme do tkáně, odkud se vstřebává do krevního oběhu; patří sem podání do svalů, do úst, pod jazyk, do konečníku, na kůži, do podkoží, do dutiny břišní a vdechováním) či lokální (lék se nevstřebává a vyvolá pouze místní účinek v místě aplikace).

Většina léků se váže (je absorbována) na plazmatické bílkoviny. **Vazba na plazmatické bílkoviny** je proces, který směřuje k vytvoření a k udržení rovnovážného stavu mezi vázaným a volným množstvím příslušného léčiva a je za definovaných podmínek pro každý lék specifický.

Adsorpce je děj, při němž adsorbent váže adsorbovanou látku pouze slabými van der Waalsovými silami. Prohází pouze na povrchu adsorbentu.

Absorpce je děj, při němž se adsorbovaná látka na absorpční činidlo váže poměrně silnými chemickými vazbami. Většinou probíhá v celém objemu adsorbentu.

Příklad: Ibuprofen se silně váže na plazmatické bílkoviny (až 99 %), warfarin má vazebnost více než 99 %, valproát se ve vysoké míře váže na plazmatické bílkoviny, tato vazba závisí na dávce a je nasatelná. U hemofilie při vnitřním krvácení, například do svalů nebo kloubů, spočívá léčba v substituci plazmatické bílkoviny, resp. koagulačního faktoru, který chybí. Amoxicilin se váže na plazmatické bílkoviny asi z 20 %. Paracetamol se rychle a téměř úplně vstřebává z gastrointestinálního traktu. Rychle se distribuuje do všech tkání a tělesných tekutin. Maximální hladiny v plazmě je dosaženo za 10–60 minut po p.o. podání.

Vazbou látky na plazmatické bílkoviny se vytvářejí velké komplexy, které nemohou procházet biologickými membránami. Vázaná část látky je pak ve svém účinku neefektivní, protože nemůže proniknout do tkání ke svým receptorům. Zároveň se nemůže dostat k intracelulárním enzymům, není metabolizována a biochemickou transformací inaktivována. Prodlužuje se tak její účinek. Tento efekt se využívá ve farmakoterapii, chceme-li prodloužit dobu působení některého léku či prodloužit dobu jeho odbourávání.

Příklad: Léky s postupným uvolňováním účinné látky (často nazývané retardované) patří dnes mezi velmi atraktivní směry ve vývoji léčiv. Obvykle obsahují již dříve dlouho užívanou aktivní látku. Avšak novou lékovou

formu stačí vzít k dosažení stejného účinku, jako když jste užívali původní lék např. 4x denně, například jednou za den. Vědte toho, že podávání takového léku je pro pacienta pohodlnější, je často také dosaženo lepší udržování terapeutické hladiny účinné látky v krvi a s tím někdy spojeného snížení výskytu nežádoucích účinků.

Distribuci látek v organismu lze definovat jako děj, kterým jsou látky po svém podání rozdělovány v celém těle i mezi jeho jednotlivými částmi. Distribuce je podmíněna rozpouštěním látky v tělních tekutinách a její vazbou na bílkoviny plazmy a tkáni. Biologicky nejdůležitějším rozpouštědlem je voda. Látka, která proniká z krve do tkání, je zčásti rozpouštěna v extracelulární a intracelulární tekutině, zčásti se reverzibilně váže na povrch buněk a na různé makromolekulární struktury uvnitř buňky, případně se ukládá do depotních tkání.

Z organismu jsou vylučovány jednak metabolity jednotlivých metabolických pochodů, jejichž zvýšená koncentrace je pro živý organismus zpravidla toxická (katabolity), jednak látky, které přijal organismus v nadbytečném množství a jejichž části se zbavuje. V těchto pochodech se uplatňuje řada již výše uvedených biofyzikálních dějů a fyzikálních zákonů. Vylučování látek z organismu se děje ledvinami, zažívacím traktem, plicemi, žlázami různých orgánů a kůží.

1.9 Interakce v přírodě

V přírodě existují čtyři základní druhy interakcí: **silná interakce, slabá interakce, elektromagnetická interakce a gravitační interakce.**

Silná interakce představuje základní interakci mezi částicemi jádra. Je to nejsilnější známá interakce, umožňuje existenci jader. Má dostatečnou sílu na to, aby překonala vzájemné elektromagnetické odpuzování kladně nabitých protonů. Dosah jejího působení je však velice krátký (řádově 10^{-15} m).

Slabá interakce je zodpovědná za některé atomární jevy, např. **podílí se na přeměně beta.** Typickým příkladem slabé interakce je přeměna jaderného neutronu v elektron, nebo jaderného protonu v pozitron. Má také velmi malý dosah, řádově 10^{-18} m. Je druhou nejsilnější interakcí.



Elektromagnetická interakce působí **mezi elektricky nabitými částicemi jádra a obalu.** Její dosah je teoreticky nekonečně velký. Je druhou nejsilnější interakcí. Nosičem elektromagnetické interakce je foton. Fotonům v různých procesech (tj. při různých energiích) se říká například částice gama, rentgenové záření, světlo, mikrovlny, radiové vlny apod.

Gravitační interakce je nejsilabší interakce, ale **působí na všechny částice ve vesmíru.** Ze všech interakcí je nejnámější (není známa částice, která by nepodléhala gravitační interakci). Dosah gravitační interakce je nekonečně velký, její velikost se zmenšuje s kvadrátem vzdálenosti.

Gravitaci se zdůvodňují fenomény, jako je struktura galaxií, Černá díra (ve fyzice oblast časoprostoru, kterou nic nemůže opustit. Uvnitř Černé díry je pravděpodobně místo, kde je časoprostor extrémně zakřiven a přestávají platit rovnice obecné teorie relativity.), oběžná dráha planety, ale i padání předmětů, či proč nemůžeme zvednout těžké předměty. V současnosti se vědci snaží o spojení teorie obecné relativity a kvantové mechaniky do teorie kvantové gravitace. V této teorii by měly gravitaci přenášet částice gravitony, ty ale dosud nebyly pozorovány.

2 Přeměna energie v organismu

2.1 Potřeba energie

Denní **potřeba energie** závisí na mnoha podmínkách a je i při tělesném klidu (klidová přeměna) velmi rozdílná. Proto byl definován základní (bazální) metabolismus. U dospělých činí v průměru okolo 70 W. Příjem i ztráta tepla teplokrevných organismů musejí být stejné, nemá-li se měnit jejich teplota. Produkci tepla organismem lze určit z látkové výměny: Spotřeba kyslíku udává množství spalovacích pochodů probíhajících v těle.

Bazální metabolismus se zjišťuje nalačno ráno pomocí měření spotřebovaného kyslíku za tělesného klidu. Při některých onemocněních dojde ke snížení bazálního metabolismu (snížená funkce štítné žlázy, podvýživa apod.). Za jiných stavů je bazální metabolismus zvýšený (hyperfunkce štítné žlázy). Bazální metabolismus je nejnižší ve spánku.

I. termodynamický zákon definuje, že teplo lze proměňovat v práci a naopak. Matematické vyjádření tohoto zákona je:

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

kde Q je teplo dodané termodynamickému systému, které se částečně spotřebuje na zvýšení jeho vnitřní energie ΔU , a systém může ještě konat práci W .

V souladu s I. termodynamickým zákonem se v organismu vyměňuje energie ve dvou formách – jako **teplo** nebo jako **práce**.

Celkový obrat energie u dospělého člověka činí 6300–8400 kJ za den. Předpokládá se, že hodnota celkového energetického obratu je přímo úměrná povrchu těla.

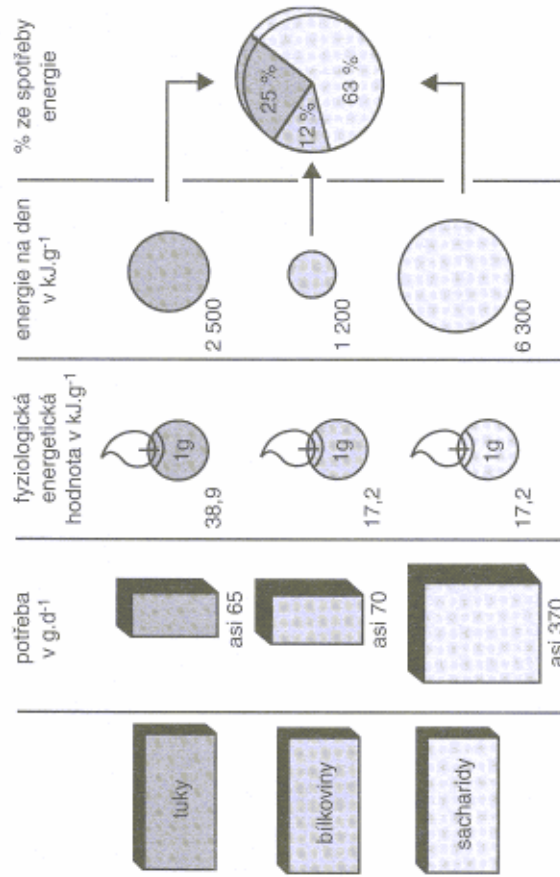
Podstatná část energie se člověku dodává potravou ve formě chemické energie. Přijatá energie se může proměňovat na teplo, na energii elektrickou, světelnou nebo v novou formu chemické energie.

Tělesná práce potřebu energie zvyšuje. Například práce v kanceláři odpovídá průměrnému výkonu 127 W, nejtěžší práce u žen odpovídá 175 W, u mužů 230 W na 70 kg tělesné hmotnosti za den. Vrcholoví sportovci zvyšují energetický výdej během dvou hodin (maratónský běh) až zhruba na 1600 W.

Tvorba tepla je přibližně přímo **úměrná hmotnosti**, jeho **ztráta** je přímo **úměrná velikosti povrchu** živočicha. U malých teplokrevných orga-

nizmů je ztráta tepla pro poměrně velký povrch velká, a proto je tepelná výměna u nich relativně rychlá. Obráceně je tomu u velkých teplokrevných organismů, v nichž se vytváří poměrně velké teplo a jeho ztráty jsou malé. Tyto vztahy vyplývají ze vztahu mezi hmotností (objemem) a povrchem. Velikost teplokrevných zvířat má proto svou horní hranici. Ta může být překročena, žije-li zvíře ve vodě (např. velryba), kde je ztráta tepla povrchem mnohem větší.

Energetická potřeba je kryta třemi základními živinami: **bílkovinami, tuky a sacharidy** (obr. 1).



Obr. 1 Energetická hodnota živin a potřeba energie (propočítaná na muže hmotnosti 70 kg, který vykonává lehkou práci; potřeba je uvedena v gramech za den)

Pro organismus je nezbytný i přívod minerálních látek, zvláště vápníku, železa, jodu. Kromě toho potřebujeme i tzv. stopové prvky a vitamíny. Převážná část energetické potřeby je kryta sacharidy (škrob, cukr, glykogen) a tuky (živočišné a rostlinné tuky a oleje), které se mohou z hlediska energie jako živiny vzájemně zastupovat. V poměru k lehkým pracovním podmínkám se ve vyspělých zemích většinou konzumuje energeticky příliš bohatá potrava (daleko více tuků, než je skutečná potřeba organiz-

mu). Důsledkem tohoto nadměrného přívodu energie je nadváha. Při metabolismu se přeměňuje chemická energie živin na teplo a mechanickou práci (svaly).

Tuky a cukry jsou spolu s O_2 v organismu prakticky beze zbytku rozštěpeny na CO_2 a H_2O . Naproti tomu v organismu nejsou úplně odbourány bílkoviny; při jejich přeměně vzniká močovina.

V klidu se v těle přeměňuje energie přivedená ve formě potravy z největší části na energii tepelnou, protože organismus nevykonává téměř žádnou vnější mechanickou práci. Výdej tepla přitom odpovídá energetické přeměně uvnitř organismu.

Výživa má prakticky nejvýznamnější postavení mezi faktory životního prostředí, které ovlivňují zdravotní stav obyvatele, prodloužení života, zdatnost, odolnost, výkonnost, reprodukci pracovní síly, psychickou stabilitu i pocit subjektivní pohody.

Přeměnou potravy v organismu se uvolňuje energie potřebná pro činnost jednotlivých orgánů, zejména mozku, jater, ledvin, srdečního svalu a při tělesné aktivitě i kosterního svalstva.

Člověk musí jíst a pít, aby mohl žít a pracovat, pouze výživou se zvyšuje jeho tělesná hmota (v dětství je nutná pro růst, v dospělosti pro neustálou obnovu některých částí těla). Výživou získává sílu nutnou zejména pro tělesnou práci a také látky, které mu umožňují lépe odolávat různým nemocem. Bez dostatečné výživy nemůže být člověk živ, bez správné výživy nemůže zůstat zdrav.

2.2 Hladovění

Hladovění dělíme na částečné, kdy člověk nepřijímá pouze některé složky potravy, nebo úplné. S hladem se člověk setkává například při vynuceném snížení příjmu potravy při nedostatku nebo při nemoci, mnohdy se s ním setkávají obyvatelé tzv. třetího světa. Fyziologicky prospěšné hladovění je jednoduše řečeno hladovka (půst). Jedná se o dobrovolné naprosté zřeknutí se jídla. Je to něco zcela jiného než hladovka vynucená okolnostmi. Pokud se ocitnete bez přísunu jídla a bez vyhlídky na změnu, budete prožívat obrovský stres, strach ze smrti hladem, a to vše dokáže ublížit. Pokud se člověk dobrovolně zřekne jídla (s možností kdykoliv s hladověním přestat), dá tělu šanci, aby se samo vypořádalo nejenom s nadbytečnými kilogramy, ale také s některými toxiny uloženými v tkáních apod. Je pro-

kázáno, že půst nebo hladovění zpomalují stárnutí, zlepšují obranyschopnost a látkovou výměnu.

Člověk přežije úplný hlad 17–74 dní (záleží zejména na teplotě prostředí), ženy jsou vůči hladu odolnější, protože mají více tuku (74 dní je rekord). V průběhu hladovění nastupuje snížení aktivity, apatie, snížení celkového metabolismu (změněním aktivních orgánů, např. jater, snížením tyroxinu). Ubývá tuku (ale zejména nízký úplně všechen), dochází k rychlé depleci (poměrně malých) zásob cukru. Objevuje se více ketoláték v krvi a dechu (snížená aktivita pentozové dráhy). Počáteční úbytek váhy je způsoben zejména úbytkem vody v důsledku ztráty elektrolytů vyvažujícímu ztráty proteinů. Pak nastupují projevy nedostatku vitamínů, bradykardie (až na 37 tepů/min), hypotenze (systolický tlak kolem 95 mmHg), snížený srdeční výdej (až o 45 %). Je podstatně snížena aktivita hypofýzy, a proto i závislých endokrinních žláz, méně tyroxinu. Sníží se tělesná teplota (0,5–1 °C) a je pozorována zvýšená citlivost na chlad, častá je amenorea a snížené libido.

3 Sedimentace krve

3.1 Fyzikální podstata sedimentace krve

V okolí každého tělesa je **gravitační pole**, a to se projevuje působením gravitační síly na všechny objekty v tomto poli. Podle Newtonova gravitačního zákona velikost gravitační síly je přímo úměrná součinu hmotnosti (m_1, m_2) obou bodů, ale nepřímo druhé mocnině jejich vzdálenosti r . Matematicky je tento zákon vyjádřen následovně:

$$F_g = \kappa \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

kde κ je Newtonova gravitační konstanta.

Značnou velikost má **gravitační síla** v okolí těles s velkou hmotností. Při otáčení Země kolem osy vzniká odstředivá síla působící na všechna tělesa, která se nacházejí při povrchu Země. Výslednicí gravitační síly Země a této odstředivé síly je **tíhová síla**. Matematicky je tato síla vyjádřena následovně:

$$F = m \cdot g,$$

kde m je hmotnost tělesa.

Tíhová síla způsobuje, že všechny volně puštěné předměty padají volným pádem. Je to rovnoměrně zrychlený pohyb se zrychlením g o velikosti $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Toto zrychlení nezávisí na hmotnosti padajícího tělesa a nazývá se **tíhové zrychlení**.

Gravitačním působením Země také vysvětlíme jev zvaný sedimentace. Jestliže například v nádobě s vodou rozmícháme jemný písek, tekutina se zakalí vzniklou suspenzí. Když však nádobu necháme v klidu, písek bude zvolna klesat ke dnu, zde se usadí (sedimentuje) a voda nad vrstvou písku bude opět čirá. Částice písku ovšem nebudou ke dnu nádoby klesat volným pádem, ale mnohem pomaleji. Je tomu tak proto, že vedle gravitačního působení se projevuje ještě vztlaková síla, která je podle Archimédova zákona úměrná hmotnosti kapaliny vytlačené částicí. Pohyb způsobený výslednicí těchto sil vyvolá opět brzdicí třecí sílu (vnitřní tření), která závisí na velikosti a tvaru částic a na viskozitě kapaliny. Vzájemným půso-

bením částic písku a vody vzniká síla, která má opačný směr a částice se pohybují s menším zrychlením, popřípadě se obě síly vyrovnají a částice konají rovnoměrný pohyb stálou rychlostí.

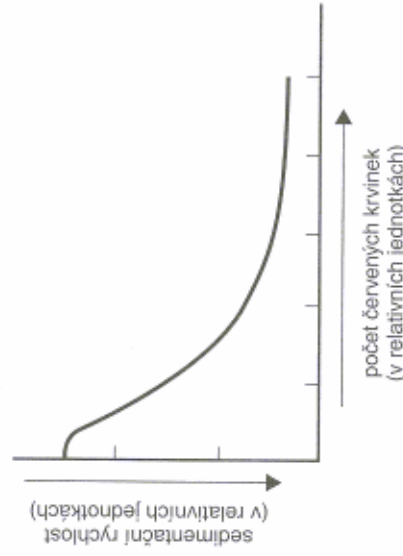
Podobný jev pozorujeme i při **sedimentační krve**. Je-li krev v klidu v nádobě, působí na každou krvinku jak síla tíhová, tak síla vnitřního tření. To má za následek, že krvinky padají proti proudu plazmy a jejich pád se zpomaluje. Rychlost sedimentace závisí i na množství krvinek v objemové jednotce, a proto sedimentace neprobíhá stejně rychle. V průběhu sedimentace ubývá krvinek z vrchních vrstev, ve spodních vrstvách se koncentrace zvyšuje a sedimentační rychlost snižuje.

Velmi důležitým činitelem ovlivňujícím rychlost sedimentace je vytváření shluků krvinek. Na začátku sedimentace jsou téměř všechny krvinky oddělené. Sraží-li se dvě krvinky, mohou se shluknout a shluk se může opět sražit s jinými krvinkami nebo shluky. Vzniklé shluky sedimentují rychleji než jednotlivé krvinky. Rychlost vzniku shluků je ovlivňována bílkoviny krevní plazmy. Nejvíce působí fibrinogen, zejména albuminy.

Celý průběh sedimentace můžeme rozdělit do tří víceméně se překrývajících úseků. **Počáteční období** trvá asi 5–25 minut a dochází v něm ke vzniku shluků – **sedimentační rychlost je malá**. Ve **druhém období** vzniklé shluky volně padají ke dnu a rychlost **sedimentace je podstatně větší**. Ve **třetí fázi**, kdy většina krvinek již klesla do spodních vrstev, se **rychlost sedimentace opět snižuje** a postupně se blíží k nule (obr. 2). Sedimentace je složitý jev, při němž je důležitá i velikost a tvar červených krvinek i jejich počet.

Ve zdravotnických zařízeních se provádí měření sedimentační rychlosti červených krvinek podle Fahreuse a Westergrena. Krev se odebere tak, aby se nesrážela (např. přidáním citrananu sodného). Nasaje se do trubice délky 200 mm a průměru 2,5 mm. Na trubici je vyryta milimetrová stupnice. Sedimentační rychlost se určuje tak, že se odečte, o kolik mm poklesnou krvinky za jednu a dvě hodiny. U zdravého muže je to asi 2–8 mm za 1 hodinu a 12 mm za 2 hodiny. U ženy asi 7–12 mm za 1 hodinu a 15 mm za 2 hodiny.

Při různých chorobných stavech, kdy dochází ke změně složení plazmatických bílkovin, dochází i ke zvýšení sedimentační rychlosti. Výsledek zkoušky je nespecifický, tj. neudává, o které onemocnění jde, avšak prokazuje chorobný stav. Rozhodujícím způsobem ovlivňuje výsledek sedimentace viskozita (vnitřní tření) krve, zejména poměr bílkovin plazmy – glo-



Obr. 2 Závislost sedimentační rychlosti na koncentraci červených krvinek

bulinu a albuminu. Tento poměr je při mnoha nemocech změněn (zánětlivé procesy, nádory apod.). Proto je jednoduchá zkouška sedimentace červených krvinek jak diagnosticky, tak prognosticky velmi užitečná. Měření rychlosti sedimentace krevních tělísek v krvi patří již dlouhá desetiletí mezi základní laboratorní vyšetření a její výsledek je mnohdy pro lékaře prvním varovným signálem upozorňujícím na nemoc.

Sedimentace krve je nespecifické vyšetření, které informuje o průběhu mnoha patologických procesů v organismu. Sedimentaci zvyšuje pokles počtu erytrocytů (anémie) nebo zrnění plazmatických a globulinů či fibrinogenu. Rychlost sedimentace je naopak zpomalena při polycytemii. Zvýšená sedimentace je průvodním nálezem u většiny infekčních onemocnění, alergických stavů, onkologických onemocnění, stresu. Fyziologicky se objevuje ve 2. polovině těhotenství a při menstruaci.

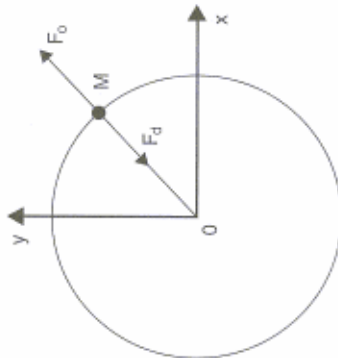
4 Odstředivá síla

4.1 Využití odstředivé síly ve zdravotnictví

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

Příklad: Jestliže roztočíme například kámen uvázaný na provaze, koná pohyb po kružnici a má stále stejnou vzdálenost od středu dráhy. Je-li rychlost pohybu konstantní, jde o pohyb rovnoměrný po kružnici. Tento pohyb je způsoben silou stále velikosti, která mění svůj směr, přičemž stále míří do středu dráhy. Proto ji nazýváme dostředivá síla.

Připomeňme si zkušenost, kterou máme z jízdy na řetízkovém kolotoči, kdy naše tělo rovněž koná rovnoměrný pohyb po kružnici. Přitom pocítujeme, jak jsme přitlačováni k sedátku kolotoče, naše tělo je těžší než v klidu. Takto se projevuje síla, která má stejnou velikost jako síla dostředivá, ale působí opačným směrem. Tuto sílu nazýváme síla odstředivá (obr. 3).



Obr. 3 Síla odstředivá F_o a dostředivá F_d , M je hmotný bod

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

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

nebo

$$F_o = m \cdot \omega^2 \cdot r,$$

kde m je hmotnost tělesa, v je obvodová rychlost, ω je úhlová rychlost, r je poloměr zakřivení (poloměr kružnice).

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

Podle způsobu pohonu se odstředivky dělí na ruční a motorické. Charakteristickým parametrem odstředivky je frekvence otáčení, tzn. počet otáček rotoru odstředivky za minutu.

Příklad: V laboratoři se nejčastěji používají nádobkové odstředivky. Suspenzi, kterou chceme odsíťovat, dááme do nádobek a vkládáme je do plechových schránek v odstředivce. Při vysokých otáčkách se uživačí zkumavky z umělých hmot nebo nerezové oceli, neboť dna skleněných zkumavek by nevydržela velikou odstředivou sílu. Zkumavky umístěné proti sobě je třeba vyvažovat, aby jejich hmotnost byla stejná. Jinak by mohlo dojít k poškození centrifugy. Oddělení krevních elementů od plazmy je možno provést centrifugováním při otáčkách asi 3000–4000 za minutu. Tato rychlost nestačí k oddělení bílkovinných molekul, jejichž velikost v poměru ke krvinkám je přibližně stejná jako velikost jablka k zeměkouli. Oddělení bílkovinných molekul lze dosáhnout zrychlením řádově 100 000 G (vysvětlení přetížení je uvedeno v kapitole 5), tedy stotisíckrát větším, než je zrychlení tíhové. V tomto umělém tíhovém poli váží 1 ml vody řádově stovky kg. Jeden litr by vážil stovky tun.

Centrifugy mají své nezastupitelné místo i ve výcviku pilotů stíhacích letadel nebo kosmonautů. S pokrokem letecké techniky se zjistilo, že vysoké přetížení je jedním z největších nebezpečí pro vojenské piloty i kosmonauty. Vysoká přetížení v bojových letadlech pilot překonává při akro-

bacii, při nácviu souboje s nepřitelem nebo nácviu úhybného manévru vůči řízené střele. Kosmonauti se s vysokým přetížením setkávají při startu i návratu kosmických lodí. Výcvik na snášení vysokých přetížení je oficiální důvod, proč se stávají centrifugy ve výcvikových střediscích pro piloty a kosmonauty. Musí se s účinky přetížení seznámit dříve, než se na nich projeví. Každý z nich musí poznat sám sebe, svoje hranice, pocity v nich a schopnosti vysoká přetížení překonávat. Technické zařízení centrifugy se skládá z vlastního ramene centrifugy, na němž je upevněna kabina pro pilota, kterou vyvažuje na základě hmotnosti pilota podle osy otáčení elektrického systému.

Zejména pro potřeby zkoumání koloidů a makromolekulárních sloučenin byla vyvinuta Švédem Theodorem Svedbergem (1884–1971) **ultracentrifuga**, pomocí které lze zkoumat v roztoku obsažené velké molekuly. Ultracentrifugy, rychloběžné odstředivky, pracují při vysokých otáčkách (nad deset tisíc za minutu).

Rychlost sedimentace závisí nejenom na velikosti a hustotě částic, ale také na velikosti odstředivé síly. Tato síla, jak je zřejmé z výše uvedeného vzorce, se zvětšuje se druhou mocninou počtu otáček a s poloměrem rotoru (vzdálenost částice od středu rotace). Proto je možno v ultracentrifugách při více než 60 tisících otáčkách za minutu dosáhnout hodnot přetížení až několika milionů g.

Ultracentrifuga je schopna odstředit nejen pevně viditelné částice, nebo viry a ribozomy, ale také bílkoviny a nukleové kyseliny.

5 Biofyzikální aspekty letecké dopravy

Ve světě ročně využívají leteckou dopravu miliony lidí. Do popředí se tak dostávají i otázky zdravotní bezpečnosti.

Klinické problémy přináší například **změny barometrického tlaku** (v kabině dopravních letadel bývá obvykle tlak odpovídající nadmořské výšce 1800–2500 m, což může být problém pro pacienty s chronickým srdečním nebo respiračním selháním. Kromě toho má vdech v tělesných dutinách tendenci k vyššímu rozpětí (i o desítky procent) a může způsobit různé obtíže. Nejčastějším problémem je iritace středouší. Potíže lze ovlivnit anhistaminiky, zvýkáním. Cestování z důvodu rozpětí vzduchu je kontraindikováno u osob s pneumotoraxem. Nežádoucí účinky mohou vzniknout u osob s inkarcerací a u stavů po laparatomii (do 10. dne). Nemocní s kolostomií mohou očekávat vydatné a časté vyprazdňování. **Snížení tlaku O₂** (nižší tlak kyslíku na palubě) může vyvolat nežádoucí účinky u těžkých plicních chorob, např. astmatu, emfyzému nebo cystické fibróze, u srdečního selhání, těžké klidové anginy pectoris, kongenitálních srdečních vad, těžké anémie. Takové osoby by během letu měly mít možnost užít kyslík a na jejich přítomnost na palubě je třeba upozornit leteckou společností. Pacienti po akutním infarktu myokardu by neměli cestovat dříve než za 10 dnů po odeznění akutní fáze. **Turbulence** vyvolávají závrať, zvracení, pocení, **změny časových pásem** přináší řadu psychických a biologických stresů. Nemocní léčení inzulinem by měli měnit rytmus aplikace inzulinu. **Psychologický stres** se projevuje jako klaustrofobie a úzkost, neurastické osoby se sklonem k hyperventilaci mohou mít křeče.

Kardiostimulátory jsou chráněny proti interferenci s bezpečnostními zařízeními, kterými prochází každý cestující. Před letem by mělo být zkontrolováno napětí baterií. U osob s kontaktními čočkami dochází při malé vlhkosti v kabině k podráždění oka.

5.1 Biofyzikální aspekty kosmických letů

Na každé těleso na povrchu Země působí vedle gravitační síly ještě odstředivá síla. Ta je největší na rovníku, protože je zde největší vzdálenost od osy otáčení. Naopak, nulová je odstředivá síla na pólech, poněvadž jimi osa otáčení prochází. Na rovníku má odstředivá síla opačný směr než síla gravitační a tělesa zde padají s menším zrychlením. Naopak, na pólech je

zrychlení volného pádu největší. Zrychlení volného pádu nazýváme tíhové zrychlení, jeho velikost závisí na zeměpisné šířce. Uvedená hodnota $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ odpovídá naší zeměpisné šířce.

Raketová technika umožnila, aby člověk povrch Země opustil a dosáhl dokonce i nejbližšího kosmického tělesa – Měsíce. To klade nároky nejen na konstrukci nosných raket a kosmických lodí, ale i na přípravu lidského organismu pro život v neobvyklých podmínkách spojených s pohybem v kosmickém prostoru. Základní odlišnost spočívá ve změnách silového působení na člověka. Nejde jen o to, že **síla gravitačního působení** se s rostoucí vzdáleností od Země zmenšuje. Při startu rakety dosahuje silové působení na tělo kosmonauta několikanásobku síly, která na něho působí na Zemi – vzniká **přetížení**.

5.2 Přetížení a beztlíživý stav

Při dosažení oběžné dráhy kolem Země působí na člověka v kosmické lodi vedle gravitační síly stejně velká síla odstředivá, která má opačný směr. Obě síly se navzájem vyrovnají a nastává **beztlíživý stav**.

Člověk snáší dobře libovolnou rychlost, ale nesnáší libovolné zrychlení, které se projevuje nejen při startu rakety, ale i při návratu raketoplánu na zemský povrch. Přetížení se obvykle vyjadřuje v násobcích normálního tíhového zrychlení g (G), např. 2 G .

Před startem působí na všechny předměty zemská gravitace, která je nutí padat ke středu Země s normálním tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Toto přetížení se označuje jako 1 G . Startuje-li raketa svisle vzhůru, sčítá se zrychlování rakety s gravitačním zrychlením. Startuje-li tedy raketa například se zrychlením $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, činí celkové přetížení 3 G .

Z hlediska lidského organismu je důležitá nejen **velikost přetížení**, ale i **doba působení přetížení**. Bez poruchy může organismus snést poměrně vysoká přetížení, působí-li jen zlomek sekundy, avšak malá přetížení působící dlouhou dobu snáší organismus hůře. Působí-li menší přetížení delší dobu, dostaví se ztráta vidění a výrazné zhoršení pohybu. Při působení větších sil kratší dobu může dojít k roztržení svalů nebo zlomeninám kostí. Tyto faktory se uplatňují například při katapultování pilota s padákem, musí-li pilot opustit velmi rychle letící letadlo (tab. 3). Vzniká nebezpe-

čí zlomeniny páteře a při náhlém a značném zpomalení (po otevření padáku) poškození srdečního svalu nárazem o hrudní koš, což někdy vede k tzv. pozdní smrti. Po nárazu srdce o hrudní koš může dojít k náhlému zvýšení podráždění myokardu, objevují se poruchy rytmu až fibrilace komor, poruchy převodu vzruchu až zástava srdeční činnosti. Po silném úderu může vzniknout také traumatický infarkt myokardu.

Tab. 3 Zrychlení v letectví

| Situace | zrychlení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) | doba trvání zrychlení (s) |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| vymrštění sedadla katapultem | 10–15 | 0,25 |
| otevření padáku (v různých dobách) | 5–33 | asi 1 |
| přistání padákem | 3–4 | velmi krátké |
| nouzové přistání letadla bez podvozku | až 45 | asi 1 |
| start letadla | 0,5 | 10 i více |
| katapultování letadla | 2,4–5 | 1,5 |

Rozeznáváme:

Přetížení kladné podélné: Směřuje-li síla od hlavy k nohám, tj. ve směru gravitační síly. Při přetíženích +2 G převládá pocit těžkých, hůře ovládaných končetin, při přetíženích větších než +5 G dochází k velkému městnání krve v dolních končetinách, tlak v žilách nohou stojící osoby může dosáhnout až 60 kPa (450 mmHg), to je hodně dilatuje, brzdí žilní návrat, zatímco arteriální tlak na úrovni srdce může poklesnout až na 5,3 kPa (40 mmHg). Tím dochází k nedokrevní mozku, což vede až ke ztrátě vědomí, a nedokrevní sítnice oka má za následek tzv. bílou slepotu (při +4 až +6 G nastupuje za několik sekund). Při přetíženích větších než +20 G může docházet ke fraktuře obratlů. Proti kladnému podélnému přetížení pomáhá anti- G oblek. Kladné podélné přetížení vydrží člověk v sedě +4 G asi 40–50 sekund, +20 G asi 1 sekundu (ve stoje méně), při +4 G se nedaří udržet vzprímenou polohu, udržet otevřené oči je namáhavé, stejně jako dýchání. Trénink: komprese břicha předklonem a stahem břišních svalů; zvýšení nitrohrudního tlaku.

Přetížení kladné příčné: Největší tolerance vůči němu je vleže (+17 G snáší trénovaný organismus až 3 minuty), nejvíce namáháno je dýchání (hypoventilace).

Přetížení záporné (vzniká hlavně při letecké akrobacii): Síla směřuje od nohou k hlavě, dochází ke městnání krve v hlavě, nad 3 G vzniká tzv. červená slepota v důsledku překrevní sítnice, může dojít i ke krvácení do sítnice oka a k poruše

mozkových kapilár (nebezpečí krvácení do mozku). I kdyby nedošlo ke krvácení, trvají bolesti hlavy a otok obličejů 1 hodiny po působení negativních odstředivých sil. Obecně se snáší záporné zrychlení hůře než kladné.

Nebezpečí účinků přetížení na krevní oběh je možno podstatně snížit vhodnou polohou těla kosmonauta. Výhodná je poloha, kdy směr síly svírá s osou těla kosmonauta úhel 30–35°, takže kosmonaut je v kabině umístěn polosedě polože. V poloze kolmé na směr síly by vznikl tlak na hrudník a dýchání by bylo znemožněno.

Vliv odstředivých sil na krevní oběh a celkový zdravotní stav letce se studuje ve zvláštních velkých odstředivkách (centrifugách), které dovolují zaznamenat reakce sledované osoby na působení odstředivých sil.

Do „kosmické“ medicíny patří také výzkum působení beztlížného stavu na organizmus. V družici obíhající kolem Země je tíhová síla zrušena stejně velkou silou odstředivou, takže člověk v družici žije v beztlížném stavu. Mozek nedostává žádnou informaci o poloze těla ze zvláštních smyslových receptorů v kůži, ve svalstvu, v kloubech a ve vnitřních orgánech, ani z polohového čidla ve vnitřním uchu. Kontrola mozku nad polohou těla je ztížena, částečně je porušena orientace v prostoru.

Z výše uvedeného můžeme jmenovat tři hlavní problémy s „beztíží“:

1. Vnímání gravitace (syndrom adaptace na vesmír je „formou mořské nemoci“, vzniká z nesouladu mezi vizuálními, taktilními a gravitačními vjemy). Začíná po hodině až dvou dnech letu, může přetrvávat až 4 dny. Výsledkem je nechuť, pocení, nevolnost, závratě, zvracení, bolest hlavy, poruchy soustředění. Odeznívá spontánně.
2. Přesuny vody (voda se přesunuje zdola nahoru, každá noha ztrácí asi litr tekutiny během prvního dne). Výsledkem je otok obličejů, nosní kongesce, „rýma“ po celou dobu beztíže. Větší objem krve v hrudníku zvyšuje tepový objem a srdeční výdej, ten ale posílá klesá, protože neaktivní svaly ho méně potřebují. Je popisována dehydratace tkání. Normalizace nastupuje během pár týdnů po návratu. Tyto změny se omezují cvičením a zvýšeným příjmem vody.
3. Kostí a svaly. Kosmonauti „povyrostou“, protože na páteř netlačí nic směrem dolů. Je pozorována ztráta asi 1–1,5 % kostní hmoty (a vápníku) za měsíc po celou dobu letu. Cvičení to nezastaví, jen trochu zpomalí, k zastavení dochází až asi měsíc po návratu. Osteolýza zvyšuje koncentraci Ca^{2+} v plazmě, to zvyšuje riziko ledvinových kamenů. Svaly atrofuji a ubývá v nich cév a nervových zakončení.

Tréninkem však lze získat velmi dobrou adaptaci na stav beztíže.

Do kosmické medicíny patří také otázky umělé atmosféry a regenerace vzduchu v kosmické lodi, otázky výživy při kosmických letech a dodržování biologického rytmu organizmu. Člověk je zvyklý na střídání dne a noci jednou za 24 hodin, ale při letu družice kolem Země se za tuto dobu den a noc vystřídá 16x. Důležitá je také ochrana kosmonautů před radioaktivním zářením.

6 Vnější tlak a organizmus

6.1 Působení vnějšího tlaku na organizmus

Na úrovni hladiny moře má atmosférický tlak hodnotu asi 101,3 kPa (760 mmHg). Celkový tlak vzduchu je dán součtem parciálních tlaků jednotlivých plynů ve vzduchu (tzv. Daltonův zákon).

Atmosférický tlak je tlak, který vzniká v plynu (vzduchu, atmosféře) jeho tíhou. Závisí na nadmořské výšce, hustotě vzduchu, gravitaci a na teplotě vzduchu. Působí všemi směry, díky pohybu částic všemi směry.

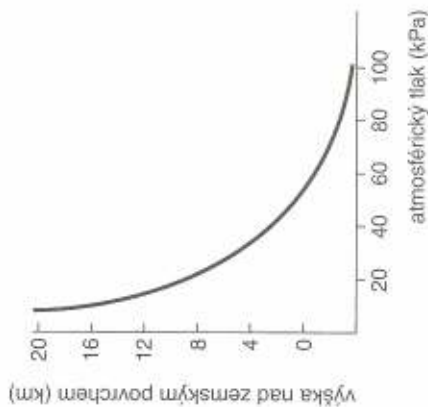
$$p = \frac{F}{S},$$

kde p je tlak (jednotkou je Pa), F je síla (jednotkou je N) a S je plocha (m^2).

6.2 Vliv podtlaku na organizmus

S rostoucí nadmořskou výškou klesá atmosférický tlak exponenciálně (obr. 4). V našich nadmořských výškách je při normálním atmosférickém tlaku nasycení arteriální krve kyslíkem až 97%. Do výšky asi 5000 m je parciální tlak kyslíku asi 50% a nasycení krve kyslíkem je 80%. Pak podstatně klesá, protože výrazně klesá i atmosférický tlak. Pokles tlaku vzduchu s rostoucí nadmořskou výškou je zcela přirozený, neboť ve větších výškách „tlačí“ na barometr kratší vzduchový sloupec.

Žije-li člověk delší dobu ve vysokých horách (např. v Andách) jsou měšata i ve výškách kolem 5300 m, v Tibetu jsou trvale osídlené vesnice ve výškách téměř 4600 m, nejvyšší doly



Obr. 4 Závislost atmosférického tlaku na nadmořské výšce

světa jsou ve výškách téměř 5800 m – horníci ale přespávají níže), působí se nižšímu parciálnímu tlaku kyslíku například stavbou těla (velký hrudník, malé tělo). Jeho krev má větší počet červených krvinek, větší množství hemoglobinu, zvětší se i množství krve v oběhu. Počet červených krvinek se zvýší již za několik hodin po snížení parciálního tlaku kyslíku, a to jejich vyplavením do oběhu. Právě zvýšení počtu červených krvinek stojí za smyslem tzv. vysokohorských soustředění mnohých sportovců před důležitou sportovní akcí (olympiáda, mistrovství světa apod.).

Krevní doping

V roce 1972 doktor Bjorn Ekblom ze stockholmského Institutu gymnastiky a sportů odebral čtyřem atletům dávku krve, odstranil z ní červené krvinky a uložil je do chladu. Tyto červené krvinky o měsíc později vrátil sportovcům do krevního oběhu. Nárůst množství krvinek zvýšil okysličování organismu a prudce zvýšil výkonnost běžců. Zrodil se krevní doping. V roce 1984 trenér amerického olympijského týmu cyklistů Eddie Bopysewitz dokonce vytvořil jakousi kliniku v motelovém pokoji v Los Angeles. Čtyři ze sedmi závodníků, kteří dostali krevní doping, získali medaile. Předtím neměly Spojené státy americké medaile v cyklistice od roku 1912. Doping fungoval. Člověk má jenom krev bohatší na červené krvinky.

Krevním dopingem je infuze krve nebo krevních derivátů přímo do žíly sportovce. Sportovci je v několikaměsíčním předstihu před důležitou sportovní soutěží odebrána krev, červené krvinky se oddělí od plazmy a uskladní se. Po návratu hematokritu ke sportovcově normálu se uskladněné krvinky krátce před soutěží vpraví do sportovcova krevního řečiště, což je spojeno s okamžitým vzrůstem hematokritu a se vzrůstem transportní kapacity krve pro kyslík. Je možno podat i krev okysličenou. Tato metoda je však v současnosti po rozšíření erythropoetinu (EPO) na ústupu.

Erythropoetin reguluje tvorbu červených krvinek, které jsou nositeli kyslíku v organismu. Díky EPO, a tím i zvýšenému přísunu kyslíku, se zlepšil výkon běžce při dvacetiminutovém běhu až o 30 vteřin. V maratónu to znamená o 4 minuty lepší výkon. Užívání syntetického EPO je velmi nebezpečné, může dokonce ohrozit život. Krev zhoustne a enormně zatěžuje srdce.

Výšková hypoxie

Při náhlém přechodu netrénovaných jedinců do výšek nad 2500 m dochází často k nevolnostem, jejichž hlavní příčinou je nedostatek kyslíku. Hlavní příznaky **výškové hypoxie** jsou bolesti hlavy (asi u 70 % lidí již ve výškách nad 2500 m), zvracení, závratě, zkrácený dech, nespavost, nechutenství, bušení srdce, únava nebo slabost, malátnost, dezorientace, ortostatické potíže (vrávoravá chůze) apod. Vrávoravá chůze (charakteristická pro velmi opilého člověka) může být způsobena výškovým otokem mozku (VOM). Postižená osoba má problémy kráčet rovně nebo při chůzi padá. Léčbou je okamžitý sestup. Vrávoravá chůze může přetrvat celé dny po sestupu.

Příznaky výškové hypoxie obvykle ustupují spontánně během 3–4 dní, je nutný klid, zastavit výstup do odeznění symptomů a pokud symptomy nepoleví, sestoupit. Nestačí-li kompenzační mechanismy, výše popsané příznaky se prohlubují a vyvíjí se **vysokohorská nemoc** – prohloubení dechových i oběhových potíží, otupení intelektu, chápání je více narušené než smyslové vnímání. Důležitý je pokles mentální výkonnosti (snížení pozornosti a schopnosti soustředit se, zhoršuje se úsudek, paměť, jemná motorika).

Tyto problémy nemusí být úplně nebo rychle reverzibilní, Americká lékařská výzkumná expedice na Everest našla přetrvávající abnormality některých kognitivních funkcí ještě rok po návratu z vysoké nadmořské výšky. Akutní horská nemoc je důsledkem nepřizpůsobení organismu hypoxickému prostředí v dané výšce.

Mezi změny, které se vyskytují u každé osoby při vysokohorském výstupu, patří: zvýšená plicní ventilace (zrychlené a prohloubené dýchání), pocit nedostatku kyslíku při námaze, zvýšené močení, časté noční probouzení, zvláštní sny. Organismus reaguje zvýšeným hematokritem (rozumíme tím poměr objemu krevních elementů a celkového objemu krve), normální hodnoty hematokritu se u muže pohybují v rozmezí 0,39–0,49, u žen pak 0,35–0,43. Hodnota hematokritu se snižuje při snížení počtu nebo objemu červených krvinek, například při nedostatku železa, krvácení, poruchách krevtvorby. Hodnota se naopak zvyšuje při pobytu ve vysoké nadmořské výšce nebo při dehydrataci a při zvýšení objemu krve (zvýšená tvorba erytrocytů, stoupá už 2 hodiny pod začátku hypoxie). Výsledkem je zvýšený počet červených krvinek v krvi, čímž se zlepšil transport kyslíku až o 50 %. Na druhou stranu je patrná zvýšená viskozita, která zvyšuje riziko moz-

kových příhod a embolií. Rozdělení krve v organismu se upravuje ve prospěch většího prokrvení mozku a srdečního svalu. Srdce snáší výškovou hypoxii překvapivě dobře (výšky do 3000 m jsou dobré na léčbu hypertenze). Prevenci pro turisty je nutnost se významně šetřit první den, ve výškách nad 3000 m nestoupat víc než 300 m/den, často odpočívat, hodně pít (až 3 l tekutin).

Hypoxie může rovněž vést k akumulaci sodíku a vody intracelulárně a ke ztrátám draslíku z buňky (porušení tzv. sodíkové – draslíkové pumpy; je popsána v kapitole o membránách). Nitrobuňčný edém je pokládán za základní patofyziologický mechanismus vysokohorské nemoci. Vysokohorský plicní edém je méně častý, ale mnohem závažnější. Vyvíjí se během 24–96 hodin po rychlém výstupu nad 4000 m. Může se rychle zhoršovat a smrt může nastat v několika hodinách. Vysokohorský mozkový edém je v mírném stupni přítomen u všech forem vysokohorské nemoci. Smrt může nastat během několika hodin. Retinální krvácení se může objevit již ve výškách nad 2700 m. Ve výškách nad 5000 m je časté. Většinou nevyvolává obtíže.

Plná aklimatizace nastupuje ve třetím týdnu vysokohorského pobytu. Aklimatizace je běžný proces, kterým se tělo přizpůsobuje nižšímu obsahu kyslíku a překonává změny chemických procesů, které vyvolává výška. Je to pomalý proces, který trvá několik dnů. Kompenzační mechanismy zvýší tlak kyslíku v alveolech plic a jeho kritická hodnota se projevuje až v extrémních výškách (blížících se k 6000 m).

Na **extrémní výšky** není možné se adaptovat, jde o patologické stimuly způsobující rychlé zhoršování výkonu, mentálního stavu, vyčerpání, bolesti hlavy, nastupuje i sněžná slepota (z UV odrazu od sněhu, oči bolí a nelze je otevřít proti světlu). Ve výškách kolem 7000 m může nastat kóma. Ve výškách nad 7900 m jde jen o přežití, jsou pozorovány vážné mentální problémy (halucinace, absence náhledu, myšlení je na úrovni 10letých dětí i u některých trénovaných horolezců), k tomu přistupuje i extrémní zima (na každých 1000 m se obvykle udává snížení teploty o 6 °C). Pobyt v nadmořských výškách nad 14 km je i při dýchání kyslíku možný pouze v tlakových kabinách nebo speciálních oblecích (kosmické lety). Ve výškách nad 20 km by bez takové ochrany začaly tělní tekutiny vřít, protože atmosférický tlak je v této výšce nižší než tlak vodní páry při 37 °C.

Při léčbě respiračních onemocnění se využívá vedle pobytu ve vysokohorském prostředí také podtlakových komor, ve kterých se snižuje tlak

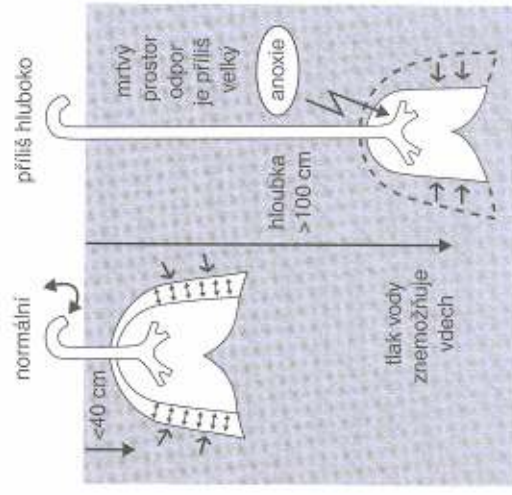
vzduchu o 20 kPa až 40 kPa (150–300 mmHg). Pomocí kompenzačních mechanismů se zlepšuje prokrvení plic, zvyšuje se výdej oxidu uhličitého. Kromě zvýšení sekrece z dýchacích cest a usnadnění vykašlávání se zmírňuje i kašel.

Citlivost různých orgánů a tkání na nedostatek kyslíku je rozdílná. Může je na nedostatek kyslíku obzvlášť citlivý. Tato skutečnost je o to závažnější, že žádná uhybnulá nervová buňka už není nikdy nahrazena. Při celotělové anoxii je rozhodující doba přežití mozku jako hodnota, která po odstranění anoxie limituje zotavení celého organismu. Již po 15 sekundách anoxie se dostává bezvědomí, ale ještě je možné úplné zotavení. Jestliže však anoxie trvá déle než 3 minuty, nastupuje již první nezvratné poškození mozku.

6.3 Vliv přetlaku na organismus

Při potápění těsně pod vodní hladinou mohou být dýchací cesty prodlouženy speciální dýchací trubicí pro potápěče (šnorchl), takže je zachován přístup atmosférického vzduchu. Dýchání je ale ztiženo, protože se nejenom zvětší mrtvý prostor, ale při vdechu se musí překonávat i **tlak vody**, působící na hrudník. Tento tlak se zvyšuje na každých 10 m hloubky o 98 kPa (735 mmHg) nad hodnotu atmosférického tlaku působícího na úrovní vodní hladiny (obr. 5).

Jako anatomický **mrtvý prostor** se označuje dutina ústní, nosní, hrtan, průdušnice a její větve – bronchy. Objem anatomického mrtvého prostoru je asi 150 ml. Vzduch v něm obsažený se nepodílí na výměně plynů. Anatomický mrtvý prostor způsobuje, že výměna vzduchu v plicích není nikdy úplná.



Obr. 5 Limity potápění s trubicí pro potápěče

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

Snižuje-li se tlak (při postupném vynořování potápeče), snižuje se i tlak dusíku ve vdechovaném vzduchu. Avšak parciální tlak dusíku ve tkáních je ještě vysoký. Je-li návrat na hladinu pomalý a postupný, dusík ze tkání difunduje krví do alveolů plic a je vydýcháván. Při příliš rychlém vynoření difuze nestačí a ve tkáních i v krvi vznikají bubliny dusíku, které vyvolávají již syndrom nazývaný dekompressní nebo častěji **kesonová nemoc**.

(Je to, jako když otevřete minerálku: V natlakované minerálce žádné bublinky nejsou, ale sotva ji otevřete, čímž snížíte tlak, začne rychle „bublat“).

Nejčastěji jsou postiženy klouby a kosti, ale také mozek a koronární arterie. Dochází ke svalovému a kloubnímu bolestem (nejčastěji v ramenou a loktech), slabosti (nenormální držení těla nebo potíže při chůzi), mdlobám, křečím. Bubliny dusíku obsažené ve venózní krvi mohou způsobit uzávěr plicní mikrocirkulace (plynová embolie), nastupuje paralýza, kolaps, bezvědomí, dyspnoe, plicní edém. Následky rychlého vynoření – dekomprese – mohou být proto i smrtelné. Dalšími příznaky provázejícími dekompressní nemoc mohou být: zkrácený dech, svědění kůže a skvrny po celém těle, nebo částečné či přechodné ochrnutí (od krku nebo od pasu dolů). Nástup těchto příznaků je podle závažnosti do několika minut až několika hodin.

Prevencí kesonové nemoci může být několikahodinové dýchání kyslíku před potápěním. Tím se z tkání vytěsni dusík a při potápěním nevzniká nadbytek dusíku v tkáních tak rychle. Při delším období hlubších ponorů někdy potápeči i na povrchu žijí v přetlakových nádržích. Jako prevence působí i **pomalé vynořování**. Po 1 hodině pobytu v hloubce 60 m při dýchání vzduchu je potřebné se vynořovat asi 3 hodiny, aby nedošlo ke vzniku dekompressní nemoci.

Další účinky podtlaku jsou:

Dusíková narkóza. Dusík má při vysokém tlaku i účinky podobné alkoholu. Je inertní plyn, což znamená, že při běžném atmosférickém tlaku, na který jsme zvyklí, na nás nikterak nepůsobí. Je-li však vdechován pod vysokým tlakem, objeví se u něj vlastnosti, které pozorujeme u anestetik. Obecně je dusíková narkóza stav, který se může objevit při dlouhotrvajícím potápění v hloubkách větších než 35 metrů (proto je sportovní potápění limitováno hloubkou maximálně 40 metrů).

Jaké jsou příznaky? Nastupuje žovialita, bezstarostnost, malátnost, pocit euforie, iracionální chování, poruchy soustředění, závrať, brnění a znečištění rtů, úst a prstů a extrémní únava (důvody nejsou jednoznačně známy). Postižení potápečči si strhávají dýchací náustky, brýle a ploutve, nebo se náhle potápějí do větších a nebezpečnějších hloubek. Postižený potápeč podlehne velmi pravděpodobně panice a příliš rychle se vynoří, nebo zůstává příliš dlouho v hloubce, neschopen se pro velkou únavu vynořit. Všechny tyto iracionální činy mohou způsobit vážné poranění nebo smrt nejen postiženého, ale i neškoleného zachránce. Narkóza nastupuje poměrně rychle, ale naštěstí rychle mizí při vstupu do menších hloubek.

Při potápění do větších hloubek je dusík nahrazován heliem, které nemá narкотický efekt.

Stlačení potápěčských brýlí. Je způsobeno změnou tlaku vzduchu uvnitř potápěčských brýlí během sestupu. Objem vzduchu uvnitř brýlí se zmenšuje s hloubkou a gumová nebo latexová manžeta brýlí může stlačit nebo sevřít tkáň obličej. Jestliže není tlak vzduchu v brýlích vyrovnáván, mohou být oči nebo tkáň obličej spolu se vzrůstajícím tlakem vody přímo nasávány do brýlí. Potápeč musí vyrovnat nosem tlak v brýlích, a tím situaci zvládnout. Podtlak v brýlích působí nejen na oči a tkáň tváře, ale i na nosní, čelní a čelistní dutiny, což může způsobit náhlé a silné krvácení z nosu. Příznaky stlačení brýlí mohou být: bolest a nepřijemný tlak okolo tváře a očí, popraskané cévky v bělmu, bolest hlavy, bolesti v hlavových dutinách a následné červené podlitiny, modřiny a otok tváře.

Barotrauma. Při otevřené Eustachově trubici dochází k vyrovnání s tlakem ve středouši. Při zánětech nebo jiných procesech vedoucích k neprůchodnosti Eustachovy trubice stoupá tlak na bubínek, vzniká edém, zánět a může dojít k ruptuře bubínku. Barotrauma se může manifestovat i ve vedlejších dutinách nosních. Klinickými příznaky jsou bolesti hlavy, závrať. Zvýšený tlak je přenášen i na cévy. Jestliže nedojde k vyrovnání tlaku, dochází k dilataci cév a rupturám. Překrvení zhoršuje možnost vyrovnání tlaku.

Léčebné využití přetlaku se provádí v přetlakových komorách, tzv. hyperbarických komorách. Přetlak je tu kolem 26,7–53,3 kPa. Hlavní indi-

lze použít teplot 60–80 °C, vždy na 30 minut až 60 minut, s přestávkami 16–24 hodin. Tento postup se označuje jako tyndalizace. Předpokládá se trojnásobné opakování.

Var pod tlakem

a) Při sterilizaci se využívá znalosti, že bod varu závisí na vnějším tlaku.

Sterilizace varem pod tlakem se provádí ve varných tlakových sterilizátorech, které jsou součástí chirurgických sterilizačních jednotek. Užívají se ke sterilizaci chirurgického instrumentaria. Používá se teplota kolem 135 °C a tlak 0,3 MPa. Protože prostor nad hladinou vody není zbaven vzduchu a obsahuje tedy směs páry a vzduchu, je třeba dbát na to, aby sterilizované nástroje byly zcela ponořené ve vodě.

b) Sterilizace nasycenou vodní párou pod tlakem (v autoklávu) se provádí nejčastěji za přetlaku 100 kPa při teplotě 120 °C po dobu 20–30 minut. Autoklávy jsou tlakové nádoby, v nichž pára vzniká přímo, nebo se do nich pára přivádí. Protože nádoby se dají vzduchotěsně uzavřít, vodní páry z nich nemohou uniknout a vyvinou v nádobě značný tlak, tím stoupá i teplota varu vody. Pro správnou funkci autoklávů je velice důležitá kvalita páry. Pro sterilizaci se užívá nasycená vodní pára, jejíž teplota odpovídá příslušnému tlaku. Pára nesmí být smíchána se vzduchem, protože sterilizační účinnost směsi je při daném tlaku podstatně nižší než u čisté páry. V autoklávech se sterilizuje gumové zboží, roztoky, textil, nástroje.

Vlhké teplo (pára nebo var pod tlakem) se využívá pro sterilizaci textilu z vláken, která snesou příslušné teploty, nástrojů, šicích materiálů, ale i gumy, má-li být brzy po sterilizaci použita. Touto metodou můžeme sterilizovat i skleněné a porcelánové předměty. Není vhodná pro některé plastické hmoty. Materiál uzavřený v bubnu se považuje za sterilní jen dny po sterilizaci.

Suché teplo

Je podstatně méně účinné než pára nebo voda pod tlakem. Má nižší koeficient vodivosti, a proto sterilizace probíhá při vyšší teplotě a po delší expoziční dobu.

a) *Vypalování v plameni*

Má-li být spolehlivé, musí být vypalovaný předmět zahrát do červeného

žáru a pak zvolna ochlazen. Vypalování zahrátím do červeného žáru se užívá běžně v bakteriologických laboratořích (bakteriologické klíčky).

b) *Sterilizace v horkovzdušném sterilizátoru*

Přístroje mají zařízení na ohřev vzduchu do teplot až 200 °C. Doba sterilizace začíná od dosažení zvolené teploty. Vzhledem k odolnosti mikrobů na suché teplo je zapotřebí poměrně dlouhé doby sterilizace. Horkovzdušná sterilizace se používá především pro předměty ze skla, porcelánu a kovu. Kromě toho je horkovzdušná sterilizace samozřejmě vhodná pro předměty a látky, které nesnášejí páru nebo u nichž je nežádoucí jejich možná vlhkost. Ve farmacii jsou to některé základy pudrů, oleje, tuky, parafín, glycerin a základy mastí. Předpokladem použití horkovzdušné sterilizace je samozřejmě schopnost sterilizovaných látek a předmětů snést teplotu do 200 °C. Metoda použití suchého tepla není vhodná pro sterilizaci předmětů z gumy a většiny plastů, z textilu, vaty, obvazového materiálu, papíru a hedvábí, které se mohou při vysoké použité teplotě poškodit. Teplota kolem 200 °C ovlivňuje i kvalitu ostrých nástrojů.

Ultrafialové záření

Ultrafialové záření má největší baktericidní účinek kolem 254 nm. To odpovídá i zjištěné maximální absorpci UV záření nukleovými kyselinami. UV záření působí pouze na povrchu a neproniká do hloubky. I při sterilizaci čirých tekutin je třeba počítat jen s povrchovým účinkem (do hloubky 0,1–1 mm). UV záření nelze proto v žádném případě použít ke sterilizaci dutých předmětů nebo sterilizaci předmětů volně rozložených, pokud nejsou ozářeny ze všech stran. Účinnost se zvyšuje při vyšší relativní vlhkosti vzduchu.

V praxi se UV záření používá ke snížení počtu zárodků v operačních a sterilních prostorech, v pitevnách, v odběrových místnostech, v léčebnách tuberkulózy. Skutečná sterilita je dosažitelná v malých prostorech (očkovací boxy, Hansenovy skříně), kde záření působí na krátkou vzdálenost a po dlouhou dobu. Účinnost UV záření klesá se čtvercem vzdálenosti ozařovaného objektu.

Ionizující záření

K průmyslové sterilizaci některých předmětů z plastů, a to v uzavřených obalech, některých léčiv, která nelze pro jejich nestálost sterilizovat tep-

lem, dále obvazů a jednocelových souprav se užívá rychlých elektronů. Tato sterilizace se osvědčila u kostních štěpů, které byly rychlými elektrony sterilizovány a po přenosu na příjemce se velmi dobře ujaly. Poměrně nízká pronikavost elektronů vede k malé účinnosti u objemnějších předmětů, zvláště při sterilizaci ve vyšších vrstvách. Ke sterilizaci se používá také záření gama (^{60}Co), které má větší schopnost pronikat než rychlé elektrony. Mezinárodně stanovená sterilizační dávka je 27 kGy. Je však na místě připomenout nedostatečnou účinnost obvyklých dávek záření na viry. Tyto dávky nelze zvýšit, neboť by mohlo dojít k poškození sterilizovaného materiálu. Tato skutečnost je silným argumentem proti resterilizaci (opakované sterilizaci) jakýchkoliv předmětů zářením, pokud přišly do styku s krví nebo jiným jiným materiálem, který by mohl obsahovat viry, především pak viry hepatitidy. Takto znečištěné předměty by bylo třeba před sterilizací zářením dezinfikovat, aby byly zničeny viry (např. teplem).

Ultrazvuk

Použití ultrazvuku se občas uvádí jako sterilizační metoda. Je sice pravda, že v malém množství bakteriální suspenze dojde k úplné destrukci mikrobů, pokud jsou v blízkosti zdroje ultrazvuku, pro praxi je však výsledek příliš nejistý a neuvádí se. Ultrazvuk však našel použití při čištění silně znečištěných skleněných předmětů.

Sterilizace v oleji

Používá se ke speciálním účelům. Pomocí oleje se sterilizují součástky s ozubením, např. stomatologické nástavce, frézy apod.

Sterilizace filtrací

Slouží k odstraňování bakterií z tekutin tam, kde je jiný způsob dekontaminace nevhodný. Viry procházejí většinou bakteriálních filtrů. Podle konstrukce a použitého materiálu dělíme filtry na:

Azbestové Seitzovy filtry lisované z azbestu a celulózy. Filtry zadržující bakterie jsou označeny EK (Entkeimung). Filtrační vložky jsou jednocelové a sterilizují se i s filtračními nálevkami v autoklávu.

Skleněné jenské filtry z borosilikátového skla ve formě porézních destiček zatavených v nálevkách. Používají se opakovaně. Po použití se čistí koncentrovanou kyselinou sirovou nebo chromsírovou a promývají důkladně vodou. Sterilizují se horkým vzduchem nebo v autoklávu.

Membránové ultrafiltry z nitrocelulózy s různou velikostí porů a průměru se u nás vyrábějí pod názvem Synpor. Vkládají se do speciálních kovových nálevek a sterilizují se v autoklávu nebo UV zářením germicidní lampou po dobu 20–30 minut ze vzdálenosti asi 50 cm. Filtrace výše uvedenými filtry se provádí za použití negativního tlaku pomocí vývěvy.

7.3 Chemické postupy sterilizace

Specifický účinek chemických látek na mikroorganizmy se projevuje v závislosti na jejich koncentraci a době působení (expozice). Antimikrobní látky nejčastěji přímo poškozují strukturu mikroorganizmů nebo narušují jejich základní metabolické procesy, např. oxidaci (sloučeniny chlóru, peroxidy, peroxid kyseliny), redukci (aldehydy), hydrolyzou (kyseliny, louhy), dehydrataci (alkoholy), koagulaci bílkovin (alkoholy, fenoly), změnou permeability (detergenční látky). Silné anorganické kyseliny a zásady se pro své toxické a agresivní účinky používají v praxi zřídka, např. vápenné mléko, kyselina boritá, kyselina peroctová, persteril (32–36% roztok kyseliny peroctové s 10% H_2O_2 a 1% H_2SO_4).

1. **Etylenoxid** (CH_2O) je vysoce reaktivní látka. Vzhledem k reaktivitě se dnes téměř výhradně pracuje se směsí etylenoxid + inertní plyn (oxid uhličitý). Ke sterilizaci etylenoxidem se používá přístrojů podobných autoklávu, v nichž se však místo páry sterilizuje etylenoxidem, zpravidla při tlaku 0,2–0,6 MPa, relativní vlhkosti 70–80 % a teplotě 55–60 °C po dobu 2–10 hodin. Protože etylenoxid se váže na plasty a gumu, je třeba po sterilizaci předměty z těchto látek důkladně vyvětrat a použít až za 48 hodin po sterilizaci. Etylenoxidem lze sterilizovat především předměty z plastů a gumy, endoskopy a jiné předměty nebo jejich součásti (např. ventily), šicí materiál a také nástroje a textil.

2. **Kyselina peroctová.** Je v zásadě prostředek dezinfekční, avšak s tak pronikavým a rychlým účinkem na mnohé mikroorganizmy (kromě cyst prvoků), že ho lze dobře využít i ke sterilizaci. Neúčinkuje však na vajíčka některých cizopasných červů (helmintů).

Pracujeme-li s přípravkem Persteril (36–40% roztok kyseliny peroctové), lze

termostatů obsahují míchačku, jejíž pomocí se vyrovnává teplota v celé termostatové kapalině. Nejdůležitějším zařízením celého termostatu je termoregulační zařízení, které udržuje stálou teplotu. Termocitlivým prvkem je kontaktní teploměr nastavitelný na libovolnou teplotu. K regulaci přisunu tepla slouží často spinací automatické zařízení.

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

ke sterilizaci nástrojů použít 0,5% roztok. Doba sterilizace jsou 3 minuty. Předměty musí být v roztoku zcela ponořeny. Persterilem se sterilizují i Petriho mísky a podobné předměty ze skla nebo umělých hmot. Hlavním úskalím použití Persterilu je schopnost některých kovů, především železa, rozkládat perocetovou kyselinu. Proto je třeba roztoky, v nichž byly sterilizovány kovové nástroje, čas od času měnit.

Zásady provádění sterilizace

1. Sterilizace znamená absolutní zničení všech mikrobů. Nelze proto mluvit o částečné sterilizaci.
2. Sterilizace se provádí jen tam, kde musí být dosaženo sterility. Nesmí proto nahrazovat dezinfekci nebo čištění.
3. Předměty určené pro sterilizaci je třeba předem důkladně vyčistit. Není však třeba je dezinfikovat.
4. Sterilní předměty, pokud nejsou chráněny obaly, se ukládají nejlépe do suchého prostředí. Konzervační roztoky mohou být zdrojem znečištění.

7.4 Destilace, termostat, inkubátor

Směsi nebo roztoky látek s různou teplotou se **oddělí destilací**. Při destilaci se přemění jedna z látek směsi, zahráté na teplotu varu dané látky v páru, která pak ochlazením zkapalní. Tímto způsobem se čistí například voda (vzniká tzv. destilovaná voda). Čistota se zvýší opakovanou destilací. Destilací se ovšem neodstraní látky, které mají stejný bod varu jako destilovaná kapalina. Někdy se u destilace využívá snížení teploty varu při podtlaku (vakuová destilace). Čím nižší je tlak, tím nižší je i teplota, při níž kapalina vře. Tak lze oddělovat některé látky bez použití vysokých teplot, při nichž se tyto látky poškozují nebo rozkládají.

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

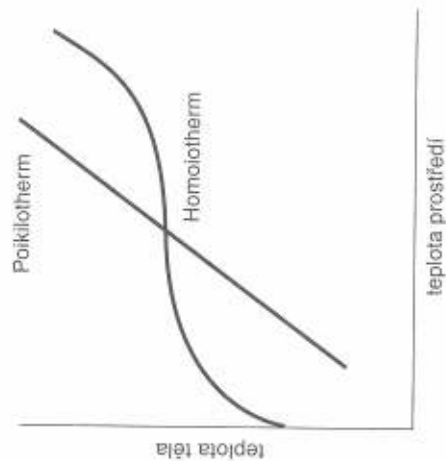
Kapalinové termostaty jsou tvořeny nádobami obsahujícími vodu, alkohol nebo olej podle teplot, pro které jsou určeny. Na rozdíl od vzduchových

8 Biofyzikální aspekty regulace teploty, využití tepla a chladu

8.1 Regulace teploty lidského těla

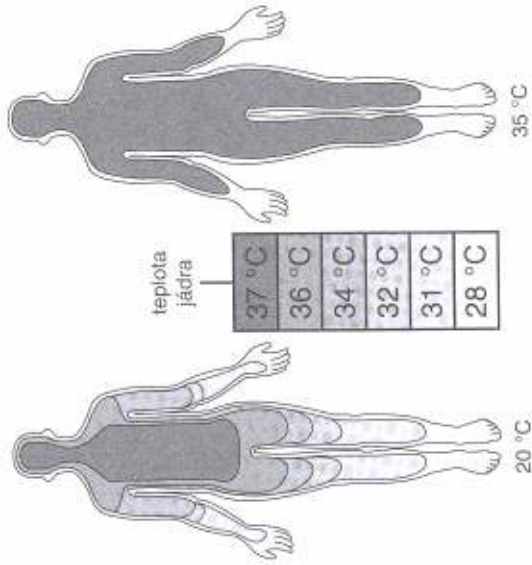
Tělesná teplota je dána stavem rovnováhy mezi tvorbou tepla organizmem, příjmem tepla z vnějšího prostředí a výdejem tepla z organismu (termoregulace). Člověk patří k teplotokrevným (homoiotermním) živočichům, jejichž teplota je udržována v dostatečně širokém rozsahu teploty vnějšího prostředí na konstantní úrovni (obr. 6).

Podrobnější studium distribuce tepla v organismu ukázalo, že na stálé teplotě je udržována jen určitá centrální část těla, nazvaná také **tepelné jádro** organismu. Tkáň na periférii kolem jádra, například končetiny a kůže, nazýváme **tepelným obalem**. Obal má nestálou a obvykle nižší teplotu než jádro (obr. 7). Chová se v jistém smyslu jako studenokrevný (poikilotermní) organizmus. Rozdílnost teploty v různých částech obalu je podmíněna především různým prokrvením. Končetiny, zejména prsty, vykazují největší výkyvy prokrvení, a tedy i velké kolísání své teploty.



Obr. 6 Teplota těla teplokrevných a studenokrevných živočichů v závislosti na teplotě okolí

Lidský organizmus udržuje svou stálou teplotu především změnou výdeje tepla. Pro termoregulaci má největší význam kůže, která svým povrchem (asi 2 m^2) může působit na jednu stranu obdobně jako ohřívač, na stranu druhou jako chladič. Teplota přicházející do kůže z jádra, reguluje CNS pomocí krevního oběhu. Přísun tepla krevním oběhem je závislý jak na množství krve (tj. množství vlásečnic otevřených pro oběh), tak na rychlosti oběhu. Krev, která proudí na periférii, se silně ochlazuje. Je-li okolí chladné, jsou tyto tepelné ztráty značné.



Obr. 7 Teplotní zóny těla (podle Aschoffa)

lotě okolí. Rozmezí teplot těla, ve kterém si lidský organizmus udržuje vitální funkce, je poměrně úzké (od 34 °C do 40 °C).

Účinkem pyrogenních látek se termoregulační centrum v hypothalamu nastaví na vyšší teplotu. Tím začnou účinkovat mechanismy, které vedou ke zvýšené tvorbě tepla a k jeho sníženému výdeji, protože tělo má zpočátku nižší teplotu. Takovými mechanismy jsou: vazokonstrikce, metabolická termogeneze, chladový třes – třesavka se zimnicí. Tělesná teplota se pomalu zvyšuje a po dosažení teploty odpovídající hodnotě nastavené v termoregulačním centru je termoregulace také posunuta k této hodnotě. Po odstranění příčin, které vedly k nastavení termoregulačního centra na vyšší hodnotu (např. léky), jsou aktivovány všechny mechanismy vedoucí ke snížení tělesné teploty. Dochází k velké vazodilataci a k významnému pocení. Pomocí těchto mechanismů teplota těla rychle klesá a je nadále regulována v normálním rozmezí.

Šíře **termoregulace** je určena dolní a horní kritickou teplotou okolí, při které ještě organizmus dokáže udržet teplotu rovnováhu. Termoregulace se uskutečňuje chováním (volba vhodného prostředí a činnosti, zaujetí optimální polohy těla), změnami metabolismu (u některých živočichů ve velkém rozsahu, např. u zimních spáčů) a fyzikálně (zvýšením izolač-

ní schopnosti nebo naopak tepelné vodivosti povrchu těla a odpařováním vody).

Překročí-li teplota vzduchu teplotu kůže, dochází k tepelné výměně: organizmus přijímá teplo ze vzduchu (např. sluneční záření, sálání z přehřátých objektů). V našich podmínkách je však významnou většinou teplota vzduchu nižší, a proto organizmus teplo nepřijímá, ale naopak, dochází k výdeji tepla z organizmu. Při něm se uplatňují čtyři fyzikální mechanismy: kondukce, konvekce, radiace a evaporace.

Kondukce (vedení)

Kondukce je výměna tepla při styku těles s rozdílnou teplotou. Je to předávání kinetické energie molekul jednoho objektu molekulám druhého objektu (prostředí) vzájemným naražením. Tepelná vodivost různých látek je přímo úměrná jejich vodivosti elektrické. Dobře vedou teplo kovy, nekovy (např. textil) se používají jako tepelné izolátory. Tepelná výměna vedením je u člověka malá a nepřesahuje 1 % z celkového výdeje tepla. Je to dáno jednak malou tepelnou vodivostí vzduchu, jednak tím, že většina předmětů, s jejichž větší plochou přicházíme do styku, špatně vede teplo (dřevo, textil). Významně se uplatňuje vedení ve vodě, kde je tepelná výměna asi 23x větší než ve vzduchu.

Konvekce (proudění)

V kapalinách a plynech dochází k proudění. Je to způsobeno pohybem částic s vyšší vnitřní energií. V organizmu se teplo odvádí proudem krve. Z činných orgánů (játra, svaly) se rozvádí do ostatních částí těla. Důležitým mechanismem je odvádění tepla do kožních kapilár a odtud do okolního prostředí. Konvekci vydává člověk asi 15 % z celkové tepelné výměny.

Radiace (sálání)

Každé těleso vydává do okolí tepelné záření. Účinná radiální plocha kůže je kolem 80 % skutečného povrchu při poloze vsedě nebo vstoje, ve schoulené poloze kolem 50 %. Velikost radiace závisí na rozdílu teploty mezi kůží a okolními předměty (proto lze cítit zimu v teplé místnosti se studenými stěnami). U člověka v klidu činí ztráta sáláním v našich podmínkách 55–60 % vytvořeného tepla.

Evaporace (vypařování)

Evaporace je velmi účinným mechanismem tepelné výměny. Je to jediný mechanismus, který zbývá, když je okolí teplejší než kůže (ostatními mechanismy se pak teplo naopak přijímá). Nejvýznamnějším evaporačním mechanismem je pocení. Výměšování potu může dosáhnout za hodinu až 1,7 l. Maximální denní množství je asi 12 litrů. Evaporace velmi závisí na vlhkosti okolního vzduchu, ve vlhkém prostředí se podstatně snižuje. Například v sauně snáší člověk teplotu vzduchu až 120 °C (při relativní vlhkosti asi 3–5 %) bez zvýšení tělesné teploty, zatímco již krátkodobý pobyt ve vlhké místnosti vede ke zvýšení tělesné teploty (v parní lázni při 50 °C za patnáct minut o 1 °C).

Tepelná kapacita závisí na objemu, tepelné ztráty na povrchu, proto batolata (relativně velký povrch) regulují tělesnou teplotu obtížněji.

V extrémních podmínkách (např. v poušti) může aktivní člověk ztratit 8–12 l vody za den potem, 0,5–1 l močí a 0,75 l respirací. Pokud není doplnění ztrát pitím úplně, klesá diuréza a houstne krev (sklon k ledvinovým kamenům a kardiovaskulárním potížím – trombózy).

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

I teplota pracoviště je důležitým fyzikálním faktorem pro zdraví a výkonnost člověka. Bylo zjištěno, že mírné kolísání teploty (2–3 °C) v průběhu pracovního dne je příznivější než úplně stálá teplota. Také statistiky o úrazovosti dokazují důležitost optimální teploty pracoviště. Zvýšení i snížení teploty oproti optimálnímu rozsahu pracovních teplot zvyšuje úrazovost pracovníků.

Růst tělesné teploty může být důsledkem kombinace přehřátí (vlivem tělesného pohybu, vystavení vysokým teplotám, vlhkému prostředí nebo nevhodnému oblečení) a nedostatečného příjmu tekutin. **Tepelný šok** je vážným zdravotním problémem, dochází ke křečím z tepla, nastupují příznaky, jakými jsou podrážděnost, nauzea, bolest hlavy. Pokud není postižený okamžitě ochlazen a nepřijme dost tekutin, může upadnout do bezvědomí a může zemřít. Je-li postižený při vědomí, podáváme tekutiny ústy, pokud ne, zajistíme ho do stabilizované polohy. V každém případě je však třeba přivolat lékařskou pomoc.

8.2 Měření teploty

Měření teploty je možno provádět s dostatečnou přesností v rektu nebo v ústní dutině. Měření v podpažní jamce jsou nepřesná a vyžadují delší dobu. Lékařské teploměry jsou rtuťové, stupnici mají dělenou od 35 °C do 42 °C po desetinných stupně. Měrná kapilára je nad rezervoárem se rtuť zaškrčená, doba výstupu sloupce rtuť při měření teploty trvá v ústech či v rektu asi 1 minutu. Při měření v podpažní jamce, v níž není dotyk těla a teploměru tak těsný, je doba měření minimálně 10 minut. Při chlazení se rtuť v místě zúžení přetrhne, takže sloupec rtuť v měrné kapiláře zůstane ve výši maximální teploty a před dalším měřením je nutno rtuť sklepat. Tento typ teploměru je dosud ve zdravotnictví nejrozšířenější, i když je postupně nahrazován teploměry s elektronickým vyhodnocením, které využívají jiné principy. Je založen na objemové roztažnosti kapalin.

Jiné typy teploměru

Na teplotní délkové roztažnosti kovů jsou založeny **bimetalové teploměry**, které využívají deformace pásku vzniklého spojením dvou kovů o různém koeficientu délkové roztažnosti. Teplotní deformaci pásku je možno mechanicky převést na stupnici, ale běžnější je využití těchto typů teploměru jako teplotních spínačů či ochran do různých přístrojů.

Kovový odporový teploměr je založen na změně elektrického odporu kovů v závislosti na teplotě, který je dán vztahem:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t),$$

kde R_t a R_0 jsou odpory při teplotě t a teplotě t_0 , α [K⁻¹] je teplotní součinitel odporu. Nejčastěji se používá platinový teploměr.

Termočlánek je elektrický prvek, který je ze své podstaty vhodný k měření teploty. V uzavřeném elektrickém obvodu vzniklém spojením dvou vodičů z různých kovů teče za situace, kdy oba spoje mají rozdílnou teplotu, elektrický proud.

Termistorová termometrie je založena na závislosti elektrického odporu polovodiče na teplotě, kdy s vzrůstající teplotou roste hustota volných elektronů, což má za následek pokles odporu.

V invazivních metodách měření teplot je termometrie založená na **použití optických snímačů**. Zařízení se skládá ze zdroje světla vhodné vlnové délky a detekčního zařízení, které analyzuje dopadající světlo a obvykle převádí změny spektrálních složek na změny elektrické, které jsou zpracovávány běžným způsobem.

Světlovod je tvořen tenkým izolovaným skleněným vláknem, zakončeným vlastním detektorem teploty. U nejběžnějších typů vláknových termometrů se využívá například závislosti délky dosvitu fosforeskující látky na teplotě.

8.3 Infračervené záření (IR)

Fyzikální charakteristika, účinky, obecné možnosti využití a ochrana jsou popsány v kapitole optické záření.

Využití infračerveného záření

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

Solux, speciální žárovka o příkonu 250–1000 W, vlákno žárovky je rozžhavené na teplotu 2200–2700 °C. Akutní procesy ozařujeme soluxem kratší dobu a malou intenzitou, chronické procesy delší dobu, větší intenzitou a každý den. Při ozáření vzniká vazodilatace místní a také ve vzdálených oblastech, se všemi průvodními jevy hyperemie. Záření má analgetický a spazmolytický účinek. Intenzivní přívod zářivého tepla vyvolává pocení až hypertermii. Použitý červený filtr potence účinek záření delších vlnových délek, modrý filtr podpoří kratší vlnové délky a ty delší omezí.

Indikace: artrózy, chronické artritidy, burzitidy, tendovaginitidy, epikondylitidy, lumbago, myalgie, vertebrogenní bolestivé syndromy, svalové kontraktury, sinusitidy, stavy po extrakci zubů, zánětlivá kožní onemocnění – k urychlení kolikace hnisavých procesů, zánětlivé infiltráty (analgetický a resorpční účinek), tracheitida, bronchitida, astma, spazmy hladkého svalstva.

Kontraindikace: srdeční insuficience, nefritidy, nefrózy, akutní záněty v malé pánvi, žaludeční a duodenální vředy, gravidita v prvních dvou a posledních dvou měsících, tyreotoxikóza, TBC plicní, abdominální, kloubní a kostní, maligní tumory, akutní traumatické otoky, poruchy čítí.

8.4 Koupele

Koupelel 36 °C

U pacienta, který vstupuje do této koupele, začne nejprve teplo proudit z koupele do obalu převážně kondukcí, teprve později se uplatňuje proud metabolického tepla z organismu do vodního prostředí.

Indikace: psychoneurózy, nespavost, spastická obrna, hemiplegie, kožní afekce, sclerosis multiplex, parkinsonismus.

Koupelel 37 °C

Koupelel je teplejší než teplota obalu, a tak teplo proudí do kůže. Jádro vysílá teplo do obalu převážně konvekcí. Nastává hromadění metabolického tepla v organismu a začne stoupat teplota jádra, a to asi 0,1 °C za každých 5–6 minut.

Indikace: svalové kontraktury, přípravě k masáži klasické i reflexní, vhodné u obliterujících angiopatií, angioneuróz, omrzlin.

Koupelel 38 °C

Teplota koupele se projevuje jako vysloveně hyperemizující výkon. Kožní teplota se ustáluje asi na 37,5 °C. Nejprve se konduktivně ohřívá obal a pak se konvekcí dodává teplo krevním oběhem z kůže do jádra. Urychluje se tep, klesá systolický i diastolický tlak. Pocením kůže na hlavě se zvyšuje tepelné ztráty natolik, že k dalšímu přehřívání již nedojde.

Indikace jsou jako u koupelel 37 °C.

Koupelel 39 °C

Za 2–4 minuty se rozvine značný příjem tepla krevní cestou z kůže. Teplota jádra může vystoupit u udržované koupelel na 37,8–38,3 °C.

Indikace: revmatická onemocnění kloubů, šlach, vaziva, u chronických forem volíme vyšší teploty, u aktivních forem volíme nižší teploty; artritidy, poliomyelitidy, jiné neuroinfekce; polyneuritidy a všechny chabé parézy; gynekologické indikace, prostatitida; artrózy, spondylózy, myogelózy, lumbago a svalové kontraktury – u nich spíše volíme lokální aplikaci tepla.

Koupel 40–43 °C

Koupel je silně hyperemizující. Nástup prudké mobilizace krevního oběhu, zejména v kůži, je téměř okamžitý. Již po několika sekundách můžeme zjistit zrychlení tepu. V koupeli udržované na konstantní teplotě by se teoreticky měla teplota organismu blížít teplotě koupele. Brání tomu vydatná termoregulace na kůži hlavy (zejména perspiračně – evaporační).

Kontraindikace u všech typů koupelí: krvácivé procesy, TBC, maligní tumory, srdeční nedostatečnost, gravidita, tyreotoxikóza, všechny akutní stavy, hypertenze nad 180/120 mmHg, renální insuficience, gynekologické akutní záněty, myomy, kachexie.

Sedací lázeň

Provádí se ve speciální nízké vaně se širokým opěradlem, používá se voda 38 až 42 °C. Pacient je přikryt příkryvkou a pod nohama má termofoar. Trvá 10–20 minut, způsobuje prokrvení pánevních a břišních orgánů.

Indikace: adnexitida, perimetritida, dysmenorea, onemocnění močového měchýře, anální fisury, hemoroidy.

Strídavé koupele dolních končetin

Jde o aktivní pohyb ve vaničkách, v jedné je teplota od 40 do 46 °C, ve druhé od 10 do 16 °C. Proceduru pacient začíná v horké vodě, po 1–2 minutách přechlápne do studené asi na půl minuty, což několikrát opakuje (6–10x). Konec procedury je vždy ve studené vodě. Koupel zlepšuje prokrvení končetin, zvyšuje místní metabolismus a současně aktivuje kožní receptory.

Indikace: bolesti hlavy, migréna, vegetativní dystonie, chladné akrální části těla, nedokonalý krevní oběh (chladné nohy), angiopatie, počínající varixy (žilní gymnastika), mobilizace kotníků a kloubů nohy, posttraumatické stavy na akrech dolních končetin.

Vířivá lázeň

Je to částečná vířivá lázeň pro horní nebo dolní končetiny, nebo celkové vířivé koupele. Voda je izotermická nebo lehece hypertermická (36–38 °C). Lázeň zvyšuje prokrvení končetin, místní metabolismus a současně aktivuje kožní receptory. Při aplikaci na celé tělo se jedná o celkový účinek tepla a jemnou masáž vířící vodou.

Indikace: stavy po operacích nebo úrazech pohybového aparátu, svalové atrofie, stavy po poliomyelitidě, periferní parézy, trofické změny končetin.

Perličková lázeň

Na dně vany je uložena zvláštní nádoba s otvory, kterými se přivádí stlačený vzduch pod tlakem přibližně 0,15 MPa. Bublínky plynu stoupají ode dna k povrchu a na kůži působí jemně masážně. Má sedativní účinek.

Indikace: vazomotorická a klimakterická neuroóza, nespavost, neurologické nemoci, nemoci pohybového aparátu.

Sauna

Je to „koupel“ horkým vzduchem při jeho nízké vlhkosti. Nejnižší teplota je při podlaze (okolo 40 °C), nejvyšší je u stropu (okolo 110 °C). Pot se úplně odpařuje a organismus se vydatně ochlazuje. Teplota jádra stoupá pomalu. Z těchto důvodů je aplikace sauny subjektivně příjemná a dobře se snáší.

Neoddělitelnou součástí procedury je následné ochlazení studenou vodou různou formou: omývání, sprchování, ponorná koupel nebo plavání. Celý cyklus se opakuje 2–3x. Při pobytu v sauně je možné navíc provádět mechanické dráždní kůže, čímž je vyvolána histaminová reakce kůže a dilatace kapilár. Dalším významným stimulem v sauně je zamezení evaporace, a tím zvýšení teploty jádra, čehož lze dosáhnout zvýšením vlhkosti vzduchu polítim kamenů vodou (dochází ke zvýšení vlhkosti vzduchu v sauně, zabrání se odpařování potu, pot stéká po těle a teplota jádra se ještě zvýší).

Indikace: otužování, akutní záněty dýchacích cest, chronická nespecifická onemocnění dýchacích cest, prevence chorob z nachlazení, funkční cirkulační poruchy, lehká revmatická onemocnění, migréna, chronické ekzémy, psoriáza, klimakterické obtíže.

Kontraindikace: vyšší věk (60–70 let, podle kondice), kardiální dekompenzace, zánětlivé a degenerativní choroby srdce, stav po akutním infarktu do 6 měsíců; hypertenze nad 200 mmHg, zánětlivé a degenerativní choroby ledvin, epilepsie, akutní infekční choroby, těžké neurovegetativní choroby, choroby očí, TBC a jiné přenosné nemoci, kachexie jakékoliv etiologie, hypertyreóza, labilní diabetes mellitus, psychopatie, psychoózy, stavy po tromboflebitidách, krvácivé stavy.

8.5 Lokálně používané tepelné procedury

Hyperemie je méně vydatná, pocení se vyvolává v menším rozsahu a intenzivně, šíření tepla v organismu je pomalejší. Spazmolytické účinky jsou patrné zejména v kosterním svalstvu. Urychluje se resorpce exsudátů, dosáhne se také mobilizace edémů. Lokálním teplem dosáhneme změkčení a uvolnění ligament, fascií, kloubních pouzder a jiných vazivových struktur. Hyperemie se prostřednictvím spazmolytického působení, podporou resorpce a změkčením vaziva již sama o sobě může uplatnit analgeticky. Vedle toho se patrně ještě snižuje dráždivost receptorů pro bolest. Zvýšené prokrvení je provázáno také zvýšeným přívodem obranných látek a povzbuzením specifických i nespecifických imunitních reakcí.

Indikace: choroby pohybového aparátu (progressivní polyartritida, morbus Bechterev, kapsulitida, burzitida, tendinitida, tendovaginitida, artrózy a spondylózy, myalgie a myogelózy, Dupuytrenova kontraktura, stavy po frakturách, distorzích a kontuzích apod.), onemocnění dýchacích cest (tracheobronchitida, sinusitidy), oběhové choroby (obliterující angiopatie, angioneurózy), choroby trávicího ústrojí (akutní gastritida), metabolické choroby (dna, diabetes mellitus), urologické choroby (renální koliky, cystitidy), nervové choroby (neuritidy, neuralgie nezánetlivé etiologie, periferní parézy, spastické parézy, myopatie), gynekologické choroby (chronické perimetritidy, parametritidy).

Kontraindikace lokálních aplikací tepla: srdeční insuficience, nefritidy, nefrózy, akutní záněty v malé pánvi, žaludeční vředy a duodenální vředy, gravidita v prvních dvou a posledních dvou měsících, tyreotoxikóza, TBC plicní, abdominální, kloubní a kostní, maligní tumory.

Parafínové zábaly

Parafín tuhne při teplotě 52–62 °C a přitom odevzdává vysoké skupenské teplo, jehož hodnota je několikrát vyšší, než je upotřebitelné specifické teplo. Aby se toto teplo využilo, musí se na tělo nanášet v tekutém stavu a nechá se v průběhu aplikace ztuhnout.

Metody aplikace: přímé ponoření vyvolává příliš intenzivní přívod tepla, špatně se snáší, lze využít jen na periferních částech končetin. Opakovaná aplikace má největší účinek.

8.6 Chlad

Za některých okolností není možné zajistit optimální teplotu prostředí, ve kterém člověk pobývá. Teoreticky by se zdálo, že lze žít za libovolně nízkých teplot okolí s dostatečnou „tloušťkou“ vhodného oděvu. Ve skutečnosti to nejde, protože část tepla ztrácí organismus kůží, která není pokryta oděvem (Kůže obličje a hlavy, hustá síť vlásečnic, která obaluje lidskou lebku, je ideálním tepelným výměníkem, v některých odborných publikacích je uváděno, že až 80 % tepla se ztrácí právě zde. Dalším místem, které byste si měli zvýšeně chránit, je krk. Ani na něm většinou nenajdete silnou tukovou vrstvu, a přitom tudy prochází tepny zásobující mozek.), a vydechovaným vzduchem. Tento podíl bude tím větší, čím lepší bude tepelná izolace ostatních částí těla, až se stane jedinou formou ztráty tepla, které ovšem nemůže oděv zabránit (hranice je dána asi při teplotě -50 °C). Organismus se brání ztrátám tepla, klíčová je tělesná aktivita, třes (jímž se organismus pokouší vyprodukovat tolik potřebné teplo), neřtesová termogeneze (účinek noradrenalinu), vazokonstrikce, izolace (vhodné oblečení). Kromě toho se organismus chladu brání tím, že nezasobuje teplem všechny části těla, ale jen životně důležité orgány. Proto nás nejdříve zebou ruce a nohy.

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

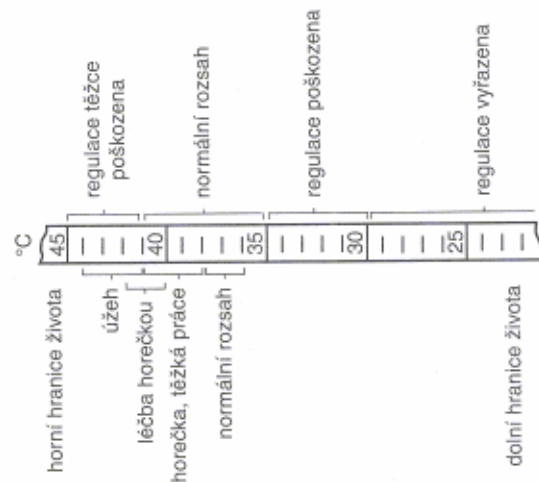
Při působení chladu na **celé tělo** dojde na počátku k **podchlazení tepelného obalu**, později i **jádra**. Pokles teploty jádra pod 35 °C se projevuje je svalovou slabostí, pod 34 °C zmateností, někdy i bezvědomím (bez jakýchkoliv dalších příznaků, bez upozornění, tělo se koncentruje již jen na základní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

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

Působí-li značný chlad delší dobu, dojde ke změněm krevního oběhu, zrychlí se tep (aby se zvýšila teplota), později se však podstatně zpomalí (bradykardie). Současně dojde ke změněm funkce ledvin. Po delším působení chladu nastávají hluboké změny funkce centrální nervové soustavy. Začínají mizet reflexy jako výraz rozšiřujícího se útlumu, později dojde ke spánku jako výrazu všeobecného útlumu (obr. 8). Při pobytu kolem 20 až 30 minut v ledové vodě bez pomoci je výsledek fatální, dochází k arytmiím, výsledkem je srdeční selhání.

(Jednotlivé kazuistiky v odborném tisku dokládají, že děti, tonoucí pod ledem po dobu více než 52 minut, je možno zesuscitovat bez trvalého neuropsychického poškození).

Dlouhotrvající hluboký chlad spolu s tělesným vyčerpáním může, např. u horolezců, vést ke spánku a dalšímu ochlazení, kdy už nestačí termoregulační mechanismy. Pokles tělesné teploty pod 20 °C již znamená pro člověka jistou smrt, dochází k „vypnutí“ dýchacího centra.



Obr. 8 Rozmezí tělesné teploty člověka

8.7 Využití kryoterapie v medicíně

Chlad aplikovaný místně (v oblasti kolem 4 °C) vede ke **z necitlivění**. Tohoto poznatku se používá pro menší **chirurgické výkony**. Za tímto účelem se na kůži aplikuje kapalina s velkým skupenským teplem vypařování (etylchlorid). Kapalina při svém vypařování odnímá teplo kůži, značně ji zchladí, a tím kůže znečítiví. Chladu se též používá k **uklidnění bolesti**. Například při bolestech hlavy se používají obklady s ledem nebo studenou vodou. Teploty této oblasti (kolem 4 °C) se využívají také při krátkodobé **konzervaci**, především krve, séra, buněk, tkání a orgánů apod. V hypotermické oblasti se též nachází zajímavý fyziologický jev zimního spánku, tzv. hibernace.

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

Obvykle používané **kryotermické teploty** jsou: 250 K, tj. teplota dosahovaná mrazničkami, 195 K, tj. teplota sublimujícího CO₂ (suchý led), a 77 K, tj. teplota kapalného dusíku. Těchto teplot se používá hlavně pro dlouhodobou konzervaci. Při kryotermii dochází u většiny buněk k buněčné smrti, a proto pro dlouhodobou konzervaci živých buněk používáme látky, které je před smrtícím účinkem ochrání – kryoprotektiva. Jejich nejznámější zástupci jsou glycerol a dimetylsulfoxid.

Fixace tkáně mrazením pro rychlé orientační peroperační histologické vyšetření, tj. vyšetření tkáně vyňaté při operaci, jehož výsledek se operátor dozví během krátké doby, tzn. ještě během operace, přispívá operátorovi k oprávněnému rozhodnutí o dalším postupu. V poslední době rostou význam kryochirurgie, při níž se hluboce vymrazenou sondou nekravě zničí zvolené části patologické tkáně.

Lokální léčba chladem

Indikace: čerstvé kontuze, distorze, svalové křeče, otoky a luxace, fraktury, aktivní artritický syndrom, dekompenzovaná osteoartróza, zejména se

zánětlivou iritací, bolesti v zádech s paravertebrálními spazmy, zmírnění spasticity u spastických paréz různého původu, navození analgezie před pohybovou léčbou.

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

8.8 Priessnitzovy obklady

Studené zapařovací obklady, které přikládáme lokálně na povrch těla s cílem dosažení lokálního prokrvení.

Provedení:

1. vrstva: vlhký obklad,
2. vrstva: nepromokavá látka, např. igelit, přesahující dolní vrstvu,
3. vrstva: suchý teplý obklad, nejlépe vlna, opětovně přesahující spodní vrstvu.

Účinek: V průběhu přiložení obkladu dochází k několika fázím.

1. fáze: je hypotermická, trvá 5–10 minut. Vzniká vazokonstrikce.
2. fáze: izotermická, nastupuje v průběhu 30–40 minut. Vazokonstrikce se postupně mění na vazodilataci.
3. fáze: je hypertermická, nastupuje v průběhu 60–80 minut. V místě obkladu vzniká lokální vazodilatace (aktivní hyperemie).

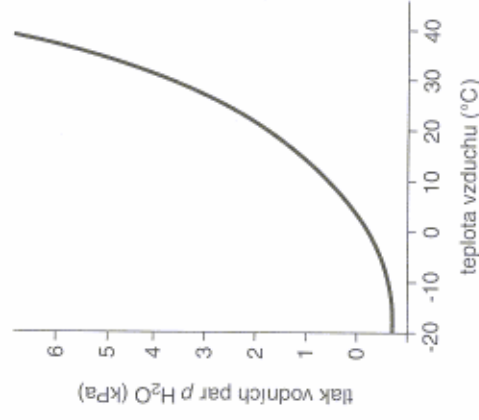
Indikace: angína, faryngitida, obklad na hrdník při suchém dráždivém kašli, obklady na klouby při déletrvajících „revmatických“ obtížích, pro zlepšení cirkulace, podkožní hematomy a otoky (rychlejší vstřebávání), k relaxaci kosterního svalstva.

9 Vliv vlhkosti vzduchu na organismus

9.1 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu je pro organismus důležitým fyzikálním faktorem. Způsobuje ji obsah vodních par, jejichž množství je proměnlivé. Na obrázku 9 je množství vodních par charakterizováno jejich tlakem.

Na vlhkosti vzduchu značně závisí termoregulační ochlazovací mechanismus. Ten spočívá ve vypařování vody z plic a potu z povrchu těla. Tím se organismu odnímá teplo. To je důležité, protože klimatické teplotní faktory (tab. 4) se nepříznivě uplatňují zejména při práci v teple saňajícím z tepelných zdrojů, například v hutním a slévárenském provozu, ve sklárnách a při práci v horkém a současně vlhkém prostředí (textilní provozy, barvírny, některé hluboké doly).



Obr. 9 Závislost tlaku vodních par ve vzduchu na jeho teplotě

Při malé vlhkosti vzduchu se nepříznivý tepelný režim upravuje výdatným odpařováním potu, čímž organismus vydává teplo. Současně se ztrátami vody dochází i ke ztrátám chloridu sodného (sůl). Zvýšený příjem vody při práci však zvyšuje zatížení kardiovaskulárního aparátu. Při porušené termoregulaci nebo při zvlášť velkém zatížení vzniká stejný obraz

jako při úpalu. V horkých provozech je nutné dbát na plynulé doplňování chloridu sodného.

Tab. 4 Maximální vlhkost vzduchu při různých teplotách

| Teplota vzduchu (°C) | vlhkost (g H ₂ O.m ⁻³) | teplota vzduchu (°C) | vlhkost (g H ₂ O.m ⁻³) |
|-------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| -20 | 1,10 | 20 | 17,32 |
| -5 | 3,42 | 30 | 30,40 |
| 0 | 4,85 | 37 | 43,95 |
| 10 | 9,42 | 40 | 51,16 |

Přehřátí v horkém vzduchu se organismus brání rozšířením kožních cév a pocením, uplatňují se také endokrinní regulační mechanismy. Je-li teplota vzduchu vyšší než teplota těla, organismus vydává teplo – aby nedošlo k jeho přehřátí – jen vypařováním potu. **Pocení** je nejvýznamnějším mechanismem vypařování. Vyměšování potu může dosáhnout vysokých hodnot, i několik litrů za den. Provází-li horko vysoká vlhkost, jsou podmínky pro odpařování potu mnohem nepříznivější. Na kůži máme nepřímý pocit stále vlhkosti, náš **termoregulační mechanismus** selhává. K poruchám termoregulace dochází zejména při větším pracovním zatížením. Při velké vlhkosti se pot tvoří, ale neodpařuje se a neodebírá tak teplo z tělesného povrchu. Důsledkem **přehřátí organismu** je při selhání termoregulačních mechanismů **úpal**. Je provázen celkovou malátností, nevolností, zvracením a zvýšením tělesné teploty. Od úpalu je potřeba odlišit **úžeh** (sluneční úpal), spojený s následky nadměrného ozáření slunečním zářením.

Důležitým mechanismem při vzniku úpalu je zmenšení minutového srdečního objemu (množství vypuzené krve z levé komory srdce za jednu minutu) v důsledku velké ztráty vody, tím se snižuje prokrvení kůže a sekrece potu. Špatné odvádění tepla vede ke zvýšení tělesné teploty, při níž se zvyšuje metabolismus a také tvorba tepla. Tento řetěz změn vede k selhání termoregulace. Dochází ke zvýšení tělesné teploty nejen z důvodu sníženého odvádění tepla, ale i příjmem tepla z okolí.

Je zřejmé, že pocení je jedním z hlavních mechanismů udržování normálních regulačních funkcí organismu. Proto je velice důležité udržet optimální vlhkost prostředí. Pro člověka je neoptimálnější vlhkost vzduchu okolo 60 % (i příliš suchý vzduch je nevhodný, protože působí nepříjemně

vysušování a dráždění dýchacích cest, neboť obsahuje mnohem více prachu než vlhký vzduch).

Hlavním omezujícím faktorem vlhkosti vzduchu je teplota vzduchu, neboť pro danou teplotu je vzduch schopen pojmout jen omezené množství vodních par. Platí zde úměra, čím vyšší je teplota, tím více je vzduch schopen pojmout vodních par. Vlhkost vzduchu se mění stejně jako teplota v průběhu dne i roku. Vlhčeji bývá odpoledne než před polednem, v létě než v zimě, u velkých vodních ploch než hluboko ve vnitrozemí. Je to pochopitelné, protože to souvisí s vypařováním vody.

10 Hluk a audiometrie

10.1 Vliv hluku na organizmus, ochrana proti hluku na pracovišti, audiometrie

Zvuk je každé mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem.

Mezi důležité jednotky používané v akustice, patří:

Intenzita zvuku, tj. výkon vlnění, který projde jednotkovou plochou kolmou na směr šíření za jednotku času. Jednotkou je $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Hladina intenzity zvuku, tj. logaritmický poměr dvou intenzit zvuku, sledované a referenční (její hodnota je $10^{-12} \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), jednotkou je 1 decibel (dB).

Hladina hlasitosti bere v úvahu různou citlivost sluchu v celém akustickém pásmu. Jednotkou je fon (Ph). V důsledku toho, že sluch je neustále citlivý pro tóny různých výšek, může být subjektivní síla zvuku neboli hladina jeho hlasitosti různá i u dvou zvuků se stejnou intenzitou. Mimo to platí, že subjektivní síla zvuku neroste úměrně s jeho fyzikální intenzitou, ale zhruba podle Weberova a Fechnerova psychofyzikálního zákona: Roste-li fyzikální intenzita tónu i dané frekvence geometricky, jeho subjektivní účinek se zvětšuje přibližně jen aritmeticky (se stejným přírůstkem). Pro referenční tón 1000 Hz je hladina hlasitosti shodná s hladinou intenzity v decibelech, avšak pro tóny jiných frekvencí se určují subjektivním srovnáváním s hladinou hlasitosti referenčního tónu.

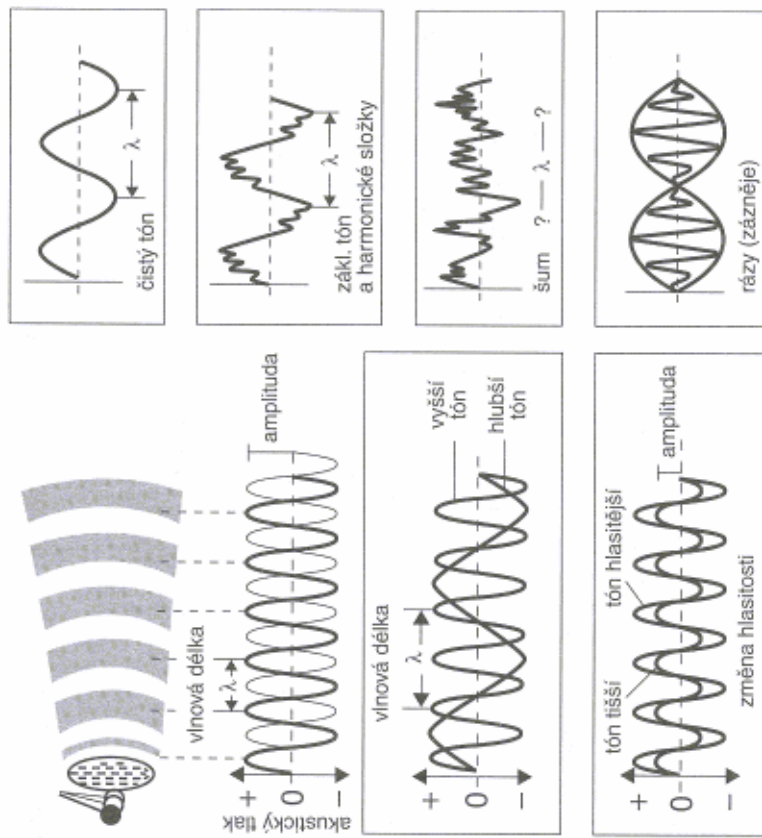
Hlasitost umožňuje, na rozdíl od hladiny hlasitosti, jednoduše určit hlasitost několika zvuků najednou, a tudíž lépe vystihnout míru subjektivního hodnocení zvuku. Jednotkou je son.

Člověk je schopen vnímat zvuky, jejichž frekvence leží v intervalu 20 až 20 000 Hz. Jak horní, tak dolní hranice slyšitelnosti jsou individuálně různé a závislé hlavně na věku. Čím je člověk starší, tím více je snížena schopnost vnímat vysoké frekvence.

Vlnová délka zvukové vlny λ souvisí s rychlostí šíření v a frekvencí vlnění f podle vztahu:

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

V blízkosti zvucícího zdroje se vzduch střídavě zhušťuje (zvýšený tlak) a zředňuje (snížený tlak). Vzdálenost dvou nejbližších částic prostředí se stejným akustickým tlakem je vlnová délka. Největší odchylka tlaku od původní hodnoty (např. nulové) je amplituda. Pokud se vlnová délka zvětšuje (zmenšuje), je slyšet hlubší (vyšší) tón (obr. 10).



Obr. 10 Vlnová délka, amplituda a tvary kmitů

Lidské ucho je velice citlivé. Například práh slyšení odpovídá velmi nepatrné zvukové (tlakové) energii, která je pravděpodobně nejmenší z prahových podnětů všech čidel. Vždyť výchylky bubínku jsou na prahu slyšení (při frekvenci 1000 Hz, ke které je lidské ucho nejcitlivější), řádově asi 10^{-9} cm, a výchylky vláskových buněk (smyslových buněk ve vnitřním uchu) jen asi 10^{-10} cm. To je méně než průměr vodíkové molekuly, takže citlivost sluchu zasahuje do světa molekul. Vzhledem k vysoké citlivosti ucha dokážeme lehce rozeznat hudební zvuky (tóny) od hluku.

„Nelibozvučné“ směsi tónů nazýváme hluk. Jde o směs tónů, které mají různé kmitočty a hladiny hlasitosti, změny akustického tlaku ve zvukové vlně jsou nepravidelné a neperiodické.

Technizaci našeho života provází zvyšování hlučnosti v životním prostředí. Neustále se zvyšuje hladina pouličního hluku, hlučné jsou mnohé zdroje v domácnostech. Hluk může být ustálený nebo proměnný, proměnné hluky mohou být kolísavé, přerušované i nepravidelné. Nadměrný hluk zaujímá v řadě faktorů ohrožujících náš životní prostředí stále důležitější místo. V programech ochrany prostředí se řadí hluk ihned za znečištění ovzduší a ochranu povrchových vod. Jednou z nejzávažnějších vlastností zvuku a hluku je, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti, stovky metrů i více. Přitom se šíří stejně dobře vzduchem i vodou nebo pevnou hmotou, např. konstrukcí stavby. O škodlivosti hluku rozhoduje řada faktorů, jako například fyzikální charakteristika (frekvence, intenzita), charakter hluku (trvalý, nepravidelný), doba trvání hluku, charakter práce a jiné. Ze zdravotního hlediska jsou nejdůležitější provozy s nadměrným hlukem, například zkušební motorů, tkalcovny, prádelny, ale i práce s pneumatickým nářadím a s motorovými pilami. Ukázalo se, že hlasitost nad určitou intenzitu je pro člověka nepřijemná a dokonce bolestivá. V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty hladiny hlasitosti (při frekvenci 1000 Hz odpovídá 1 Ph jednomu dB) v některých situacích. Stálý hluk větší intenzity vede proto k poškození zdraví pracovníků a ke snížení jejich pracovní schopnosti.

Tab. 5 Hladina různých zvuků

| Ph | hladina hlasitosti |
|-----|-------------------------------------------------------------|
| 0 | práh slyšení |
| 10 | mírný pohyb listů stromů |
| 20 | šeptaná řeč, tichá ulice |
| 40 | normální hlasitost řeči |
| 50 | osobní automobil, normální hlasitost rozhlasového přijímače |
| 70 | rušná ulice, křik |
| 90 | automobilové signály |
| 110 | pneumatické kladivo na kovu |
| 120 | hluk letadlového motoru ve vzdálenosti 4 m |
| 130 | práh bolesti |

Více než 220 000 zaměstnanců v České republice pracuje v příliš hlučném prostředí (nad 85 decibelů, kde se už vystavují zdravotnímu riziku). Z toho asi pětina je žen. Hluk patří k nejrozšířenějším škodlivinám pracovního i životního prostředí v naší republice. Velké záteží jsou vystaveni například lidé pracující v hutních a strojírenských provozech, dále v zemědělství, ve stavebnictví, při výrobě motorových vozidel a zpracovávání dřeva. Ženy jsou hluku významně vystaveny zejména při práci v textilní výrobě nebo při výrobě potravin.

Poškození sluchu hlukem může být akutní. Dochází k poškození bubínku, středního i vnitřního ucha a charakterizujeme ho jako úraz (akustické trauma). Je to stálá ztráta sluchu vyvolaná jednorázovým krátkodobým působením velmi intenzivního zvuku.

Naproti tomu chronické akustické trauma hodnotíme jako chorobu z povolání. Chronické poškození sluchu se vyvíjí postupně. Nejprve se projevuje jako sluchová únava, což je reverzibilní (vratná) ztráta sluchu pro frekvence kolem 4 kHz. Je to přechodné zvýšení práhu slyšitelnosti po působení zvuku o hladině intenzity nad 100 dB. Může trvat i léta. Jestliže člověk pracuje i nadále v hlučném prostředí, dochází k trvalému zvýšení práhu slyšitelnosti i pro nižší frekvence, vzniká nedoslýchavost. Stálá ztráta sluchu je tedy vyvolaná opakovaným působením velmi silného zvuku po měsíce nebo léta. Jde o hluchotu z povolání.

Vedle snížení zvukové ostrosti, nedoslýchavosti a ušních šelestů ovlivňuje dlouhotrvající expozice hluku regulační mechanismy ve vegetativní oblasti i v CNS. Při vysokých intenzitách ztrácí ozvučovaná osoba schopnost zaostřovat zrak na předměty, při ještě vyšších intenzitách (při 800 Hz, 5 kW až 8 kW) vzniká i ochrnutí kosterních svalů. Může dojít až k úplné ztrátě paměti. Účinek hluku na kardiovaskulární systém se projevuje hypertenzí (zvýšením krevního tlaku), v zažívacím systému žaludečními vředy. Při dlouhotrvajícím hluku se dostavuje nevolnost, závrať, snižuje se pracovní výkon.

Bylo prokázáno, že dělník, který pracuje v hlučném prostředí, si sice časem na hluk zvykne a nevnímá jej, avšak přesto ho hluk unaví. Jeho výkon stále klesá, zatímco v nehlučném prostředí jeho výkon stoupá. Použije-li pracovník ochranné pomůcky před hlukem (různé pomůcky uložené do zvukovodů, např. ušní zátky, mikrofonu nebo alespoň přílbu), může dělat chyby v práci, ale jejich počet je ve srovnání s pracujícím bez ochranných pomůcek menší. Tento důležitý poznatek si lidé neuvědomují, a proto často odmítají osobní ochranu. Z hlediska zdraví pracujících je proto nutné věnovat otázce omezení hluku zvýšenou pozornost.

Podle možnosti se proto musí zvukově izolovat místa, kde vzniká velký hluk, například kabiny letadel se zvukově izolují od motorů, jejichž hluk při dlouhotrvajícím letu působí nepříjemně na posádku i cestující. Intenzita hluku se snižuje absorpcí. Způsob izolace je závislý na účelu. Snížení intenzity lze dosáhnout omezením odrazu. Dopadne-li zvuk na rozhraní dvou prostředí, například na stěnu, částečně se absorbuje a částečně ji prostoupí, část je odražena. Absorpce je v homogenním materiálu malá, v pórovitém značná. Proto se dávají do stěn, které mají zvukově izolovat, měkké a pórovité vrstvy. Dalšího snížení hluku se dosáhne tím, že se zdroje hluku umístí do prostorných místností. Snižuje-li se jen počet stropů, hluk pracoviště se podstatně nesníží!

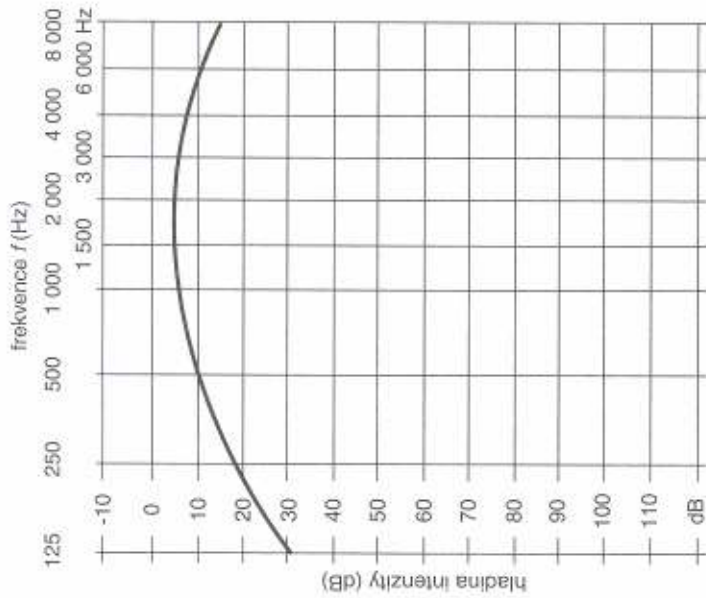
Rozdílná citlivost sluchu na různé frekvence způsobuje, že hladina intenzity zvuku není zcela jednoznačně určujícím faktorem pro posouzení hlasitosti.

Důležité jsou také akustické podmínky velkých místností, jako například poslucháren, přednáškových nebo koncertních sálů a podobně. Je-li místnost delší než 17 m, může dojít k ozvěně, která by rušila řeč přednášejícího. Řeč by se stala těžko srozumitelnou nebo nesrozumitelnou. Obdobné problémy jsou v kinech apod.

Proto se tyto místnosti podle možnosti rozdělují sloupy na menší celky, velké plochy stěn se zakřívují nebo se orientují šikmo na podélnou osu místnosti. Stěny se přerušují okny a dveřmi, bohatě zdobí štukaturou, látkami, které zvuk dobře absorbují.

Společným znakem všech sluchových vad je více nebo méně výrazné snížení vnímání některých frekvenčních oblastí nebo i celého rozsahu sluchových frekvencí. Vyšetření, které umožňuje kvalitativně i kvantitativně posoudit poruchu slyšení, se nazývá audiometrie. Na přístroji – audiometru – můžeme libovolně nastavit frekvenci i hladinu intenzity tónu. Vyšetřujeme každé ucho zvlášť pomocí sluchátek. Hodnoty hladiny intenzity v dB pro jednotlivé frekvence zaznamenáme do předtištěného grafu (obr. 11).

Řada lidí se již setkala se šelesty v uších poté, co byla vystavena velmi hlasitě hudbě na diskotékách nebo hudebních festivalech. Normálně zmizí toto zvonění (tinnitus) několik hodin po ukončení expozice. Jestliže se však expozice opakují dříve, než je sluch plně obnoven, délka zvonění v uších se prodlužuje a může se stát dlouhodobým problémem po celý život. Zvonění v uších je průvodním jevem nastupující ztráty sluchu – percepční nedoslýchavosti. Je popisována profesionální nedoslýchavost diskžokejů. Ochrana před nadměrným hlukem začíná u hranice 85 dB, hladina intenzity se však na diskotékách pohybuje i na úrovni 120 dB.



Obr. 11 Audiogram (na obrázku je znázorněna křivka ideálního ucha)

11 Fyzikální vyšetřovací metody

11.1 Poslech, poklep, pohmat

Jsou to takové postupy, při nichž se diagnosticky využívá fyzikálních principů v nejšířším slova smyslu. Mezi základní vyšetřovací metody v medicíně patří vyšetření **poklepem (perkuse)**, **poslechem (auskultace)**. Při těchto vyšetřovacích metodách se nejvíce uplatňuje **sluchový analyzátor**. Má-li být nálezhodnotitelný, je k tomu třeba tichého prostředí. Základním faktorem je stav sluchu vyšetřujícího lékaře, ale i silná vrstva podkožního tuku vyšetřovaného nebo silná svalová vrstva zeslabují intenzitu zvuku vyvolaného poklepem. Vyšetřované orgány slouží jako rezonátory zvuků vzniklých poklepem.

Dnes se používá téměř výlučně **poklepu prsty na prst druhé ruky**. Takto vyvolaný zvuk má různý charakter podle druhu a stavu tkání, ve kterých se šíří. Z jakosti poklepu zvuku usuzujeme na anatomický tvar orgánů, posuzujeme velikost nebo eventuelní změny orgánů dutiny hrudní a břišní. Platí zásada, že čím **vzdušnější je orgán**, tím **zvučnější a hlubší** bude i pokleповý tón. Čím **méně vzduchu** obsahuje vyšetřovaný orgán, tím **kratší a vyšší** pokleповý zvuk bude vydávat. Například nad plícemi, kde jsou normálně alveoly zaplněny vzduchem, je poklep rozdílný od poklepu nad dutinou břišní, kde jsou sice často také plyny, ale rozděleny do malých prostor. Ke změně pokleповého zvuku dojde při chorobných změnách orgánu. U zdravé plicе vzniká pokleповem jasný zvuk, vymizí-li však z plicní tkáně vzduch, například při uzavětu průdušky nádorem, je poklep temný, je to zvuk, jako když klepeme na svalstvo stěhna.

Příklad poklepu břišní stěny: Poklepem se posuzuje odpor břišní stěny, její bolestivost, obsah břišní dutiny a velikost orgánů. U zdravého člověka není břišní stěna bolestivá, poklep je diferencovaný bubínkový (nad orgány dutiny břišní má bubínkový poklep různou výšku podle velikosti plynové náplně). Bolestivost stěny – tzv. Plemiesův příznak, odpovídá lokalizované peritonitidě.

Poklep bubínkový vzniká při zvýšeném obsahu plynu v trávicí trubici (ileus tenkého a tlustého střeva), za přítomnosti volného plynu v peritoneální dutině, (pneumoperitoneum) – perforace žaludku, duodena nebo střeva; arteficiálně po laparoskopii; zkrácený je způsoben přítomností tekutiny nebo nevdzdušné tkáně, u ascitu je zřejmá proměnlivá hranice v závislosti na poloze těla, nad velkými cystickými a tumorózními útvary nebo naplněným močovým měchýřem.

Při **poslechu** můžeme být ovlivněni zvuky vznikajícími například při nesprávném vložení oliv fonendoskopu (fonendoskop nasazujeme tak, aby „olivky“ směřovaly dopředu ve směru zvukovodu) do zvukovodů. Poslech zhoršuje i úzká nebo příliš měkká hadička fonendoskopu. Poslechu se používá k vyšetřování plic, srdce, tepen a někdy i dutiny břišní.

Mnohem častěji než přímý poslech (přikládání ucha přímo na tělesný povrch) se používá dnes poslech nepřímý, při kterém používáme **fonendoskop**. Výhodou fonendoskopu je, že máme možnost poslechu oběma ušima a možnost lepší orientace v poslouchané oblasti. Zvonovitým zakončením fonendoskopu jsou lépe slyšet zvuky o nízké frekvenci, zvuky o vysoké frekvenci zvýrazňuje membrána v plochem zakončení fonendoskopu.

U plic se naslouchá zvukům, které doprovázejí vdechování a vydechování vzduchu v dolních cestách dýchacích a plicích. I zde se stav tkání odráží na charakteru těchto zvuků, který dovoluje stav posoudit. Šelest, který slyšíme, vzniká prouděním vzduchu alveolární chodbičkou, vířením vzduchu v alveolech, napínáním a rozechvíváním alveolární stěny.

Činnost srdce, zejména uzavírání jeho chlopní, vyvolává charakteristické tóny či ozvy, které umožňují posuzovat jejich stav. Při různých onemocněních dochází ke změnám vlastností tkání a tóny mohou být dokonce nahrazeny šelesty.

Příklad poslechu břicha: U zdravých osob jsou přítomny střevní fenomény slyšitelné asi 15x za minutu. Hlasité zvuky mají někdy i distanční charakter. Vyšetření se provádí při podezření na poruchy střevní pasáže nebo na cévní poruchy (aneuryzma aorty, arteriální stenózy).

Peristaltika s ojedinělými fenomény bývá při zácpě, zrychlená – se vyskytuje u průjmů, po projímadlech, u dráždivého tračníku, obstrukční – peristaltika je nápadně živá, zrychlená až chaotická, fenomény mívají kovový přízvuk, paralytický ileus – peristaltika chybí, střevní fenomény nejsou přítomny („mrtvé ticho“).

„Šplichot“ je vybavitelný při vyšetření nad rozepjatým orgánem, například žaludkem, při obstrukci pyloru nebo při gastroparéze. Třetí šelesty vznikají při perihepatitidě a perisplinitidě v závislosti na dýchání. Jsou průkazné poslechem, méně často palpací. Cévní šelesty jsou nad stenoitickými úseky abdominální aorty, renálních arterií, nad arterií ienální a plexus coeliacus.

Příklad poslechu srdce: Poslechem srdce zjišťujeme zrychlenou nebo naopak pomalou srdeční akci. Lze posoudit pravidelnost srdečního rytmu.

Případný šelest nás může upozornit na možnou dilataci siní, eventuální hypertrofii komor, které bývají příčinou arytmií.

Pohmat (palpace) se považuje za nejdůležitější metodu vyšetření břicha. Palpace povrchní se soustřeďuje na břišní stěnu, její napětí, citlivost, bolestivost a přítomnost povrchově lokalizovaných rezistencí.

Příklad palpce břicha: Palpace hluboká se zaměřuje na průnik do hloubky, získání informací o bolestivosti, intenzitě šíření a orgánech, abdominální aortě a patologických rezistencích. Kvalitní vyšetření vyžaduje zkušenost, šetrný a systematický postup. Vychází z oblasti bez udávané bolesti, nejčastěji z levého podbříšku. Dobrá spolupráce pacienta je nezbytným předpokladem vyšetření. U obézních osob bývá palpační vyšetření obtížné. U zdravých osob je břišní stěna pevná, hladká, poddajná a nebolestivá. Palpačně dostupné orgány jsou přiměřeně velké a nejsou bolestivé. Patologické rezistence nejsou v břiše hmatné.

Příklad palpce cév: Palpačně můžeme zjistit přítomnost pulzu na periferních arteriích, případně posoudit jeho pravidelnost a charakter.

12 Ultrazvuk (UZ)

12.1 Charakteristika a vlastnosti

V plynech a kapalinách se zvuk šíří podélným mechanickým vlněním. V pevných látkách se šíří zvuk též vlněním příčným. Naše ucho vnímá jen kmity o frekvenci 20–20 000 Hz. **Nižší kmitočty než 20 Hz** vnímáme jako rázy bez zvukového počítka a označujeme je jako **infrazvuk**. Zvukové vlny s frekvencí **nad 20 000 Hz** označujeme jako **ultrazvuk**. Tyto zvuky jsou pro člověka neslyšitelné, lidské ucho je již nevnímá. Ale někteří živočišné slyší i mnohem vyšší frekvence (např. pes do 35 kHz, kočka do 50 kHz). Pozoruhodným způsobem využívají ultrazvuku netopýři. Zjistilo se, že příroda obdařila netopýra echolokátorem výjimečné dokonalosti, který pracuje na ultrazvukových kmitočtech; při letu vydává netopýr úderem jazyka opakované krátkodobé signály (trvající 5,5 ms) v ultrazvukových kmitočtech. Frekvence je až nad 100 kHz. Signál vyslaný netopýrem v určitém směru dopadne na překážku a odrazí se zpět. Netopýr tento odražený signál vnímá a jeho pomocí se orientuje. Je schopen rozeznat svůj odražený signál od okolního šumu i tehdy, je-li okolní šum 1000x silnější než odraz jeho vlastního signálu. Podle doby, která uplyne mezi vysláním signálu a zachycením jeho odražené části, určí netopýr, samozřejmě instinktivně, vzdálenost překážky.

Z uvedeného příkladu vidíme, že ultrazvuk se šíří stejně jako zvuk. Jeho rychlost je stejná jako rychlost zvuku. **Absorpce ultrazvuku je v plynech značná**, mnohem větší než v kapalinách a v kovech. Toho se využívá například v defektoskopii materiálů, tj. hledání trhlin a jiných vad v kovových odlitcích velké tloušťky (až 10 m). Jestliže se v cestě ultrazvukového paprsku vyskytuje vzduchová bublina nebo trhlina, paprsek ji neprojde, ale odrazí se v opačném směru. Poté se zachytí přístrojem a podle doby, kterou potřeboval paprsek na cestu k defektu a zpět, se určí hloubka, v níž se defekt nachází.

Jak je napsáno výše, ultrazvuk, podobně jako zvuk, je **mechanické vlnění**, jeho frekvence je však vyšší než 20 000 Hz. V medicínských aplikacích se využívá ultrazvuk mnohem vyšších frekvencí, řádově 10^6 – 10^7 Hz.

Velikost ultrazvukové vlny λ , její frekvence f a rychlost v , kterou se vlna šíří (rychlost šíření ultrazvuku ve tkáni závisí na její elasticitě a hustotě) jsou popsány vztahem:

$$v = \lambda \cdot f.$$

Rychlost šíření ultrazvuku v v biologické tkáni (obecně v pevných látkách a kapalinách) závisí na vlastnostech prostředí, a to na jeho elasticitě K a hustotě ρ dle vztahu:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}.$$

V tabulce 6 je uvedena rychlost pohybu ultrazvuku v různých prostředích.

Tab. 6 Rychlost šíření ultrazvuku v závislosti na prostředí

| Prostředí | rychlost (m.s ⁻¹) |
|-----------|-------------------------------|
| vzduch | 340 |
| voda | 1500 |
| mozek | 1538 |
| sval | 1568 |
| játra | 1570 |
| krev | 1580 |
| kost | 3360 |
| ocel | 5000 |
| sklo | 6000 |

Pro zobrazovací metody je důležitou vlastností ultrazvukového vlnění, že se **odráží, láme a ohýbá na rozhraní dvou prostředí** s různými akustickými vlastnostmi (akustickou impedancí). Velikost **akustické impedance** je dána součinem rychlosti šíření ultrazvuku a hustoty prostředí, kterým se ultrazvuk pohybuje. Výše uvedená skutečnost je důležitá při ultrazvukovém vyšetření, kdy je mezi ultrazvukovou sondou a povrchem těla vzduchová vrstva, která má podstatně jiné vlastnosti (jinou akustickou impedanci) ve srovnání s kůží, a proto by docházelo k velkým odrazům na rozhraní vzduch – kůže. Je proto nutné před vyšetřením nanést na povrch těla v místech pohybu ultrazvukové sondy **gel**, tím se **zajistí impedance** a bezztrátový průnik ultrazvuku do tkání. Ze stejného důvodu je obtížné zobrazovat tkáně s vysokým obsahem vzduchu

(plíce) nebo struktury kryté kostí. U kostí, díky jiným akustickým vlastnostem, kromě velkého odrazu na povrchu, dochází i ke značnému pohlcování ultrazvuku, energie ultrazvuku se mění v teplo a efekt se projeví jako tzv. perióstální bolest. Proto je největší pozornost věnována možnosti **tepelného poškození vyšetřované tkáně**. Rizikovým faktorem je i **ultrazvuková kavitace** (vznik dutinek), avšak při standardních vyšetřeních je její vznik málo pravděpodobný.

I v homogenním prostředí se však ultrazvuk částečně absorbuje. Platí, že **velikost absorpce je přímo úměrná frekvenci**. To znamená, že s rostoucí frekvencí ultrazvuku roste jeho absorpce a klesá jeho pronikavost. Toto zjištění má význam pro volbu vhodné frekvence ultrazvuku při zobrazování hlouběji uložených struktur. S rostoucí frekvencí ultrazvuku se sice zlepšuje kvalita rozlišení detailů, ale klesá jeho pronikavost a opačně. Proto méně hluboko uložené struktury jsou zobrazovány s větším rozlišením použitím vyšší frekvence a naopak pro pozorování hluboko uložených struktur je využívána nižší frekvence na úkor ztráty rozlišení detailů.

12.2 Výroba ultrazvuku

Mechanické generátory (velmi malé ladičky, malé píšťalky) – dosahují frekvence až 40 kHz.

Zejména ve stomatologii využíváme pro výrobu UZ **magnetostrikční generátory**. Využívají toho, že při magnetizaci dochází k objemové a dělkové změně feromagnetické tyčinky (železná nebo niklová), umístěné ve střídavém magnetickém poli elektromagnetu. Magnetostrikční generátory mají sice velký výkon, ale lze jimi generovat ultrazvuk pouze v desítkách tisíc Hz. Proto mají omezené použití, například v zubním lékařství pro odstraňování zubního kamene a kazu vznikem destruktivních kavitačních jevů na povrchu zubního kamene.

Pro medicínské využití se nejčastěji získává ultrazvuk metodou, která je založena na tom, že destičky vyřiznuté z krystalu křemene se při stlačení na povrchu elektrizují (takový jev se nazývá piezoelektrický). Jestliže naopak povrch takové destičky periodicky nabíjíme, destička se pod vlivem elektrických nábojů střídavě smršťuje a rozpíná, tj. kmitá. Pružné kmity vykonává v rytmu změň napětí. Mechanická energie **piezoelektrické destičky** tak rozkmitává okolní prostředí. Vznikají ultrazvukové kmity o vysokých frekvencích, nejčastěji v rozsahu 1–20 MHz. Vzhledem

k tomu, že ve většině zařízení se používá k výrobě a detekci ultrazvuku téhož elementu, je tento obecně označován jako ultrazvukový měnič, neboť při generování ultrazvuku mění elektrický signál na akustický a při detekci naopak akustický signál na elektrický.

Měníč je umístěn v sondě, která pracuje jako vysílač i jako přijímač.

12.3 Obecný princip sonografie

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

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

Zpracování získaného signálu nám umožňuje na obrazovce přístroje vidět vnitřní orgány tak, jako bychom se dívali na jejich řezy, ale umožňujeme nám i v tomto obraze vyjmout část odehrávající se v jedné přímce a ten- to děj rozvinout v průběhu probíhajícího času a provádět tak měření mezi jednotlivými částmi na této přímce v různé fázi činnosti zkoumaného orgánu.

Tento typ zobrazení se hojně využívá ve vyšetřování srdce, kdy například s jeho pomocí posuzujeme funkci srdečních chlopní, práci srdeční svaloviny a podobně. Kvalitnější ultrazvukové přístroje jsou schopny měřit i směr a rychlost proudu tekutin, což využíváme zejména pro zhodnocení toku krve. Toto vyšetření je důležité nejen při vyšetření srdce a velkých cév, ale i parenchymatózních orgánů, jako jsou například játra nebo ledviny, kde nás informuje o prokrvení těchto orgánů. Navíc lze signál z něj převést na zvuk a podle jeho kvality usuzovat na proudění krve tur-

bulentní anebo laminární, což má při vyšetřování srdce a cév velký diagnostický význam.

Ultrazvuk se dobře šíří v prostředí obsahujícím tekutinu a velmi špatně, pokud se setkává se vzdušným nebo pevným prostředím. Vyslané ultrazvukové vlnění tekutým prostředím projde, proto ho nevidíme, a tato část se jeví na obrazovce jako černá, od plynu či pevné látky se vlnění odrazí a na obrazovce se jeví jako bílé. To všechno vidíme jako dvourozměrný obraz všeho, co se nachází v rovině ultrazvukového vlnění. Problém je v tom, že u orgánů, které vlnění silně odrazí, jako zmiňované kosti či plíce, vidíme jen jejich přivrácený povrch a nemůžeme je proto vyšetřovat.

Obecně možno napsat, že o vzhledu orgánů na obrazovce rozhoduje voda obsažená v jejich buňkách. A tak orgány vidíme v různých odstínech šedi, vidíme je jako na anatomickém řezu, můžeme zhodnotit jejich strukturu, nepravdělnosti, odhadnout jejich poškození.

12.4 Účinky ultrazvuku

Účinky ultrazvuku jsou dány absorpcí jeho energie ve tkáni. Energie absorbovaného vlnění závisí na prostředí, velikosti plochy, kam dopadá, době, po kterou trvá, a na frekvenci. Absorpce závisí na prostředí, v kapalinách a pevných látkách je ve srovnání s absorpcí v plynech menší. Absorpce, jak bylo zmíněno výše, závisí také na frekvenci, resp. vlnové délce. Obvykle roste se stoupající frekvencí.

Mechanické účinky

S rostoucí frekvencí ultrazvuku roste i jeho energie. Zhušťování a zředňování prostředí vede k rychlým tlakovým změnám při kmitání molekul. Rychlým střídáním tlaků v malých objemech může dojít k mechanickému porušení různých materiálů. Výsledkem zhušťování a zředňování kapaliného prostředí je kavitace, tj. vznik vakuových dutinek. Pokud se v kapalinách nacházejí plyny, mohou se uvolňovat v podobě bublinek. Protože plyny absorbují ultrazvukovou energii více než kapaliny, vzniká v plynových bublinách značné teplo, které vede k expanzi a jejich roztržení.

Tepelné účinky

Tepelné účinky jsou především následkem absorpce ultrazvuku, k níž dochází rozkmitáním prostředí. K největší absorpci, a tím k největšímu zahřátí dojde v plynech. Čím vyšší je frekvence ultrazvuku, tím více tepla vzniká. Značná absorpce energie nastává na rozhraní tkání s různou vodivostí ultrazvuku. Proto například při předávkování ultrazvuku se na rozhraní měkká tkáň – kost objevuje tzv. periostální bolest (ultrazvukové přístroje dělíme na diagnostické a terapeutické, „předávkování“ v diagnostice vzhledem k nízkým intenzitám ultrazvuku nehrozí).

Fyzikálně chemické a disperzní účinky

Účinkem ultrazvuku může dojít k urychlení chemických reakcí. Pomocí ultrazvuku je možné připravit velmi jemné suspenze, emulze, pěny a aerosoly (ultrazvukové inhalační přístroje), neboť ultrazvuk rozptyluje látky v jiných látkách, například léčiva ve vodě nerozpustná. V plynech má ultrazvuk naopak účinky koagulační, kterých se využívá k čištění plynů. Částice ve vzduchu se působením ultrazvuku shlukují čili koagulují, stávají se mnohonásobně těžší a klesají dolů.

Chemické a elektrochemické účinky

Účinkem UZ může dojít ke štěpení některých vysokomolekulárních látek. Rovněž může způsobit polymerizaci (využívá se při vytvrzování pryskyřic) nebo zčernání fotografického materiálu.

Biologické účinky

Biologické účinky ultrazvuku jsou závislé na intenzitě, frekvenci a trvání expozice. Vznikají kombinací všech výše zmíněných účinků. Mezi nejčastěji uváděné biologické účinky, mající význam v medicíně, patří: zvýšení propustnosti membrán a zrychlení difuze ve tkáních; zlepšení trofiky zvýšením místního krevního oběhu a zvýšením metabolismu; porušení vodivosti nervových vláken – tlumivý účinek na přenos vzruchů; analgetický a spazmolytický účinek; změna pH tkání. Po ozvučení ultrazvukem se pH zvyšuje, po nadměrné intenzitě může prudce klesnout; změkčování vazivové tkáně změněné chorobnými procesy.

Všeobecně je možno říci, že podprahové dávky nevyvolávají žádnou reakci. Intenzity do $1,5 \text{ W.cm}^{-2}$ mají účinky na funkci tkání pozitivní. Při vyšších intenzitách (do 3 W.cm^{-2}) se v cytoplazmě objevují vakuoly a tukové kapičky. Změny jsou ještě vratné, po určité době po ozvučení se mohou upravit. Intenzity vyšší než 3 W.cm^{-2} mají za následek změny nevrátné, spočívající v destrukci buněčného jádra, denaturaci bílkovin a enzymů tepelnými nebo chemickými účinky. To vše nakonec vede k lokální nekrotizaci tkáně.

12.5 Principy diagnostického užití ultrazvuku

Ultrazvuk dobře proniká živou tkání a při vhodné volených intenzitách je zobrazení ultrazvukem bez rizika. Vyšetřujeme jim orgány dutiny břišní, jakými jsou ledviny, játra, slezina, močový měchýř, prostata. U těchto orgánů můžeme zjistit degeneraci buněk, z nichž se skládají, předpokládat zánět, ukládání tuku nebo vaziva. Můžeme zjistit jejich nepravdivelnosti, jako špatný vývoj, nebo některé typy nádorů. Pomocí ultrazvuku zjistíme také kamínky v ledvinách nebo v žlučníku. Ultrazvuk využíváme také v gynekologii a v porodnictví, je jedinou bezrizikovou zobrazovací metodou a tato vyšetřovací metoda má již takovou důvěru lékařů, že její výsledky (např. nález vývojové poruchy plodu) mohou představovat hlavní argument pro umělé přerušení těhotenství. Je také nenahraditelnou součástí vyšetření srdce. Vysoká rozlišovací schopnost moderních ultrasonografických přístrojů umožňuje provádět vedle morfologických a funkčních vyšetření též invazivní zákroky diagnostického charakteru. Přibývá punkcí, nástříků různých léčiv do hluboce uložených tkání, zavádění cévek i cílených odběrů tkání, které jsou prováděny za průběžné kontroly pomocí ultrazvukového zobrazovacího přístroje. Dopplerovská měření na krkavicích a některých jiných cévách v oblasti hlavy umožňují i nepřímé posouzení krevního zásobení centrálního nervového systému. Vysokofrekvenční sondy, pracující s frekvencí 10–20 MHz, se uplatňují nejen v očním lékařství, ale i při neinvazivních histologických vyšetřeních – například kůže či stěn vnitřních orgánů, kdy je však nutné zavést sondu do jejich nitra. Tzv. intraoperační ultrazvuk se stává vodítkem chirurga pro volbu dalšího postupu v méně přehledném operačním poli. Snahy o zkvalitnění ultrazvukového zobrazení i dopplerovských měření vedou k vývoji tzv. ultrazvukových kontrastních prostředků. Jedná se o farmaka na bázi stabilizovaných plynových mikrobublin nebo emulzí, které jsou injikovány do cév či některých tělesných dutin v průběhu ultrazvukového vyšetření.

Díky nehomogenitě tkání, kterými ultrazvuk prochází, se na rozhraní dvou tkání o rozdílných akustických vlastnostech energie dopadajícího ultrazvukového vlnění rozdělí na část odraženou a část, která prochází do druhé tkáně. Tohoto principu je využito pro zobrazování ultrazvukem (echografie = zobrazování odrazů). Jestliže rozhraní dvou různých tkání, na kterém dochází k částečnému odrazu ultrazvukové vlny, je v klidu, vzhledem ke zdroji ultrazvukové vlny, nebudou se frekvence dopadající a odražené ultrazvukové vlny lišit. V případě, že se rozhraní bude pohybovat směrem od sondy či směrem k sondě, dojde k tomu, že frekvence odražené ultrazvukové vlny se liší od frekvence ultrazvukové vlny vysílané ze zdroje. Tohoto jevu je nejčastěji využíváno pro měření rychlosti toku krve, kdy pohybující se rozhraní je tvořeno krevními elementy (tzv. Dopplerův jev). V lékařské praxi se Dopplerův jev využívá k měření rychlosti pohybujících se struktur, zejména k měření rychlosti proudění a průtoku krve. Jestliže pohyblivý zdroj vysílá signál s frekvencí f_0 , pak stojící pozorovatel jej přijímá s frekvencí f :

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}$$

kde v je rychlost vln v dané látce a $v_{s,r}$ relativní radiální rychlost zdroje vůči pozorovateli (kladná rychlost znamená přibližování, záporná vzdalování).

V praktickém životě lze Dopplerův jev pozorovat poměrně snadno. Stačí si stoupnout vedle dálnice a poslouchat zvuk projíždějících vozidel. Přibližující se vozidlo zní výrazně vyšším tónem než totéž vozidlo, když se vzdaluje.

Spojité dopplerovské zobrazení používá oddělený vysílač a přijímač ultrazvukového vlnění. Vysílač spojitě generuje akustický signál. Frekvenční posun vyvolaný tokem krve je ve slyšitelné oblasti. Proto jsou dopplerovské průtokoměry vybaveny akustickým výstupem, který přispívá k informaci o průtoku ve sledované části cévního řečiště.

Pulzní dopplerovské zobrazení se využívá hlavně v kombinaci s echografickými metodami. Pulzní režim generování ultrazvukových vln umožňuje zároveň sledovat časový i frekvenční posun odraženého vlnění.

Dopplerovská metoda mapování průtoku barvou

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

Ultrazvuk v gynekologii

Mezi všemi zobrazovacími metodami má ultrazvuk v gynekologii výsadní postavení. Ultrazvukový přístroj vysílá vlny (o frekvenci 2,5–10 MHz) k plodu sondou přiloženou na tělo pacientky. Vlny prostupují tkání a od různých struktur v těle se odrážejí různou měrou a odražené vlny se vrací zpět do sondy. Sonda, která slouží i jako přijímač, tyto vlny přijímá. Informace o intenzitě vlnění a o době, která uplynula mezi vysláním a zachycením ultrazvuku, vyhodnotí počítač a na základě množství přijatých vln je vytvářen na monitoru černobílý obraz. V současnosti se běžně užívá dvou- rozměrný obraz, zachycující řez tělem v rovině vyslaných vln zvukového vlnění. Cílem vyšetření je zjistit uložení a velikost vyšetřovaného plodu, množství plodové vody a posoudit strukturu a funkci stávajících orgánů plodu nebo odhalit vývojovou vadu (obr. 12). Počítač následně porovná naměřené údaje a spočítá i délku těhotenství. Pro lepší zobrazení je nutné, aby měla žena při vyšetření plný močový měchýř (proto doporučujeme alespoň hodinu před vyšetřením vypít minimálně jeden litr tekutiny).

Pomocí ultrazvuku diagnostikujeme také děložní myomy, cysty a jiné tumory, zánětlivá ložiska v oblasti děložních přívěšků, výpotek, popř. krev v dutině



Obr. 12 Ultrazvukový snímek porušený v 10. týdnu těhotenství

břišní aj. Podle tvaru a způsobu vysílání zvuku se rozlišuje celá řada sond. V gynekologii používáme především transabdominální a transvaginální sondy.

Ultrazvuk v kardiologii

Princip vyšetření je stejný, jako je popsáno výše. Cílem je zjistit nejen uložení, tvar a velikost srdce, ale také posoudit jeho strukturu, prokrvení a do jaké míry srdeční funkci. Ultrazvukové vyšetření srdce, tedy srdečního svalu, nitrobílý srdeční (endokardu), chlopní a osrdečníku (perikardu) se provádí při podezření na onemocnění v těchto oblastech. Vyšetření například pomůže odhalit tekutinu v osrdečníku, vrozené vývojové vady, infekční onemocnění chlopní apod. Lze jim odhalit poruchy stažlivosti srdečního svalu nebo poruchy plnění srdečních dutin. Toto vyšetření je možno využít ke zhodnocení velikosti a kontrakční schopnosti srdečních komor. V některých případech se provádí jicnová echokardiografie, která využívá těsného „sousedství“ jicnu a srdce. Echokardiografický měnič je v tomto případě umístěn na ohebné sondě, tloušťky malíku, která se zavádí do jicnu.

Cenným pomocníkem lékaře je tzv. dopplerovské vyšetření, které umožňuje mapovat toky krve jednotlivými srdečními dutinami, znázorňovat zúžení či nedomykavost chlopní a vypočítat tlaky krve v různých místech srdce.

Denzitometrie

Osteoporóza patří mezi nejrozšířenější poruchy metabolismu kostí a je jednou z nejčastějších příčin zlomenin u starších lidí, zejména u žen po menopauze. Nemoc postihuje více než 200 milionů osob po celém světě – téměř každou třetí ženu nad 50 let a každou druhou ženu nad 60 let. Nejčastější místa zlomenin jsou zápěstní kůstky (nejčastější věk, ve kterém dojde k traumatu je 55 let), páteřní obratle (ve věku 65 let) a krček stehenní kosti (v 83 letech). Zlomeninám se dá předejít. Existují účinné léky, které ale vyžadují přesnou diagnostiku stavu nemoci. Ultrazvukové denzitometry umožňují vyšetření periferních částí skeletu (patní kost, předloktí, články prstů). Jsou to přístroje založené na měření ultrazvukových vln po průchodu vyšetřovanou oblastí. Protože se ultrazvukové vlny rozptylují na povrchu kostních trámčů, vypovídá výsledek měření nejen o množství kostního minerálu, ale i o kvalitě kosti.

12.6 Principy terapeutického užití ultrazvuku

Při průchodu ultrazvuku živými tkáněmi dochází k přeměně akustické energie v jiné druhy energie podle fyzikálních vlastností a struktury tkání. Část energie se mění v teplo. Vznik tepla je závislý na intenzitě ultrazvuku a na jeho absorpci, tj. na jeho šíření prostředím. Čím hůře se tkání ultrazvuk šíří, tím větší teplo vzniká absorpcí. Velká část energie je vynaložena na **mechanickou vibraci tkáně**, která zvyšuje propustnost membrán, čímž se **zlepšuje i tkáňová difuze**. Optimální hloubka pro mechanické působení ultrazvuku o frekvenci 1 MHz je asi 8 cm, pro tepelné účinky nejlépe vyhovuje hloubka asi 5 cm.

Jako při každé léčbě je i při léčbě ultrazvukem rozhodující dávkování. Ultrazvukový vibrátor se přikládá přímo na kůži. Ozařují se místa anatomicky dobře definovaná. To je důležité proto, že až na reflexně vyvolané změny působí ultrazvuk jen místně. Pacient proto nikdy nesmí pociťovat bolest nebo příliš velké teplo; je však nutno pamatovat na to, že některé orgány (např. játra) nejsou vybaveny příslušnými čidly.

K léčbě ultrazvukem se používá frekvenci nižších než v diagnostice, mezi 800–1000 kHz. Intenzita se pohybuje od 0,7 do 3 W.cm⁻² na povrchu těla. Léčba se provádí po dobu od 2 do 5 minut. Čím větší je použitá frekvence, tím menší hloubky ultrazvukové vlny dosáhnou. Proto se pro hloubkovou terapii používá frekvence 100–300 kHz.

V léčebném účinku ultrazvuku se uplatňuje několik faktorů: **hyperemie** – prokrvení, zejména hloubkový tepelný účinek; **analgezie** – tlášení bolesti (ultrazvuk však neléčí příčinu nemoci); **spazmolytický účinek** – uvolnění dlouhotrvajícího místního zvýšení svalového tonusu; **relaxace** – tlumivý účinek na přenos nervových vzruchů; **zlepšení trofiky** – zvýšení místního krevního oběhu a zvýšení metabolismu.

Léčba ultrazvukem se osvědčila u chronických onemocnění kloubů, u ischiaglii, u zánětů šlach, u zánětů nervů. Ultrazvuk bylo s úspěchem použito při léčbě nádorů, a to v kombinaci s RTG zářením. Bylo pozorováno, že předchozí ozvučení zvyšuje citlivost tkání vůči ionizujícímu záření.

Kontraindikací léčby ultrazvukem jsou srdeční choroby, těhotenství, dále se nesmějí léčit pohlavní orgány, oči, rostoucí kosti.

Rázové vlny

Rázová vlna se liší od vlnění ultrazvukového jednak tím, že se prostředím šíří osaměle jako jediný mohutný tlakový kmit a velice krátkou dobu (kolem 1 μ s). Generátory produkují rázové vlny s nesmírnou energií, které lze fokusovat (upravovat jejich průnik do hloubky). Tlaková vlna vyvolá expanzi a následný kavitační kolaps přítomných plynových mikrobublin, a to zejména těch, které se vytvářejí na povrchu kamene, který má být v těle rozrušen. Rázové vlny tedy působí nejen přímo – mechanickým stresem – ale i nepřímě – prostřednictvím kavitace. Nejznámější a již delší dobu s velkým úspěchem aplikované jsou rázové vlny v urologii, kde se používají při léčbě ledvinných kamenů. Místo klasické operace se kameny v ledvině „ostřelují“ paprskem rázových vln, což vede ke ztrátě celistvosti a následnému rozpadu na drobný písek, který odchází přirozenou cestou z těla ven (tzv. litotripsie). Podobně je možné dosáhnout i toho, aby se žlučníkový kámen změnil na písek, který může odejít přirozenými cestami. Přitom poškození okolních měkkých tkání je malé.

13 Biologické membrány, klidový a akční membránový potenciál

Biologické membrány jsou tvořeny vhodně uspořádanými lipidy a proteiny s malým množstvím vázaných cukrů (vázaných v glykolipidech a glykoproteinech). Membrány mají jednotný organizační princip: dvojnou vrstvu membránových lipidů s více či méně do ní zanořenými proteiny. Membránové proteiny zajišťují řadu specifických procesů spojených s transportními a rozpoznávacími funkcemi membrán (pumpy, nosiče, iontové kanály, receptory, enzymy apod.).

Základními funkcemi biologických (plazmatických) membrán jsou propustnost a řízený transport látek (aktivní regulace složení nitrobuňčného prostředí), dynamika membránových molekul, zpracování informací a elektrické vlastnosti.

13.1 Klidový membránový potenciál

Na membránách všech živých buněk se v podmínkách fyziologického klidu vytváří tzv. klidový membránový potenciál, který je dán nerovnoměrným rozdělením základních fyziologických iontů (patří sem zejména ionty draselné, sodné, chloridové, vápenaté) po obou stranách buňčné membrány. Je to možné díky **rozdílné propustnosti buňčné membrány** pro různé ionty, **difuzí iontů** ovlivněnou elektrickým a koncentračním gradientem mezi vnitřní a vnější stranou membrány a **aktivním procesům**, které využívají specifické iontové pumpy (největší význam má Na^+ - K^+ -ATPáza). Výsledkem činnosti všech uvedených mechanismů (pasivního i aktivního transportu látek) je vznik membránového potenciálu, tedy napětového rozdílu mezi vnitřní a vnější stranou membrány (když zavedeme do nitra buňky tenkou elektrodu, zjistíme, že vnitřek buňky je v porovnání s jejím povrchem elektronegativní, v různých buňkách dosahuje hodnot 10 až 90 mV). Tento potenciálový rozdíl vzniká na podkladě nerovnoměrného rozložení iontů vně a uvnitř buňčné membrány (tab. 7).

Tab. 7 Rozložení iontů vně a uvnitř buněčné membrány

| Iont | extracelulární koncentrace (mmol/l) | intracelulární koncentrace (mmol/l) |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Na ⁺ | 145 | 7 |
| K ⁺ | 4 | 145 |
| Ca ²⁺ | 3 | 8 |
| Cl ⁻ | 120 | 5 |

Propustnost buněčné membrány není v čase stále stejná, ale mění se v závislosti na celé řadě vnějších i vnitřních faktorů, mezi něž patří: pH, teplota, obsah vody, rozpustnost iontů a jejich molekulová hmotnost. Propustnost membrány je též ovlivňována celou řadou lokálně i celkově působících látek – hormonů.

Difuze iontů přes membránu je závislá na elektrickém gradientu a na chemickém (koncentračním) gradientu. Na reálné membráně se oba faktory, tj. gradient elektrický a koncentrační, uplatňují současně, takže hovoříme o **elektrochemickém gradientu**.

Prostřednictvím **iontových pump** jsou přenášeny ionty proti elektrochemickému gradientu. Sodíková-draslíková pumpa (Na⁺-K⁺-ATPáza) přenáší 3 kationty sodíku zevnitř buňky ven a současně opačným směrem přenáší 2 kationty draslíku, čímž udržuje potenciálový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím buňky. Jelikož jde o pohyb iontů proti elektrochemickému gradientu, je třeba dodávat energii získanou hydrolyzou ATP.

Klidový membránový potenciál vykazují všechny živé buňky, ale pouze ze vzrušivé buňky (nervové, svalové) mají schopnost reagovat na podnět změnami propustnosti membrány pro ionty, což má za následek významné změny potenciálu. Jeho velikost je přibližně rovna hodnotě rovnovážného potenciálu draslíkových iontů podle **Nernstovy rovnice**:

$$V_k = \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{[K^+]_e}{[K^+]_i},$$

kde V_k je rovnovážný potenciál draslíkových iontů, R plynová konstanta, T absolutní teplota, F Faradayova konstanta, \ln je přirozený logaritmus poměru koncentrací draslíku ve vnějším prostředí $[K^+]_e$ a ve vnitřním prostředí $[K^+]_i$ buňky.

13.2 Akční membránový potenciál

Dráždivost je obecnou vlastností všech živých organizmů. **Vzrušivost** je schopnost buněk odpovídat na podráždění (podnět). Jestliže dráždíme vzrušivou buňku **podprahovými podněty**, dochází ke krátkodobé změně potenciálu, který se velmi brzy vrací na původní úroveň (tato lokální změna může dosáhnout až asi 15 mV). Překoná-li ale dráždění tuto prahovou úroveň (tzv. **prahový potenciál**), dojde k prudké reakci a změně membránového potenciálu (změna elektrického stavu buněčné membrány), protože se mění vodivost (propustnost) membrány pro ionty. Výsledkem je změna polarizace a potenciálu na kladnou hodnotu (kolem +20 mV). Je vytvořen tzv. **akční potenciál**.

Během akčního potenciálu probíhají následující děje: dostatečně silný, **nadprahový podnět** snižuje klidový membránový potenciál (má negativní hodnotu) k 0 mV, přičemž je rychle dosaženo kritické hodnoty (prahového potenciálu). Na membráně jsou aktivovány iontové kanály pro sodné kationty, které se tímto kanálem dostávají dovnitř buňky. Následkem toho velmi rychle **dochází k depolarizaci membrány** a potenciál stoupá od původní záporné hodnoty klidového potenciálu k nulové hodnotě a dokonce dojde k **transpolarizaci** (uvnitř buňky je v porovnání s povrchem kladný). V další, klesající fázi (říkáme jí **repolarizace**) se membrána stává opět propustnější pro ionty K⁺ než pro ionty Na⁺ a potenciál membrány se vrací ke klidové hodnotě.

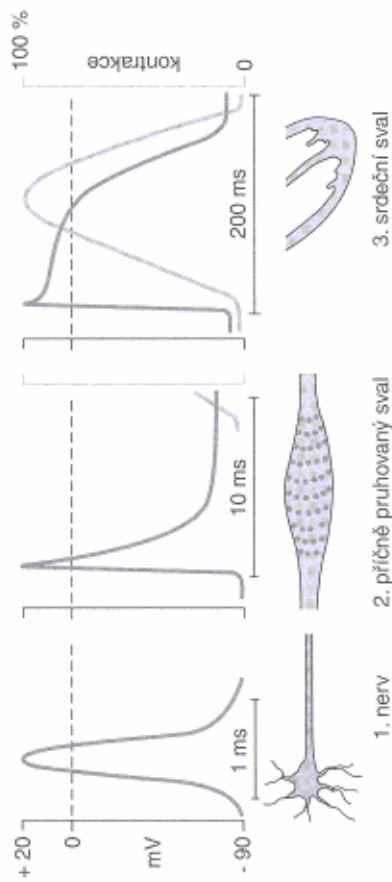
Akční potenciál vznikne ve vzrušivé buňce v případech, je-li vyvolán podnětem, který právě stačí snížit absolutní hodnotu klidového potenciálu na hodnotu prahového potenciálu (prahový podnět), nebo jakýmkoli silnějším podnětem (nadprahový podnět). Fyziologové vyjadřují tuto skutečnost jako platnost **zákona „vše nebo nic“**, či-li buď je podnět dostatečný k vyvolání akčního potenciálu, nebo ne.

Nervové vlákno plní dvě funkce. Dochází v něm ke vzniku akčního potenciálu a vlákno zajišťuje i jeho šíření. Rychlost šíření je asi 100 m.s⁻¹. Zvětšuje se, je-li průměr vlákna větší. Myelinizovaná nervová vlákna jsou obalena myelinovou pochvou, která je přerušovaná v 1–3 mm vzdálenostech Ranvierovými zářezy. Myelin má dobrou izolační vlastnost a nevede elektrický proud. Vzruch se šíří „skokem“, od jednoho zářezu ke druhému, a proto je pohyb tak rychlý. Pokud myelinový obal chybí, rychlost přenosu vzruchu se výrazně zpomaluje (asi kolem 60 cm.s⁻¹).

Klidový i akční potenciál membrány **kosterního svalu** se ustavuje podle obecných, výše popsaných pravidel. Pověly k práci kosterního svalu přichází od nervu.

U buněk **srdečního svalu** (obr. 13) je klidový membránový potenciál (diastola) okolo -80 mV. Akční potenciál (systola) má charakteristické plato. To ukazuje na to, že fáze nástupu akčního potenciálu je velmi rychlá, fáze obnovení klidového potenciálu je naopak pomalá.

Membrány buněk **hladkého svalu** mají nižší klidový potenciál (okolo -50 mV), což je způsobeno vyšší propustností pro ionty Na^+ . U některé hladké svaloviny je průběh akčního potenciálu charakterizován přítomností plata, podobně jako u srdečního svalu.



Obr. 13 Akční potenciály nervových a svalových vláken

14 Elektrický proud

14.1 Obecná charakteristika

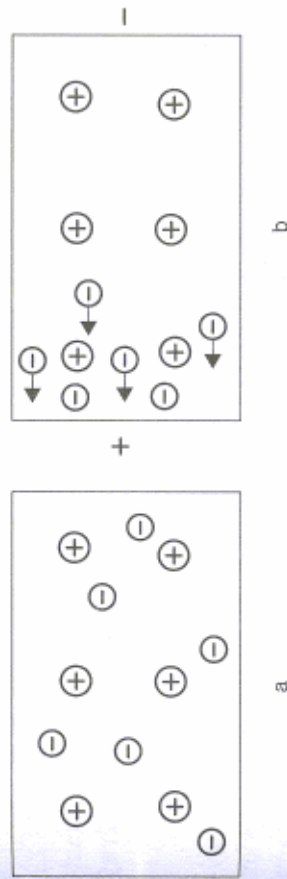
Elektrický proud je usměrněný pohyb volných elektricky nabitých částic – elektronů anebo iontů:

$$I = Q/t \text{ (A)},$$

kde I je elektrický proud, Q náboj, t čas.

Většina těles je navenek elektricky neutrálních, nemají totiž volné elektricky nabitě částice a jejich celkový elektrický náboj je nulový. Počet elektronů v obalu atomu je stejný jako počet protonů v jádře.

Látky, ve kterých existují volné pohyblivé částice s nábojem, se nazývají **vodiče**. Nejvíce používanými vodiči jsou **kovy** (vodiče 1. řádu), ve kterých se mohou volně pohybovat elektrony uvolněné z elektronových obalů atomů (obr. 14).

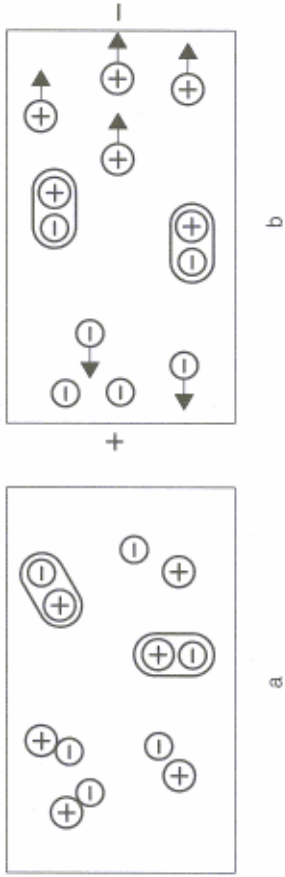


a) kovový vodič obsahuje volné elektrony
b) usměrněný pohyb volných elektronů v elektrickém poli

Obr. 14 Pohyb volných elektronů

V jiném typu vodičů – **elektrolytech** (vodiče 2. řádu), se mohou pohybovat ionty, kladně i záporně nabitě částice (kationy a aniony), vzniklé elektrolytickou disociací elektricky neutrálních molekul (obr. 15). **Elektrolytická disociace** je jev, při kterém se ve vodném roztoku molekuly kyseliny, zásad i soli rozpadnou na kationy (kladně nabitě částice) a aniony (záporně nabitě částice). Kationy i aniony existují v roztoku, i když roztokem neprochází elektrický proud. Rozpad molekul na elektricky nabitě

částice (elektrolytická disociace) v roztoku nebývá úplný. **Stupeň disociace** má vliv na chemické vlastnosti roztoku. Silný elektrolyt má v 0,1 M roztoku více než 50 % molekul disociovaných. Vě slabém elektrolytu je disociováno 0,01–50 %. Roztoky s nižší disociací obvykle již nepovažujeme za elektrolyty. Takové roztoky prakticky nevedou elektrický proud.



a) elektrolyt obsahuje volně pohyblivé ionty
b) pohyb iontů v elektrickém poli

Obr. 15 *Pohyb iontů*

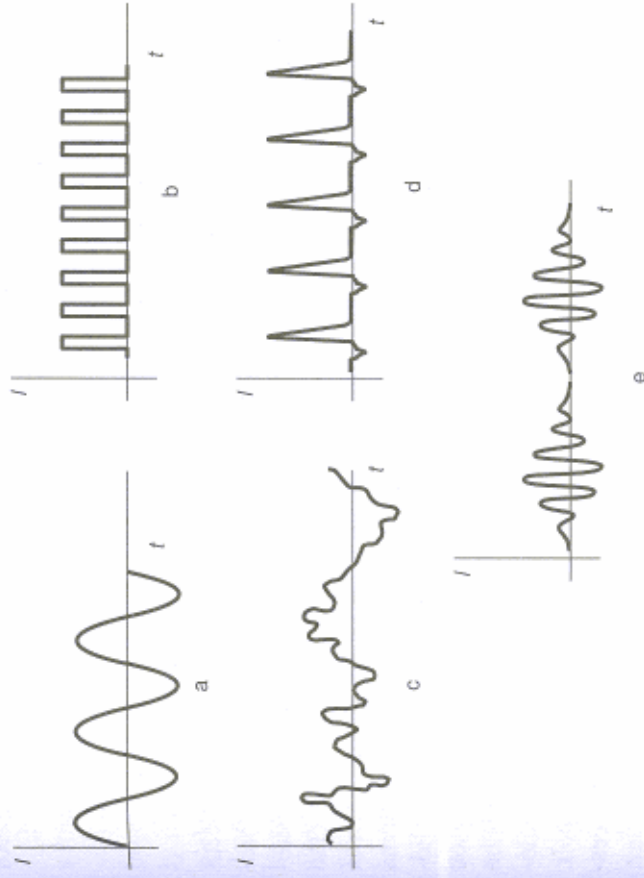
Je-li tok elektricky nabitých částic vodičem neměnný (tj., je-li konstantní co do velikosti a směru), říkáme, že vodičem prochází **stejnoseměrný** elektrický proud (obr. 16).

Proud, při němž se směr pohybu částic s nábojem periodicky mění, nazýváme střídavým proudem. **Střídavý** proud prochází například elektrickým obvodem připojeným k elektrické síti. V tomto případě se proud s časem mění podle funkce sinus a takové proudy označujeme jako proudy harmonické. Napětí zdroje střídavého proudu se rovněž periodicky mění a mění se i polarita pólů zdroje. Oproti stejnosměrnému proudu, k jehož charakteristice postačí pouze udání velikosti, je popis střídavého proudu složitější. Charakterizuje ho nejen největší hodnota proudu v průběhu periody (amplituda proudu), ale také



Obr. 16 *Galvanický, dokonale usměrněný proud*

počet period za sekundu, tedy frekvence střídavého proudu. Jednotkou frekvence je hertz – Hz. V medicíně se setkáváme s různými druhy střídavého proudu. Kromě již uvedeného harmonického proudu, jehož závislost na čase má sinusový průběh (obr. 17a), se používá také střídavý proud s obdélníkovým průběhem (obr. 17b), nebo se velikost a směr proudu může měnit zcela nahodile (obr. 17c). Fyziologické funkce některých orgánů jsou spojeny se vznikem střídavých proudů, které mají řád řady periodických impulzů nebo složitých elektrických kmitů (obr. 17d,e).



Obr. 17 *Některé z možností průběhu střídavého proudu*

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

če patří především prvky čtvrté základní skupiny Mendělejevovy soustavy prvků, např. uhlík, křemík, germanium, cín, dále např. selen, síra, vizmut, jod, telur a některé sloučeniny oxidů apod.

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

14.2 Pasivní elektrické vlastnosti tkání

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

Stejnosemerný proud

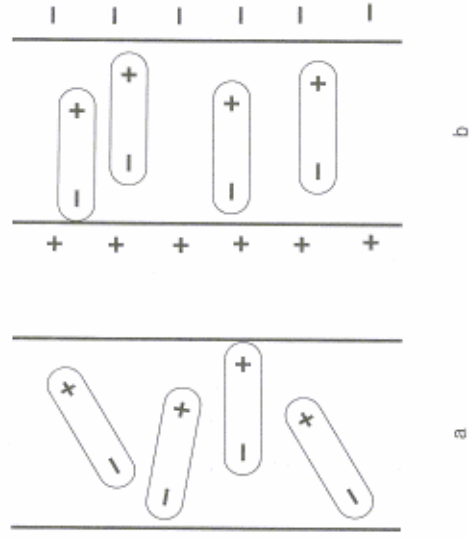
Průchodu stejnosměrného elektrického proudu tkání organismu kladou odpor zejména buněčné membrány, kterými prochází jen asi 2–3 % celkového proudu. Nepropouštějí jej také vazivové blány a tuková tkáň. Lepšími vodiči jsou mezibuněčné tekutiny a prostředí, ve kterém jsou elektrolyty. Stejnosemerný proud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

Nízkofrekvenční střídavý proud

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

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

Většina buněk v lidském těle má charakter dielektrika. V něm nejsou náboje volně pohyblivé, jsou vázány na atomy a molekuly. Dipólové molekuly jsou neuspořádané a vzhledem k jejich různé orientaci se účinek jejich elektrického náboje navenek ruší. Působením vnějšího elektrického pole se dipóly orientují, dochází k polarizaci dielektrika. Vzniká vnitřní elektrické pole opačné polarity než pole vnější. Pohybem elektrických nábojů v dielektriku vzniká proud posuvný (obr. 18). Právě nízkofrekvenční střídavý elektrický proud je veden převážně jako proud posuvný.



polarizace dielektrika

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

Obr. 18 Polarizace dielektrika

Vysokofrekvenční střídavý proud

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

Odpor tkání závisí na funkčním stavu tkání. Nedostatek kyslíku (hypoxie) vede ke zvětšení odporu. Zástava životních pochodů má za následek pokles odporu a konečná hodnota odporu mrtvé tkáně odpovídá odporu cytoplazmy, což svědčí o rozpadu buněčných membrán.

14.3 Účinky elektrického proudu

Účinky proudů mohou být obecně dráždivé, tepelné a elektrolytické.

Stejnoseměrný proud

Dráždivý účinek se u stejnosměrných elektrických proudů projeví pouze při zapnutí nebo vypnutí, nebo při zesílení a zeslabení proudu. Tepelný účinek stejnosměrného proudu je zanedbatelný. Uplatňuje se jenom při velkých proudcích. Při průchodu stejnosměrného proudu organizmem se uplatňují nejvíce **elektrolytické účinky**.

Nízkofrekvenční střídavý proud

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

Vysokofrekvenční střídavý proud

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

14.4 Využití elektrického proudu v medicíně

14.4.1 Stejnoseměrný proud

Stejnoseměrný elektrický proud stálé velikosti označujeme jako proud galvanický. Je tvořen převážně pohybem iontů, částečně i pohybem elektricky nabitých koloidních částic. Při jeho průchodu tkání dochází k elektrolytickým změnám.

Galvanoterapie je léčebné využívání stejnosměrného proudu se stálou intenzitou o hustotě proudu asi $0,1 \text{ mA/cm}^2$. Ve tkáních se vede téměř výhradně elektrolytický, tj. pohybem anionů a kationů v elektrickém poli. Z malé části se může vést elektroforetický – pohybem elektricky nabitých koloidních částic. Poměrně snadno prochází tkáněmi s velkým obsahem vody a bílkovin, největší odpor průchodu galvanického proudu klade kůže, zejména povrchové vrstvy, kost, chrupavka a šlachy (tkáň s malým obsahem vody). Výsledkem pohybu nabitých částic se pod zápornou elektrodou (katodou) zvyšuje dráždivost. Tohoto jevu se využívá k léčbě ochrnutí a léčbě snížené citlivosti. Kladné elektrody (anody) se využívá k tlumení bolesti.

Mezi indikace galvanizace patří léčba různých bolestivých stavů, stavy po úrazech s místním tkáňovým šokem, záněty vazivových tkání pohybového aparátu a degenerativní procesy v něm, chronická kloubní onemocnění, záněty periferních nervů a žil a funkční poruchy prokrvení, poruchy trofiky. Zvýšená dráždivost se uplatňuje při léčbě dětské obrny.

Kontraindikací jsou například kožní defekty a zánětlivé postižení kůže, výskyt kovových předmětů v proudové dráze (dlahy, endoprotézy), poruchy citlivosti.

Účinkem galvanického proudu se zvyšuje místní metabolismus, vymezený uložením elektrod, dochází k urychlení tkáňové difuze přetrvávající i několik hodin po vlastní aplikaci proudu, je pozorováno zvýšení prokrvení tkání pod elektrodami (to přináší zmírnění potíží u chronických kloubních onemocnění). Je zřejmá mobilizace místních edémů, výronů a exudátů na základě zvýšení permeability kapilár a urychlení krevního proudu. Pod vhodné volenou elektrodou je zřejmě analgetické působení, úprava porušené rovnováhy vegetativní inervace a povzbuzení normálních regulačních mechanismů. Prokrvení svalů je až trojnásobné ve srovnání s klidovou hodnotou. Galvanický proud urychluje resorpci exudátů a zánětlivých infiltrátů a povzbuzuje reparativní pochody, ovlivňuje dráždivost nervů a snižuje svalové spasticity odstraněním hypoxie. Na galvanický proud

reaguje vegetativní nervový systém, motorické nervy a svaly a samozřejmě i centrální nervová soustava.

Příklad dávkování: 20 minut, intenzita 0,1 mA/cm² plochy, elektrody obden 6–10x.

Při galvanoterapii se užívá lázně dvoukomorové pro dvě končetiny nebo čtyřkomorové pro všechny čtyři končetiny. Při celkové galvanizaci je celé tělo pacienta ponořeno v tzv. galvanické lázni a proud je přiváděn několika elektrodami v ní umístěnými. Při místní aplikaci prochází proud jen určitou částí těla pomocí povrchových plošných elektrod.

Po zapojení přístroje se musí proud zvyšovat postupně a pomalu od nuly až na potřebnou hodnotu, aby se neprojevil dráždivé účinky spojené s náhlou změnou proudu. Rovněž při vypínání se musí proud pomalu snižovat až k nule.

Ochranné roztoky

Při aplikaci galvanického proudu musíme splnit několik specifických podmínek:

- a) Mezi kovovou elektrodou (kovy nazýváme vodiči 1. řádu) a povrchem těla – kůží (prostředí obsahující elektrolyty nazýváme vodičem 2. řádu) musí být ochranný roztok, aby nedošlo k poškození kůže popálením.
- b) Protože následkem elektrolytické disociace a iontoforetického vpravování anionů na katodě a kationů na anodě by mohlo dojít k poleptání vznikajícími kyselinami a zásadami, musíme používat tzv. ochranné roztoky. Ochranným roztokem na katodě může být slabý roztok kyseliny solné a chloridu sodného a na anodě slabý roztok hydroxidu sodného a chloridu sodného.
- c) Ochranné roztoky, všechny nádobky a elektrody včetně kabelů musí být označeny symboly + nebo -, nebo anoda+, či katoda -, aby nemohlo dojít k záměně.

Iontoforéza

Tato léčebná metoda využívá pohybu iontů v stejnosměrném elektrickém poli ke **vpravování léků** s elektrickým nábojem do organismu. Aplikace se provádí pomocí dvou elektrod. Jedna má poměrně malou plochu (nazývá se aktivní nebo diferentní), druhá je poměrně velká (indiferentní)

a přikládá se na libovolné místo těla. Pod **diferentní elektrodu** se dává roztok léku a elektroda se spojuje s opačným pólem stejnosměrného zdroje napětí, než je náboj vpravovaného iontu. **Indiferentní elektroda** je spojena se souhlasným pólem zdroje.

Z anody se vpravují kationy draslíku (význam u kožních jizev včetně keloidních a chronických infiltrátů), vápníku (antialergický, antihistaminový účinek při prurigu), histaminu (jako derivační léčba při chronických degenerativních kloubních procesech, neuralgiích a radikulárních bolestech), prokainu (spolu s adrenalinem jako anestezie v trvání 1–2 hodin, nepřímý reflexní účinek na segmentovou inervaci, využití u myalgií, algických svalových kontraktur, radikulárních neuralgií bez prokazatelného nálezu na páteři, reflexní kontraktury svalové), hyaluronidázy (lymfatické otoky, tendovaginitidy) apod.

Z katody se vpravují aniony jodu (resorpční účinek na tuhé a keloidní jizvy, chronické kožní infiltráty, artrózy), vitamin C, penicilin, streptomycin, salicylový anion apod.

Podávání léků pomocí iontoforézy je způsob neboleštivý a umožňuje zavést některé léky do tkání právě v těch místech, kde je jich zapotřebí (např. klouby, některé části oka) a není možno je aplikovat například injekcí.

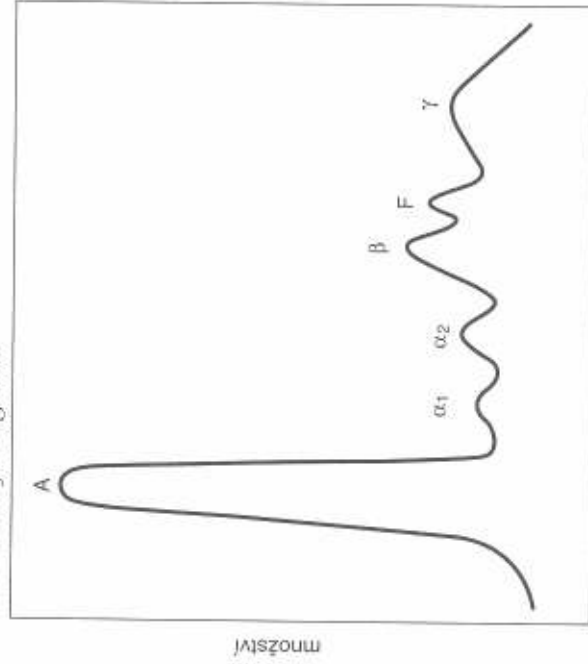
Elektroforéza

Je diagnostická metoda, která je založená na tom, že v prostředí s vhodným pH ve stejnosměrném elektrickém poli se pohybují nejenom ionty, ale i molekuly bílkovin. Elektroforéza je nejdůležitější **elektrokinetický jev**. Nejčastěji se elektroforéza používá v medicíně k dělení bílkovin krevní plazmy. Pomocí této metody lze rozdělit bílkoviny krevní plazmy na jejich hlavní části – albuminy a několik skupin globulinů (obr. 19).

Náboj bílkovin je vytvářen ve vhodném prostředí disociací aminoskupin NH₂, které se mění na kladné kationy NH³⁺, a karboxylových skupin COOH, které se mění na záporné aniony COO⁻. Okolnost, zda molekula bílkoviny je na svém povrchu disociovaná kladně nebo záporně, závisí na prostředí, v němž se molekula bílkoviny nachází. V kyselém prostředí bude potlačována disociace karboxylových skupin, disociuje aminoskupina (NH³⁺) a molekula bílkoviny nabývá charakteru kationu. V zásaditém prostředí disociuje karboxylová skupina (COO⁻) a bílkovina se jeví navěnek jako anion. Při určitém pH jsou kladné i záporné náboje v rovnováze a molekula bílkoviny se ve stejnosměrném elektrickém poli nepohybuje.

Hodnota tohoto pH představuje tzv. **izoelektrický bod**. V tomto bodě jsou ve stejném množství disociovány obě skupiny, karboxylová i aminoskupina, molekula bílkoviny je navonek elektroneutrální a jako taková je inertní vůči vnějším elektrickým silám.

Obr. 19 Příklad elektroforeogramu



elektroforeogram krevních bílkovin, na ose x je obsah jednotlivých frakcí, na ose y rychlost jejich pohybu. Rychlost je vymezena tak, že zleva doprava klesá. A – albuminy F – fibrinogen, alfa, beta, gama – globuliny

Částice nesoucí náboj se pohybuje v elektrickém stejnosměrném poli vytvořeném pomocí elektrod připojených k pomocnému zdroji napětí. Po zapojení elektrického obvodu (startu) začnou molekuly bílkovin nesoucí elektrický náboj putovat ve směru elektrického pole. Jelikož prostředí, ve kterém je bílkovina suspendována, jí klade mechanický odpor a různé bílkoviny se liší nejenom nábojem, ale i velikostí molekul, je výsledný pohyb bílkoviny ve stejnosměrném elektrickém poli dán rozdílem sil elektrických a mechanických (odpor prostředí). Při vhodném pH (nejvhodnější pH pro elektroforézu bílkovin krevní plazmy je 8) urazí molekuly bílkovin za určitý čas v elektrickém poli různou dráhu. Největší dráhu urazí částice s nej-

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

Diadynamické proudy

Mají dvě složky, galvanickou a na ní nasedající impulzivní, která je odvozená od síťového harmonického proudu s frekvencí 50 Hz. Sinusové impulzivní proudy mají **účinek inhibiční** nebo **facilitační**. Který z účinků se uplatní, více závisí na frekvenci, intenzitě, době trvání proudu a na vlastnostech tkání a patologických změnách. Mezi proudy s účinkem převážně inhibičním patří proud o frekvenci 100 Hz. Práh jeho účinku adaptací tkání stoupá a je vhodnější k ovlivnění senzitivní složky. Proud s excitacím, facilitačním, tonizačním účinkem má frekvenci 50 Hz. Odstraňuje edém, a tím i bolest. Má však i výrazný tonizační účinek na svalstvo.

Některé charakteristiky používaných diadynamických proudů, rozdělené podle tvaru

DF (diphase fixe) dvojitý impulzivní proud

Dvoucestný usměrněný síťový proud o frekvenci 50 Hz, tj. pulzační proud. Při jeho aplikaci rychle klesá kožní odpor a roste proud.

Subjektivně: pocit klouzání a ztráta kontaktu s elektrodo. Aby se obnovil původní pocit chvění a brnění, je třeba značně zvýšit intenzitu.

Účinek: Je převážně analgetický, snižuje tonus sympatiku. Používá se na úvod ostatním proudům.

Doba působení: Vzhledem k rychlé adaptaci tkání je optimální doba aplikace 1–2 minuty a používá se hlavně před aplikací dalších typů proudů.

Indikace: při spastických bolestech. Aplikuje se v nárazech 10–15 sekund. Intenzita je prahově až nadprahově senzitivní.

MF (monophasé fixe) jednoduchý impulzivní proud

Síťový proud o frekvenci 50 Hz, má sinusový průběh. Impulz trvá 10 ms, přestávka 10 ms.

Subjektivně: dosti silné pocity vibrací, pocit trvalého a pronikavého stlačení, svírání.

Indikace: u spastických bolestí, použití zpravidla až při druhé aplikaci.

LP (courant modulé en longues) proudy střídající se v dlouhé periodě

Účinek: Převládá účinek inhibiční. Působí analgeticky. Při vhodné intenzitě působí však tento proud stimulačně i na hladké svalstvo.

Indikace: bolesti bez dynamie: neuralgie, myalgie, lumbágo, obecně u funkčních poruch pohybového systému; u hypotonie žaludku a střev. CP (*courant modulé en courtes*) proudy střídající se v *krátké periodě*

Proud modulovaný v krátkých periodách vzniká rytmickým střídáním jednoduchého a dvojitého impulzního proudu v pravidelných 1 s intervalech.

Účinek: v obou periodách: vazodilatační, hyperemizující, eutonizační, analgetický.

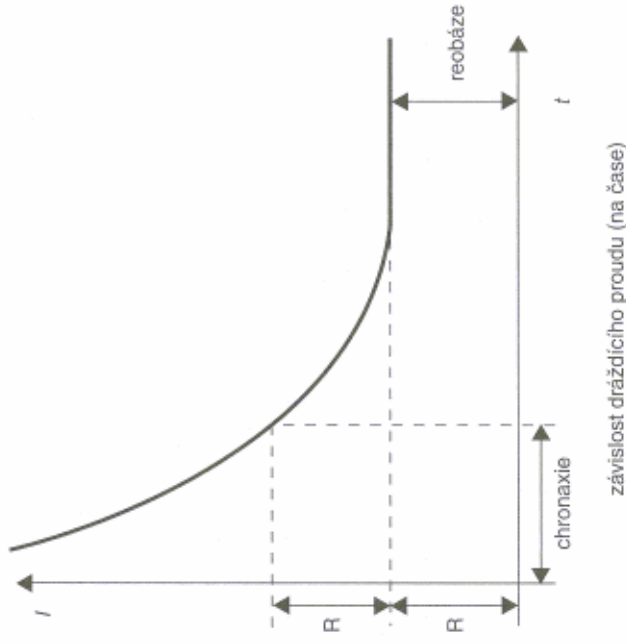
Indikace: izolovaně u ischemické choroby dolních končetin, u svalových atonií, ztuhlosti kloubů, bolesti spojené s adynamii, faciální oftalmické neuralgii, posttraumatické bolesti s edémy v subakutním stadiu (stavy po kontuzích, distorzích, trofické změny po zánětech vaziva), aplikace na svaly ve spazmu, hypertrofické jizvy.

Kontraindikace: u břišních bolestí a spasmů, neboť mohou zesílit kontrakce hladkého intestinálního svalstva.

Délka aplikace: Nejdelší čas aplikace na jedno místo je přibližně 3 až 5 minut, na další místo se krátí 1–2 min. Celková doba aplikace nemá přesahovat 12 minut. Maxima dosahuje léčba ischemické choroby dolních končetin, a to 25 minut. Délka aplikace se zvětšuje v závislosti na ploše, kterou se snažíme ovlivnit, a na hloubce procesu ve tkáni. Při akutních stavech lze aplikovat i 2x denně, nejčastěji 1x denně, při udržovací terapii 1x týdně. Variabilita je velká. Celkem 5–10 aplikací.

14.4.2 Střídavý proud o nízké frekvenci

Dráždivost je obecnou vlastností všech živých organizmů. K podráždění elektrickým proudem dochází až při dosažení tzv. prahové velikosti proudu, působícího po určitou dobu. Se snižováním protékajícího proudu narůstá doba, po kterou musí proud působit, aby došlo k vyvolání podráždění a ke vzruchu. Se snižováním použitého proudu může nastat moment, kdy ani sebedeší působení nevyvolá podráždění. Nejmenší proud, který vyvolá podráždění, se nazývá **reobáze**. Aby došlo k podráždění, musí elektrický proud působit určitou dobu. Doba, která je nutná k vyvolání reakce při podnětu velikosti dvojnásobné reobáze, se nazývá **chronaxie**. Čím intenzivnější je podnět (tj., čím větší je působící elektrický proud), tím kratší dobu může působit a vyvolat podráždění.



Obr. 20 Závislost dráždícího proudu I na čase t

K diagnostickým i terapeutickým účelům se používají stimulatory. Základním obvodem stimulatoru je generátor frekvence s regulovatelnou frekvencí od 1 Hz až do několika kHz. Tvarovací obvod stimulatoru upravuje impulzy do žádaného tvaru, nejčastěji pravouhlého (obdélníkového), méně často trojúhelníkového nebo jiného. Obdélníkový impulz je charakterizován rychlým strmým nástupem a po dosažení maxima následuje rychlý návrat k výchozí hodnotě. Délka (doba) impulsu je řízena časovacím obvodem v rozsahu několika mikrosekund až ke stovekám milisekund. Podmínkou spolehlivé funkce stimulatorů je co nejlepší kontakt elektrody s drážděnou tkání nebo orgánem. V některých případech jsou speciální elektrody zaváděny přímo do drážděné tkáně (svaly, srdce, mozek). Podle určení se stimulatory nazývají např. kardiostimulatory, neurostimulatory apod.

Výšetřování motorických nervů a svalů

Používáme stále i přerušované střídavé proudy, dráždíme svaly buď nepřímo přes nerv, nebo přímo. Je-li dosaženo prahového podnětu, dojde

ke stahu. Touto metodou se zjišťuje poškození nervů a svalů. Poškození se sleduje tak, že po podráždění sledujeme nejenom rychlost, ale i kvalitu odpovědi jednotlivých motorických jednotek svalu. Při frekvencích do 20 Hz vznikají jednotlivé stahy svalu. Při vyšších frekvencích je stah trvalý. Přímoú elektrostimulaci svalu využíváme při některých poutávacích stavech, při kterých došlo k poškození inervace (sval nedostává podněty od nervu). Stimulace svalu pomáhá zachovat funkční schopnost svalů až do případné obnovy inervace. Elektrický proud do té doby nahrazuje podněty nervu.

V klinické praxi se provádí také podráždění nervu karotického sinu při léčbě anginy pectoris, při ischemické chorobě srdeční a při léčbě některých forem hypertenze (vysokého krevního tlaku) nezvládnutelných medikamentózně.

Defibrilátor

Je to jednoduchý stimulator určený k získávání elektrických impulzů o velké energii k obnově srdeční akce při její zástavě. Závata je důsledkem některých závažných organických poruch a arytmií nebo i důsledkem úrazu elektrickým proudem. Jediný velký defibrilační impuls, aplikovaný přes hrudní stěnu nebo přímo na povrch srdce při otevřeném hrudníku, způsobí obnovení normální srdeční akce. Jde vlastně o aplikaci jediného výboje z nabitého kondenzátoru přiloženého nejčastěji na hrudník.

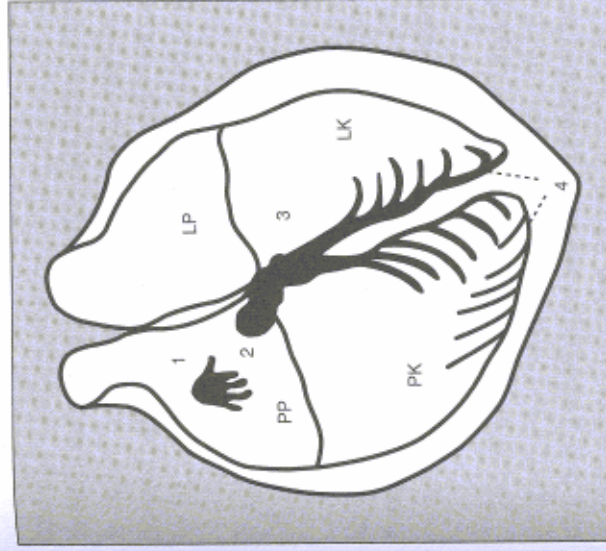
Potřebná energie je 200–300 J, napětí zdroje 5–6 kV. Doba defibrilačního impulsu je 5–8 ms.

V současnosti se používá také operačně implantovaný defibrilátor, který se implantuje kardiologickým pacientům, jimž hrozí maligní arytmie.

Kardiostimulátor

Zařízení se skládá z generátoru pravouhlých kmitů, které jsou asymetrické, tj. délka (doba) impulsu je v mezích 1–3 ms. Kardiostimulátor slouží k normalizaci srdečního rytmu u řady závažných poruch rytmu, které bezprostředně ohrožují život nemocného. Rozlišujeme kardiostimulátory dočasné, které jsou zaváděny například v kritickém období několika dnů po akutním infarktu myokardu, nebo kardiostimulátory trvalé, které jsou implantovány nemocnému obvykle pod kůži v oblasti pod pravou klíční kostí, odkud je veden tenký, ohebný a izolovaný vodič žilním řečištěm ke

stimulační elektrodě, obvykle zaklíněné ve svalovité hrotu pravé komory. Trvalé kardiostimulátory jsou zaváděny, jsou-li následkem onemocnění srdce poškozeny převodní dráhy vzruchu v srdci (obr. 21), nebo hrozí-li zástava srdce následkem trvalých poruch rytmu. Kardiostimulátor může mít buď řízenou frekvenci, nebo může být řízen vlastním sinusovým rytmem při převodních poruchách.



vodivý systém srdce:

- 1 uzel sínovátrální
 - 2 uzel atrioventrikulární
 - 3 Hlísův svazek
 - 4 Purkýňova vlákna
- PP – pravá předstěň
LP – levá předstěň
PK – pravá komora
LK – levá komora

Obr. 21 *Vodivý systém srdce*

Vývoj nových zdrojů (baterií) umožňuje zvýšit dobu životnosti implantovaného stimulatoru na mnoho let. Po této době je nutno zdroj vyměnit. Dráždění se provádí jednotlivými elektrickými impulzy o délce 1–3 ms, napětí 5–10 V a proudem do 10 mA.

Elektrošok

Při aplikaci střídavého proudu o frekvenci kolem 50 Hz, napětí 70–110 V, délce impulsu 0,1–1,5 s a proudem 300–500 mA elektrodami přiloženými na spánky, dojde u člověka ke křečovému záchvatom epileptického typu. Elektrošok má za následek několikaminutovou ztrátu vědomí. Protože

pacient dostává po elektrošoku záchvaty podobné epileptickým, je nutné zajistit, aby si nepokousal jazyk. Po návratu vědomí dochází u pacienta k retrográdní amnezii (pacient zapomene na vše, co se s ním předtím dělo a neví nic ani o záchvatu samém). Elektrošok využíváme při léčbě těžkých depresivních stavů a schizofrenie.

Neurostimulátor

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

Slouží ke dráždění mozku a míchy, obvykle se používá obdélníkových impulzů o délce asi 0,1–5 ms, frekvence střídavého proudu je asi 30 až 100 Hz, proud asi 0,5–5 mA.

Stimulační diagnostika

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

Elektrostimulační dýchání

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

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

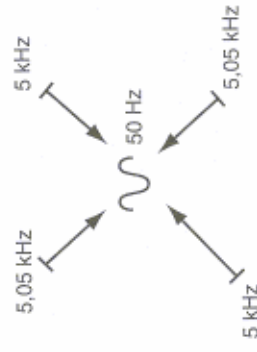
14.4.3 Střídavý proud středních frekvencí (několik kHz)

Využívá rozdílových kmitočtů vznikajících při vzájemné **interferenci** dvou různých středněfrekvenčních kmitočtů. Tyto rozdílové kmitočty mají nízké frekvence sinusového tvaru. Použití středních frekvencí střídavých proudů v kontaktní elektroterapii je spojeno s podstatně menším zatěžo-

váním tkáně pod elektrodou. U těchto typů proudů se uplatňuje kapacitní složka kožního odporu a také proto jsou dobře tolerovány pacientem.

Interferenční proudy

Léčba je založena na principu interference dvou proudů středních frekvencí přímo ve tkáni, přičemž jeden elektrický kmitavý obvod přivádí do tkáně konstantní frekvenci 5000 Hz, druhý okruh má kolísavou frekvenci ve volitelném rozsahu od 5001 do 5100 Hz. V místě zkrřížení obou okruhů se interferencí uplatňuje nízká frekvence, která je dána rozdílem frekvencí obou střídavých proudů a pohybuje se v rozsahu od 1 do 100 Hz.



Obr. 22 Princip interferenčních proudů

Je zajímavé, že nízké použité frekvence (5–20 Hz) působí spíše dráždivě a tonizují nervosvalový aparát, zatímco frekvence vyšší (50–100 Hz) působí tlumivě, uvolňují svalové stahy a působí analgeticky.

Účinky: Uplatňují se 3 faktory: hyperémie, analgezie, tonizace.

Použití: Interferenční proudy se uplatňují spíše při chronických procesech (diadynamické proudy u akutních stavů).

Aplikace: Nejčastější je 15 minut, u akutnějších a dráždivých stavů je aplikační doba kratší, u chronických onemocnění a u pacientů méně citlivých na proud je aplikace delší. Obecně se délka aplikace pohybuje v rozmezí 3–20 minut. Intenzita se řídí pocitem pacienta.

Počet procedur: obvykle 9–12 v průběhu 3 týdnů.

Kontraindikace: zánětlivá, zejména hnisavá onemocnění kůže, záněty žil a lymfatických cest, aktivní TBC, akutní záněty, horečka, krvácivé stavy, roztroušená skleróza, maligní tumory, implantovaný stimulator, kové implantáty, gravidita, menstruace i spastické syndromy, centrální moz-
kově obrny, Parkinsonova nemoc.



Trábertův proud

Umožňuje fyzioterapeutické odstraňování bolestivých stavů. Výrazný analgetický a hyperemizační účinek.

Aplikace: pravouhlé impulzy s trváním impulzu 2 ms, délka pauzy 5 ms.

Indikace: stavy po úrazech, ortopedické a revmatologické indikace, např. thorakální vertebrogenní syndrom, cervikální vertebrogenní syndrom, lumboschiadický vertebrogenní syndrom, artróza ramenního kloubu, syndrom bolestivého ramene, coxarthróza, Bechtěrevův syndrom, syndrom musculus supraspinatus, bursopatie, tendovaginitis, natržení svalu, bolesti v týlní oblasti, okcipitální neuralgie, proprioreceptivní facilitace.

Transkutánní elektrické neurostimulace

Ovlivňují bolest aktivací aferentní dráhy, vlivem na mozkové endorfíny, ale uvolňují i hypertony a svalová ztuhnutí.

Indikace: fantómové bolesti, běžné bolesti páteře, bolesti hlavy, pौरázové bolesti pohybového aparátu.

Kontraindikace: blízkost kardiostimulátoru v blízkosti karotického sinu, aplikace v místech kožního zánětu, psychopatologické syndromy a organické psychosyndromy, průběh karotid, v graviditě aplikace na břicho, podbříšek a LS oblast, aplikace přes srdce, poblíž očí.

14.4.4 Vysokofrekvenční proud a elektromagnetické vlnění

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

Vysokofrekvenční proudy nemají ani elektrolytické ani elektrochemické účinky. Mechanismus jejich biologického účinku spočívá v přeměně absorbované elektrické energie v teplo. Polární molekuly v organizmu se účinkem vysokofrekvenčního střídavého proudu rytmicky pohybují, a tím přeměňují absorbovanou energii elektrického pole v teplo – dielektrický ohřev.

Léčebně se **tepelného účinku** vysokofrekvenčních proudů využívá ve vysokofrekvenční terapii. Ta je velmi rozšířená, protože je jen málo nemocí, u kterých by aplikace tepla byla škodlivá.

Vysokofrekvenční terapii neboli diatermií rozumíme nejenom léčebné použití vysokofrekvenčních střídavých proudů, ale i magnetických polí a elektromagnetických vln. Vysokofrekvenční terapie umožňuje na rozdíl od některých jiných metod termoterapie hloubkové prohřívání. Při diatermii se teplo nepředává tkáním přímým stykem se zdrojem tepla nebo pohlcením infračerveného záření, nýbrž přímou přeměnou energie vysokofrekvenčního elektromagnetického pole na vnitřní energii tkání. Vysokofrekvenční terapie nedráždí ani nerv, ani sval.

Mezinárodními dohodami byly pro terapii vyčleněny určité frekvence (tab. 8).

Tab. 8 Frekvence diatermie

| Diatermie | vlnová délka | frekvence | způsob prohřívání |
|------------------------------------------|--------------|------------|--------------------------------|
| Krátkovlnná (metrová) | 11,06 m | 27,12 MHz | dielektrotermie, induktometrie |
| ultrakrátkovlnná (decimetrové vlny) | 0,69 m | 433,92 MHz | pole záření |
| mikrovlnná, radarová (centimetrové vlny) | 0,125 m | 2400 MHz | pole záření |

Při prohřívání vysokofrekvenčními proudy platí zásada, že čím je vlnová délka kratší, tím je prohřívání tkání rovnoměrnější.

Krátkovlnná diatermie

Při vysokých frekvencích, jichž se v současné době užívá při krátkovlnné diatermii, není nutné vodivé spojení mezi elektrodami a organizmem. Je to tzv. diatermie v kondenzátorovém poli. Prohřívání tkáň tvoří dielektrikum

kondenzátoru, vysokofrekvenční proud překonává toto dielektrikum jako proud posuvný.

Při diatermii v **kondenzátorovém poli** dochází v kůži a v tukové vrstvě k výraznějšímu ohřevu. Svaly se ohřívají asi desetkrát méně než tuk, proto tento typ diatermie není vhodný pro prohřívání svalů.

Prohřívání v **indukčním poli** se provádí nejčastěji tak, že se izolovaný kabel obtočí kolem končetiny, kterou chceme prohřát. Účinkem střídavého magnetického pole vysoké frekvence vznikají ve tkáni vířivé proudy, jejichž energie se mění v teplo. Při této metodě se kůže prohřívá méně, lépe jsou prohřívány svaly.

Účinek krátkovlnné diatermie: tepelný, hluboká hyperemie, spazmolytický efekt, analgetický účinek, rozpouštění zánětlivých exudátů, změkčení vazivových srůstů, zvýšená permeabilita kapilár, zvýšení diapedeze leukocytů.

Indikace: choroby pohybového aparátu, chronické zánětlivé a degenerativní choroby kloubů, svalový revmatismus, potraumatické a pozánětlivé stavy ve vazivu, fasciích, burzách, kloubních pouzdrech, myalgie, svalové spazmy a reflexní kontrakтуры při vertebrogenních syndromech, tendovaginitidy, edémy bez příznaků zánětu apod.

Nervové choroby: neuralgie, migréna, bolesti po herpes zoster, periferní obrna n. VII, Meniérův syndrom.

Vaskulární choroby: vazoneurózy, iniciační stadia poruch prokrvení.

Vnitřní choroby: chronická bronchitida, prostatitidy, chronické sinusitidy, astma bronchiale, stavy po pleuritidě, pleurální srůsty.

Kontraindikace: maligní tumory, metastáza, gravidita, implantovaný kardiostimulátor, revmatoidní artritida, deformační artróza, kovové implantáty – endoprotézy, hřebí, šrouby, kličky atd. Závažné poruchy prokrvení – pokročilá arterioskleróza, žilní trombóza, TBC proces, srdeční slabost, gravidita, tyreotoxikóza, psychické poruchy včetně neuróz, krvácivé stavy, vyhnout se růstovým zónám kostí u dětí, kovové předměty: řetízky, hodinky, kostěné výčelníky těsně pod kůží – možnost popálení.

Nevhodné k aplikaci: pokročilá osteoporóza, růstové epifyzární chrupavky dětí a pohlavní žlázy dětí.

Pozor na aplikaci diatermie v místnosti, kde probíhá elektroterapie (nízkofrekvenční, středněfrekvenční, magnetoterapie). Interference vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, které se šíří vzduchem i elektrickými rozvody (stejná fáze) s jiným typem elektroterapie může způsobit popálení pacientů pod elektrodami nebo závažné poruchy elektroterapeutických přístrojů.

Dávkování: 5–15 minut ob den 6–15 x, čím akutnější, tím kratší aplikace. **Nejčastější způsob aplikace:**

1. kondenzátorovým polem: Vybírává prohřátí především v podkoží. Vhodné k diatermii kloubů, hrudníku, břicha nebo částí končetin. Účinek lze zvyšovat použitím nestejně velkých elektrod, kdy větší hustota pole je pod menší elektrodou.

2. indukčním polem spirály: Jde o prohřívání v elektromagnetickém poli. Indukční pole působí více do hloubky, tedy při aplikaci na končetiny především na svaly, neprohřívá se tuk. Kůže se prohřívá méně, polovrstva ve svalech je asi 2 cm.

3. pulzní aplikace: Dochází k lokálnímu ohřátí.

Ultrakrátkovlnná diatermie

K tepelné výměně nedochází účinkem elektrického proudu, ale účinkem elektromagnetických vln vysílaných ze zářiče. Uvádí se, že při použití ultrakrátkovlnné diatermie dochází ke **zlepšení krevního oběhu**, u pacientů s vysokým krevním tlakem dochází k jeho snížení.

Účinek: dobrý hloubkový účinek s maximální absorpcí ve svalech, malé tepelné zatížení kůže a tukové vrstvy. U impulzního režimu se předpokládá hluboké pronikání do tkání a orgánů. Se snižujícím se počtem impulzů klesá tepelný výkon, nemocný nemá pocit tepla, jde o tzv. „prohřívání za studena“.

Aplikace: 2–15 minut, krátká je 2–4 minuty, středně dlouhá doba je 5 až 10 minut, dlouhá 10–15 minut.

Mikrovlnová terapie

Mikrovlny jsou vysílány ze zařízení se silným magnetickým polem (magnetron). Pomocí mikrovlnové terapie se dobře **zahřívají svaly, špatně tuk a kosti**. Osvědčuje se při ozářování malých oblastí tkáně v očním lékařství, v otorinolaryngologii apod.

Vyžaduje samostatnou místnost. Ideální je umístění ve faradayově kleci a napájení ze samostatného elektrického okruhu.

Jiné využití vysokofrekvenčních proudů

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

elektrody, na kterou se nemocný položí, jednak malé tzv. aktivní elektrody ve tvaru jehly, nožiku nebo kuličky, kterou se provádí vlastní zákrok. Vývoj tepla ve tkáni je úměrný „hustotě“ procházejícího proudu, proto se při průchodu proudu dvěma elektrodami nestejné velikosti tkáň zahřívá více pod menší aktivní elektrodou. Výsoká teplota pod aktivní elektrodou způsobuje koagulaci (srážení) bílkovinné tkáně a srážení krve. Rána proto nekrváčí. Kromě toho je výhodou elektrochirurgie, že po operaci jsou následné bolesti malé, protože koagulace postihuje i konce nervů.

Při malé velikosti proudu dojde ke zničení buněk pod aktivní elektrodou tím, že se vlivem tepla vypaří z buněk voda a dojde k porušení buněčné membrány. Tento způsob se užívá ke kosmetickým zákrokům a k léčbě nezhoubných nádorů. Aktivní elektroda má tvar jehly, kuličky nebo terčíku. Tato elektrochirurgická metoda se nazývá **elektrodesikace**.

Při zvýšení velikosti proudu dochází ke zničení buněk – vlivem tepla nastává koagulace bílkovin, buňky tkáni se mechanicky roztrhají a spálí. Toho se využívá k zástavě operačního krváčení a ke zničení nádorových tkání, k resekci uvnitř orgánů a ke speciálním zásahům v oku. Tuto metodu známe i pod názvem elektrokoagulace.

Při velkých hodnotách proudu předávané teplo způsobí úplné zničení tkáně pod elektrodou. Elektroda má tvar nožiku a lze s ní pracovat jako s obyčejným skalpelem. Tato metoda se nazývá **elektrotomie** a její význam je v šetrnosti řezu a zmenšení krváčení. Proto se používá například při operacích mozku, při operacích zhoubných nádorů apod. Při operacích zhoubných nádorů snižuje pravděpodobnost roznesení nádorových buněk krevním řečištěm do jiných orgánů, a tak zabraňuje vzniku metastáz. Při použití této metody se v místě řezu tkáň lehce rozestupuje a nastává koagulace do hloubky přibližně 0,1 mm.

14.5 Úrazy elektrickým proudem

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

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

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

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

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

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

Nejčastějšími cestami jsou tyto úseky:

Průchod proudu mezi dolními končetinami. Objevují se křeče kosterního svalstva dolních končetin, je možné popálení tkáně v místě průchodu proudu.

Průchod proudu mezi pravou rukou a pravou nohou. Jedinec je ohrožen křečemi zasaženého kosterního svalstva, křečí bránice v důsledku dráždění nervus phrenicus (bránice je hlavní dýchací sval!) a popálením tkáně v místě průchodu proudu.

Průchod proudu mezi levou rukou a jakoukoliv dolní končetinou hrozí také fibrilací srdečních komor. Stejná situace nastává při průchodu proudu mezi oběma horními končetinami.

Při zasažení hlavy a následném průchodu proudu tělem dochází k zástavě dýchání a fibrilaci srdečních komor, křečím kosterního svalstva a při vyšších intenzitách i k tepelnému poškození mozkové tkáně.

14.5.1 Zasažení bleskem

Při zásahu bleskem je statický náboj akumulovaný v mraku vybit k zemi ve formě blesku. Velikost proudu i napětí mohou být různá, hodnoty proudu jsou rozsahu desítek až stovek tisíc ampérů, napětí ve stovkách tisíc voltů.

Délka trvání je velice krátká (tisíciny až desetiny s). Odpor kůže má i v tomto případě ochranný vliv a vzhledem k době trvání a odporu kůže blesk při zasažení organismu předá tělu podstatně menší množství energie než například při poranění vysokým napětím. Při zasažení organismu je prognóza nemocných, u kterých nedošlo k rozsáhlým popáleninám, závislá především na rychlosti, kterou je poskytnuta první pomoc. Většina osob, které utrpí úraz bleskem, má potíže různého charakteru. Nejčastěji je to přechodná hluchota, slepota a neschopnost pohybu. U osob, které zasažení bleskem přežily, jsou však popsány významné neurologické nebo neuropsychické důsledky.

Přímé zasažení bleskem způsobuje náhlou zástavu srdeční. Důležité je včasné a neprodlené zahájení ožívování. Vzniká zhmoždění plic s tzv. pneumotoraxem. Důvodem vzniku zástavy dýchání může být poškození dechového centra v prodloužené míše. Nervová tkáň bývá často poškozena vzhledem ke své velké vodivosti. Obraz poškození může být velmi rozmanitý. Je přítomna škála příznaků od přechodné zmatenosti přes popsané smyslové výpadky po bezvědomí s křečemi. Komplikací může být i krvácení do mozku. Na kůži vznikají popáleniny všech stupňů. Typickým obrazem na kůži jsou povrchní popáleniny, které mají tvar listů kapradiny.

14.5.2 Sekundární příznaky úrazů elektrickým proudem

Protékající elektrický proud může vyvolat i sekundární patologické změny. Při silném elektrickém podráždění svalové tkáně se uvolňuje velké množství myoglobinu, který ucpáním tubulů vyvolá stav, nazývaný se **anurie z myoglobinurie**, který může být příčinou smrti. V důsledku rozsáhlého poškození tkáně je rovněž zvýšena koncentrace draslíku v krevní plazmě (hyperkalemie), která je anurii zvyšována. Elektrolytické účinky stejnosměrného proudu mohou navodit **místní poškození** (trofické změny na kůži a v podkoží). **Neurologické příznaky** jsou způsobeny buď drážděním, nebo tepelnými účinky na nervovou tkáň. Poškození periferních nervů se projevuje po určité době parézami, místní bolestivostí nebo zonální anestezí. Poškození neurovegetativního systému má za následek palpitace, prekordální bolesti, poruchy paměti a spánku.

14.6 Aktivní elektrické vlastnosti vzrušivých tkání

Činnost vzrušivé tkáně (nervové nebo svalové) vznikají elektrické projevy, tzv. **akční potenciály**. Elektrické projevy doprovázejí specifickou aktivitu buněk nebo tkání, například vedení vzruchu nervy, stah svalů apod. Řada těchto elektrických jevů je pro probíhající procesy charakteristická, avšak při onemocnění organismu se mění. Jejich sledování má proto význam ve výzkumu nebo v diagnostice. Protože jsou to jevy velmi krátkodobé, potřebujeme k jejich sledování registrační soupravu, která musí obsahovat minimálně:

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

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

Podle místa, z něhož bioelektrické potenciály snímáme, rozlišujeme povrchové elektrody nebo elektrody pro snímání přímo z tkání. Povrchové elektrody jsou upraveny pro snímání z povrchu těla. Jednou z podmínek úspěšného měření je zajištění dokonalého kontaktu mezi elektrodou a tkání. U povrchových elektrod je třeba zprostředkovat elektrický vodivý kontakt mezi elektrodou a kůží vhodným elektrolytem (např. pasta s KCl pro snímání EKG). Pro snímání elektrických biosignálů z povrchu těla se časťo užívá nepolarizovatelná elektroda stříbrochloridová.

Elektrody pro snímání signálu přímo z tkání se nejčastěji do tkání zavádějí přímo (tzv. elektrody vpichové). Musí být sterilizovány a musí být z materiálu, který nedráždí tkáň. U vpichových elektrod je dokonalý kontakt obvykle dostatečně zajištěn tkáňovými tekutinami. Často se užívají speciální mikroelektrody k přímému měření membránových potenciálů. Nejčastěji jsou tvořeny skleněnými mikropipetami s hrotem o průměru 0,1 mikrometru až několika mikrometry, naplněnými třimolárními roztokem KCl, do kterého je ponořena stříbrochloridová elektroda.

Podmínkou dalšího zpracování bioelektrických signálů je jejich nezkreslené zesílení. Velikosti bioelektrických potenciálů měřených z povrchu těla jsou totiž řádově od 10^{-6} V (EEG) do 10^{-2} V (EMG). Dalším článkem měřicího řetězce jsou proto **zesilovače**, speciálně konstruované pro různé druhy měřených signálů. Zesilovače pro elektrokardiografii a elektroencefalografii

grafii (elektrické projevy srdce a mozku) sestávají obvykle ze dvou částí, ze **zesilovače napětí** a **zesilovače výkonu**. První z nich má za úkol zesílit malá napětí přivedená na vstup, druhý pak získat signál o potřebném výkonu, který by se mohl přenést na registrační zařízení.

Z hlediska zesílení má rozhodující význam poměr velikosti vnitřního odporu zdroje biosignálu a vstupního odporu zesilovače. Velikost vnitřního odporu (správnější impedance) zdroje biosignálu je dána jednak vlastní impedancí tkáně, v níž biosignál vzniká, jednak impedancí rozhraní tkání (kůže) – elektroda. Vstupní odpor zesilovače musí být tak velký, aby se hodnota měřeného napětí blížila hodnotě napětí zdroje biosignálu.

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

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

Činnost svalové potenciály

Kosterní sval tvoří s nervem, který jej inervuje (dodává podněty), funkční jednotku. Základním prvkem je tzv. motorická jednotka, tvořená skupinou svalových vláken zásobovaných nervovým vláknem jedné nervové buňky. Podráždění v podobě vzruchu přichází nervovým vláknem k motorické jednotce a na každé podráždění odpovídá sval vznikem činnostního (akčního) potenciálu. Záznam akčních potenciálů kosterních svalů se nazývá elektromyogram. Je-li sval v motorickém klidu, nezaznamená se žádná elektrická aktivita. Při kontrakci (smrštění) se do činnosti zapojuje podle síly kontrakce různé množství svalových vláken a podle toho se mění i tvar výsledného elektromyografického záznamu. Hladký sval se liší od příčně pruhovaného kosterního svalu, nereaguje na přímé podráždění a jeho reakce na nepřímé podráždění je pomalá a je vázána na sumaci nervových vzruchů.

Činnostní potenciály srdeční

Vznik podráždění a jeho rozvod v srdci zajišťuje zvláštní vodivý systém. Generátorem impulzů (s frekvencí 1–2 Hz) je sinoatriální uzel v oblasti pravé před síně. Odtud se podráždění šíří svalovinou před síní k uzlu atrioventrikulárnímu, ležícímu na rozhraní před síní a komor. Ten je výchozím bodem vodivého systému Hisova svazku a Purkyňových vláken. Elektrokardiogram, tj. zápis srdečních akčních potenciálů, je vlastně znázornění časového průběhu rozdílů potenciálů, měřených na různých místech povrchu těla.

Einthoven, který jako první zpracoval elektrokardiografii, umístil elektrody, ze kterých se snímají akční potenciály, na pravou horní končetinu, na levou horní končetinu a na levou dolní končetinu. Elektroda na pravé dolní končetině slouží k připojení zemnicí svorky. Jsou to tzv. končetinové svody. Podle polohy snímacích elektrod rozeznáváme ještě svody hrudní. Jejich počet je různý a podle toho rozeznáváme 3svodové EKG, 6svodové EKG, 12svodové EKG apod. Zápisem činnostních srdečních potenciálů dostáváme **elektrokardiogram** (EKG).

Přechodem podráždění na svalovinu před síní dochází k jejímu podráždění, které dává vznik vlně P (obr. 23). Jakmile podráždění dosáhne atrioventrikulárního uzlu, začíná podráždění komor. To probíhá v obou komorách současně a postupuje z vnitřní strany na vnější. V záznamu EKG se tento děj projeví komplexem QRS. Zároveň s podrážděním komor probíhá uvolnění před síní, ale jejich elektrická manifestace je překryta komplexem QRS. Poslední fází je uvolnění komor, které probíhá z vnější strany ke straně vnitřní a dává vznik vlně T.

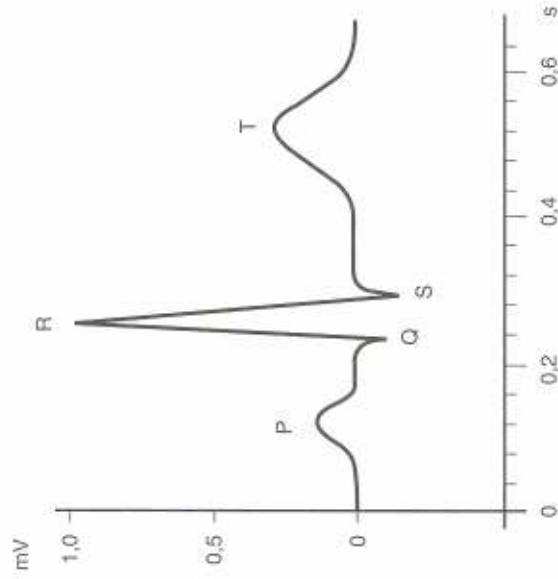
Činnostní potenciály mozkové

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

Rytmus i tvar akčních potenciálů mozku není zdaleka tak pravidelný jako u srdce (obr. 24). Druh rytmu EEG je závislý na mnoha podmínkách, např. na věku, spánku, bdění apod. Různá onemocnění ovlivňují EEG, zvláště výrazně epilepsie a nádory mozku.

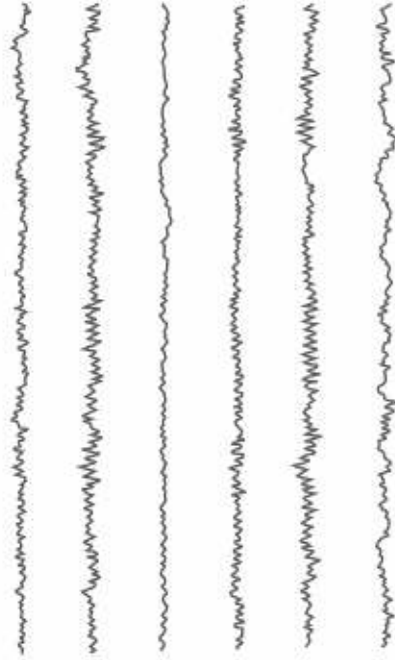
Základní typy elektroencefalografických vln jsou:

- vlny alfa, charakteristické pro duševní a tělesný klid;
- vlny beta, představující rytmus zdravého člověka v bdělém stavu;



Záznam činnosti potenciálů srdečních (EKG)

Obr. 23 Záznam EKG



Záznam činnosti potenciálů mozkových (EEG)

Obr. 24 Záznam EEG

- vlny theta, které se fyziologicky objevují jen u dětí, výskyt těchto vln u dospělého člověka je patologický;
- vlny delta projevující se za normálního stavu jenom v průběhu hlubokého spánku, v bdělém stavu je tento typ elektroencefalografických vln patologický.

Jiné akční potenciály

Bioelektrická aktivita sítnice je v úzkém vztahu k fotochemickým reakcím, které v sítnici probíhají po dopadu světla. Činnosti potenciály vznikají jen v osvětlené části sítnice. Podráždění čípků sítnice podmiňuje vznik negativních potenciálů, podráždění tyčinek vznik potenciálů pozitivních. Potenciály jednotlivých podrážděných světločivých elementů nebo jejich skupin se sčítají a dávají vznik výsledné změně potenciálu, jejíž časový průběh označujeme jako **elektroretinogram (ERG)**.

I některé jiné orgány lidského těla, které obsahují vzrušivou tkáň, jsou při své činnosti zdrojem elektrické aktivity. Můžeme proto sledovat elektrické projevy dělohy při porodu (elektrohysterografie), elektrické projevy stěny žaludku (elektrogastrografie) (obr. 25) apod.



Obr. 25 Záznam činnosti potenciálů žaludku

Polyfyziograf je druh špičkového detektoru, zaznamenávajícího např.

Záznam činnosti potenciálů žaludku (EGG)

emocionální reakce, činnost srdce, pocení a jiné fyziologické reakce. Může například sloužit jako špičkový detektor lži.

14.7 Elektroklíma

Ionosféra s převahou kladných nábojů a Země, na níž převažují záporné náboje, tvoří elektrické pole. Ionosféra získává svůj náboj při bouřích

a účinkem ionizujícího záření, nosiči elektrického náboje jsou různé velké atmosférické ionty.

Kladné ionty prostorového elektrického náboje mají dráždivé účinky, vyvolávají únavu a bolesti hlavy. Výsokým obsahem kladných atmosférických iontů se vysvětlují obtíže před boufkami, bolesti hlavy, nevolnost apod.

Záporné ionty mají účinky příznivé a jejich zvýšené množství po bouři je zdrojem úlevy.

15 Fyzikální základy dýchání, krevní oběh a krevní tlak

15.1 Dýchání

Dýchání představuje jednu ze základních životních funkcí organismu. Dýcháním rozumíme příjem kyslíku a jeho dopravu do tkání, v nichž se spotřebovává, a odvádění oxidu uhličitého z tkání a nakonec z organismu. Při vdechování vzduchu se kyslík dostává dýchacími pohyby do plicních alveolů. Z nich se kyslík difuzí dostává do krve krevních kapilár, které hustou sítí opřádají plicní alveoly. Kyslík je navázaný na erytrocyty a proniká k buňkám všech tkání, v nichž se spotřebovává při biologických oxidacích. Konečným produktem těchto oxidačních dějů je CO_2 , který postupuje opačným směrem, přestupuje z krve do plicních alveolů a je vydycháván (celková dýchací plocha, tj. plocha všech alveolů, je asi 100 m^2 . Tato mimořádně velká plocha umožňuje výměnu O_2 a CO_2).

Bývá zvykem dělit dýchání na **vnější**, tj. výměnu O_2 a CO_2 mezi alveolárním vzduchem a krví, a **vnitřní**, tj. výměnu O_2 a CO_2 mezi krví a tkáněmi, a na **buněčné** (přeměnu energie zajišťují mitochondrie).

V mechanismu dýchání jsou důležité zejména tyto **fyzikální zákony**:
Daltonův zákon, který slouží především k výpočtu parciálního tlaku kyslíku.

Celkový tlak plynne směsi p je součtem parciálních tlaků p_i jednotlivých složek, udává se v Pa (Pascal):

$$p = \sum p_i$$

Fickův zákon, vyjadřující zákonitosti difuze, která je základním mechanismem pasivního transportu látek (je popsán v kapitole o stavbě hmoty).

Za normální tělesné teploty difunduje CO_2 v krevní plazmě 20x rychleji než O_2 . Pro zajištění dynamické rovnováhy při výměně obou plynů je menší difuzibilita O_2 vyvážena jeho větším tlakovým spádem. Mechanismus výměny plynů je zřejmý z tabulky 9. Z ní vyplývá, že přes buněčné membrány prostupují molekuly O_2 a CO_2 difuzí, jež je podmíněna rozdílem parciálních tlaků daného plynu na obou stranách membrány. Parciální tlak O_2 klesá ve směru vnější prostředí – buňka, tlakový spád CO_2 má

směr opačný. Na přenosu kyslíku se podílejí **erytrocyty** (červené krvinky) s **hemoglobinem** (krevní barvivo). Vázba kyslíku na barvivo je podmíněná parciálním tlakem kyslíku v alveolárním vzduchu (tlakem plynu v plynové směsi). Jestliže tlak kyslíku stoupá, přibývá okysličeného hemoglobinu (oxyhemoglobinu).

Tab. 9 Způsob přechodu O_2 a CO_2 v různých prostředích

| Prostředí | způsob přechodu | parciální tlak O_2 | | parciální tlak CO_2 | |
|--------------------------------------|-----------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | | (kPa) | (mmHg) | (kPa) | (mmHg) |
| vnější prostředí | | 20,0 | 150,0 | 0,04 | 0,3 |
| alveolární prostory | proudění | 13,3 | 100,0 | 5,30 | 40,00 |
| stěna | | | | | |
| alveokapilární krevní oběh | difuze proudění | 5,3 | 40,0 | 6,10 | 46,0 |
| stěna kapilární mezibuněčná kapalina | | | | | |
| buněčná membrána buňka | difuze | 4,0 | 30,0 | 6,60 | 50,00 |

Podmínkou dýchání, a tím i života organismu, je dobře fungující krevní oběh. Plyny jsou v krvi jednak fyzikálně rozpuštěny, jednak chemicky vázány. Kyslík a oxid uhličitý se vyskytují v krvi v obou formách, dusík jen fyzikálně rozpuštěn, a proto je jeho množství v arteriální a venózní krvi stejné.

Plice jsou vakovité elastický orgán uložený v dutině hrudní. Obě plíce nejsou stejně velké, pravá je větší, a proto se účastní výměny plynů z 55 %.

Dýchání spočívá v rytmickém zvětšování a zmenšování objemu hrudníku a má dvě fáze: vdech – inspiraci – a výdech – expiraci.

Výměnu plynů zajišťují svými kontrakcemi dýchací svaly – **bránice** a **mezižeberní svaly**. Bránice je plochý sval a vymění až 60 % vzduchu v plicích. Hrudník se zvětšuje (zmenšuje) aktivitou mezižeberních svalů ve směru příčném i předozadním. **Při výdechu** se **bránice** posunuje **jako píšť vzhůru** a vnitřní mezižeberní svaly stahují žebra dolů. **Při nádechu** se **bránice** pohybuje **směrem dolů** a žebra se pohybují směrem vzhůru stahem vnějších mezižeberních svalů. Aktivní mohou být oba systémy svalů

stejnou měrou (**dýchání smíšené**), nebo převažuje aktivita bránice (**dýchání brániční**). V opačném případě mluvíme o **dýchání žeberním**.

Při dýchání sledují plíce v důsledku negativního nitrohrudního tlaku (v pleurální dutině mezi plícemi a hrudníkem je negativní tlak) objemové změny hrudníku. Tím dochází k rozdílným tlakům mezi alveolárními prostory a vnějším prostředím. Při vdechu směřuje tlakový spád do plic (při zvětšení hrudníku se roztáhne i plíce proti své pružnosti, a tím se sníží tlak, který v plicním prostoru byl pod hodnotou atmosférického tlaku), vzduch je vypouštěn do plic nasáván. Při výdechu směřuje tlakový spád z plic – vzduch je vypouštěn (při zmenšení hrudníku se také zmenší obsah plic, tlak v nich stoupne nad atmosférický tlak a vzduch je vyháněn ven). **Vdech** je vždy **děj aktivní**, zvětšení objemu hrudníku se provádí mezižeberními svaly a brániční. **Výdech** je **pasivní děj**. Jen usilovný výdech má též složku aktivní, složku svalové činnosti.

K porušení negativního nitrohrudního tlaku (v normě při různých fázích vdechu a výdechu se pohybuje jeho hodnota od 0,3 do 0,6 kPa) dochází při komunikaci pleurální dutiny s vnějším prostředím. Tento stav se nazývá **pneumotorax**. Plíce, na jejíž straně k pneumotoraxu došlo, kolabuje a je až do obnovení negativního nitrohrudního tlaku zcela nebo částečně vyražena z dýchací činnosti. Otevřený pneumotorax vzniká například při otevřeném poranění stěny hrudníku. U ventilového pneumotoraxu vzduch, který při každém dýchacím pohybu vnikne do pleurální šterbiny, už nemůže uniknout, protože kožní lalok na poraněném místě působí jako ventil. Proto je pneumotorax pro člověka velice nebezpečný.

Vitální kapacita zahrnuje respirační objem, expirační rezervní objem a inspirační rezervní objem.

Dechový objem je množství vzduchu vyměňované každým normálním vdechem a výdechem – 0,5 l. Z tohoto množství se asi 150 ml neúčastní výměny plynů. Je to vzduch, který zůstane v tzv. anatomickém mrtvém prostoru, tj. prostoru nad sklípky (dýchací cesty: bronchy, trachea, hrdlo, ústa, nos).

Inspirační rezervní objem je množství vzduchu, které lze nadechnout po normálním vdechu maximálním úsilím – 2,5 l.

Expirační rezervní objem je množství vzduchu, které lze po normálním výdechu ještě vydechnout maximálním výdechem – 1,5 l.

Celková kapacita zahrnuje respirační objem, expirační rezervní objem a inspirační rezervní objem a reziduální objem.

Reziduální objem je množství vzduchu, které zbyde v plicích po maximálním výdechu – 1,5 l. Toto množství vzduchu nelze činností dýchacích svalů z plic vypudit (obr. 26).

Uvedené objemy silně kolísají v závislosti na věku, velikosti těla, konstituci, pohlaví a stavu trénovanosti. Vitální kapacita proto může činit stejně tak 3,5 l nebo 7 l, aniž by jedna i druhá hodnota musela být patologická.

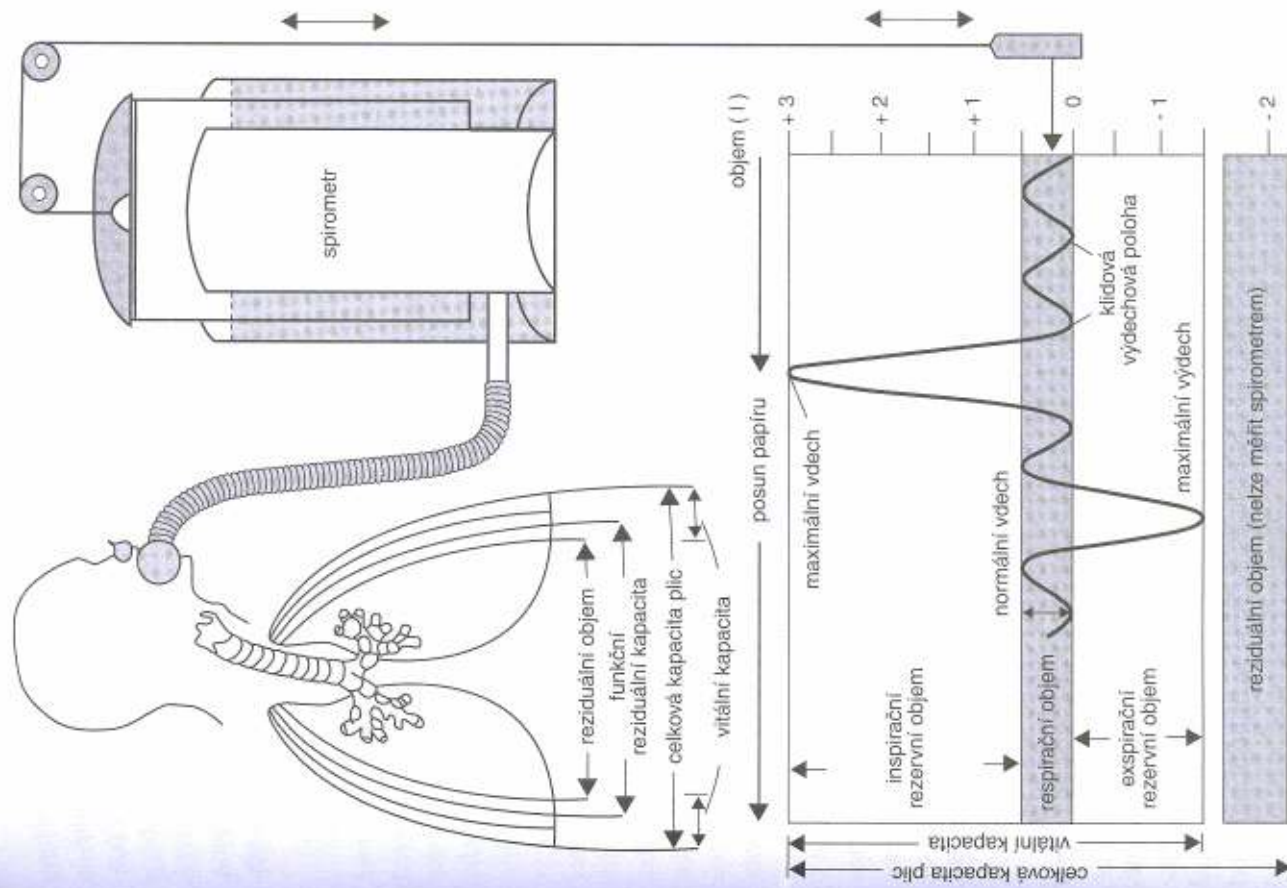
15.2 Krevní oběh a krevní tlak

Krevní oběh slouží k přenosu všech živin a krevních plynů obsažených v krvi do všech tkání a k odvádění všech metabolických produktů z tkání do míst vylučování. Další důležité funkce oběhové soustavy vyplývají ze skutečnosti, že spolu s trávicí a vylučovací soustavou patří do systému udržujícího stále vnitřní prostředí – homeostázu. Podílí se tedy například na udržování stálé tělní teploty, stálého pH, osmotického tlaku atd.

Jedna část krevního oběhu, mezi srdcem a plicemi (tzv. **malý plicní oběh**), slouží k výměně krevních plynů. Odkysličená krev proudí do plic tepnami a okysličená krev z plic do srdce proudí žilami.

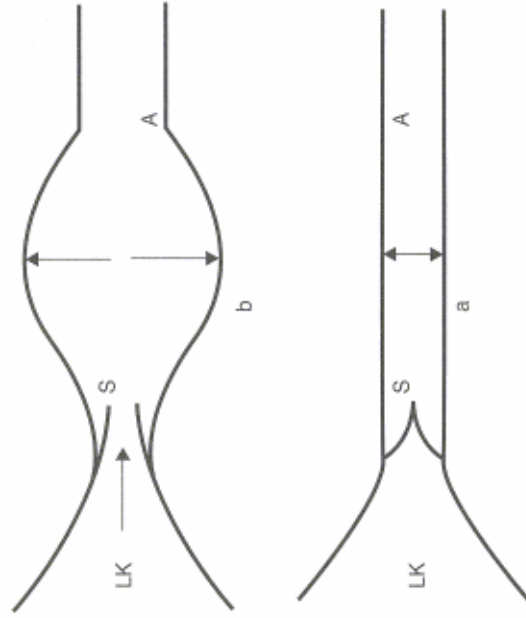
Velký tělní oběh je mezi srdcem a tělem. Srdce vypuzuje levou komorou krev arteriemi velkého oběhu (nejprve aortou) ke kapiláram na periferii, ve kterých se odkyslíčí (tzv. vnitřní dýchání). Žilami se dostává krev zpět do srdce, odkud je pak vypuzována pravou srdeční komorou do malého plicního oběhu.

V krevním oběhu se uplatňuje celá řada zákonů hydromechaniky. **Krevní oběh člověka je jednodměrný.** Srdce je motorem krevního oběhu, cévy jeho potrubím. Cévy jsou uzavřený systém velmi rozvětvených elastických trubic různého průměru. Z fyzikálního hlediska jde vlastně o dva oběhy, poháněné dvěma pumpami, které jsou anatomicky spojené a pracují prakticky současně. Levá polovina (levé srdce) vhání krev do velkého oběhu, pravá do malého oběhu. **Srdce** se skládá ze **dvou tlakových čerpadel** (komor). Před komorami jsou předstíňné, jejichž úkolem je vhnět krev do komor. Srdce pracuje jako tlakové čerpadlo – kontrakcí dutého srdečního svalu vzniká tlak. Smrštění (**kontrakce**) srdečního svalu se nazývá **systo-**



Obr. 26 Plicní objemy

la. Jeho uvolnění (**relaxace**) se nazývá **diastola**. Tlak v předsíni je během celé diastoly vyšší než tlak v komoře. To umožňuje tok krve z předsíni do komory během diastoly. Smršťuje-li se komora, stoupá v ní tlak, který uzavře atrioventrikulární chlopeň oddělující komoru a předsíň. Současně je uzavřena i semilunární chlopeň, oddělující komoru od aorty a periferního tepenného oběhu. Semilunární chlopeň zůstává tak dlouho uzavřena, pokud tlak v komoře není větší než v periférii. Je-li tlak v levé komoře větší než v aortě, jsou aortální poloměščitě chlopně otevřeny (obr. 27).



Obr. 27 Schematické znázornění funkce aorty

a – aorta v diastole, b – aorta v systole, LK – levá komora, A – aorta, S – semilunární chlopeň

Pružnost tepen vyrovnává pulzující proud krve dodávané srdcem. Tepny se rozšiřují při každé systole a zužují při každé diastole.

Cévy nejsou struktury rigidní, ale dynamické, schopné ať už samovolně, nebo vlivem okolních faktorů měnit svůj objem. Tuto skutečnost umožňuje součástí cévní stěny: **elastin, kolageny a hladká svalovina**. **První dvě složky** zodpovídají za pasivní poddajnost cévy. Ve významném množství se vyskytují **u velkých arterií**, což umožňuje transformaci nespojitého výdeje srdečních komor ve spojitý proudění krve na perifériích. Během stahu myokardu (v systole) se část objemu vypuzené krve ve velkých arte-

riích zadrží (tj., část její mechanické energie je přeměněna na potenciální energii pružnosti elastických vláken) a při ochabnutí srdce (v diastole) je „uskladněná“ krev uvolňována dále do krevního řečiště (potenciální energie pružnosti stažitelných vláken se zpětně využila na pohyb krve). **Hladká svalovina** je schopna způsobovat aktivní napětí cévní stěny. **Převažuje ve stěně arteriál** a umožňuje změny průsvitu těchto cév, a tím ovlivňuje odpor cévního řečiště.

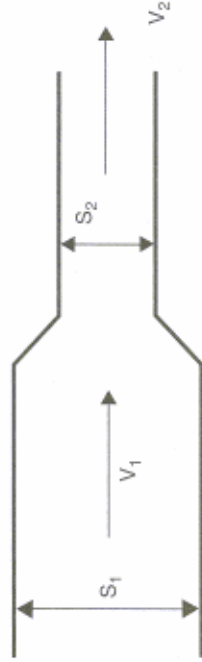
Ten můžeme připodobnit odporu v obvodu elektrického proudu: Odpory úseků krevního oběhu, které na sebe navazují, můžeme chápat jako sériové řazení a celkový odpor je tedy dán jejich součtem; odpory částí vzniklých větvením velkých cév pak chápeme jako paralelní řazení a platí, že převrácená hodnota celkového odporu je rovna součtu převrácených hodnot odporů dílčích.

Celková práce levé komory při jedné systole je asi 0,94 J. Práce pravé komory je rovna 20 % práce levé komory, tj. asi 0,19 J. Celková mechanická práce při jedné systole je tedy 1,13 J. Mechanický srdeční výkon při normální frekvenci 70 tepů za minutu je přibližně 1,3 W. Tato hodnota představuje jen asi desetinu celkové mechanické srdeční energie. Zbývajících devět desetin je spotřebováno na udržování stálého napětí srdeční svaloviny. Celkový výkon srdeční je tedy 13 W, což představuje přibližně 13 % celkového klidového výkonu organismu. Mechanická práce vykonaná v jedné systole se zdá být na první pohled velmi malá. Hodnoty mechanické účinnosti srdce jsou velmi nízké – v klidu se pohybují okolo 3 % a ani při námaze nepřevyšují 15 %. Co nás však musí zaujmout, je schopnost srdce vykonávat práci pravidelně po celý život. Pro názornost jedno číslo. Mechanická práce, kterou srdce vykoná za 60 let života, je větší než 2 GJ, což se přibližně rovná práci potřebné k vyzdvižení břemene o hmotnosti 30 000 kg na vrchol Mt. Everestu.

Pro proudící krev platí základní zákony proudění. Při ustáleném proudění kapaliny uzavřeným systémem trubíc o nestatejném průměru platí **zákon kontinuity** (obr. 28).

Ideální kapalina je nestlačitelná, proto se na žádném místě nemůže hromadit, proto je objemový průtok v každém průřezu stejný:

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



Obr. 28 Zákon zachování kontinuity

Zanedbají-li se síly tření, lze i součet potenciální i kinetické energie kapaliny považovat za konstantní:

$$E_k + E_p = konst.$$

Výše popsané vztahy jsou základem **Bernoulliho rovnice**, kterou jste poznali ve fyzice.

Bernoulliho rovnice vyjadřuje **zákon zachování energie** pro proudění ideální kapaliny ve vodorovném potrubí. Když se ve zúženém místě zvětší rychlost kapaliny, získá kapalina větší kinetickou energii. Podle zákona zachování energie kinetická energie vznikne přeměnou z potenciální energie:

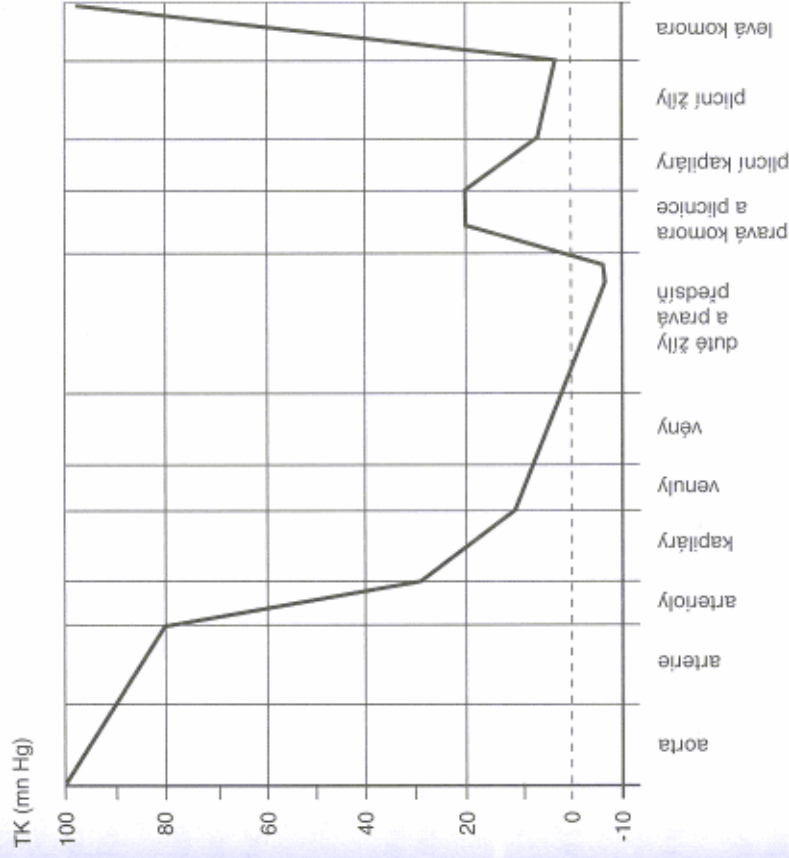
$$p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = konst.$$

První člen rovnice je tlaková potenciální energie proudící kapaliny o jednotkovém objemu (rovná se tlaku kapaliny), druhý člen je kinetická energie proudící kapaliny o jednotkovém objemu.

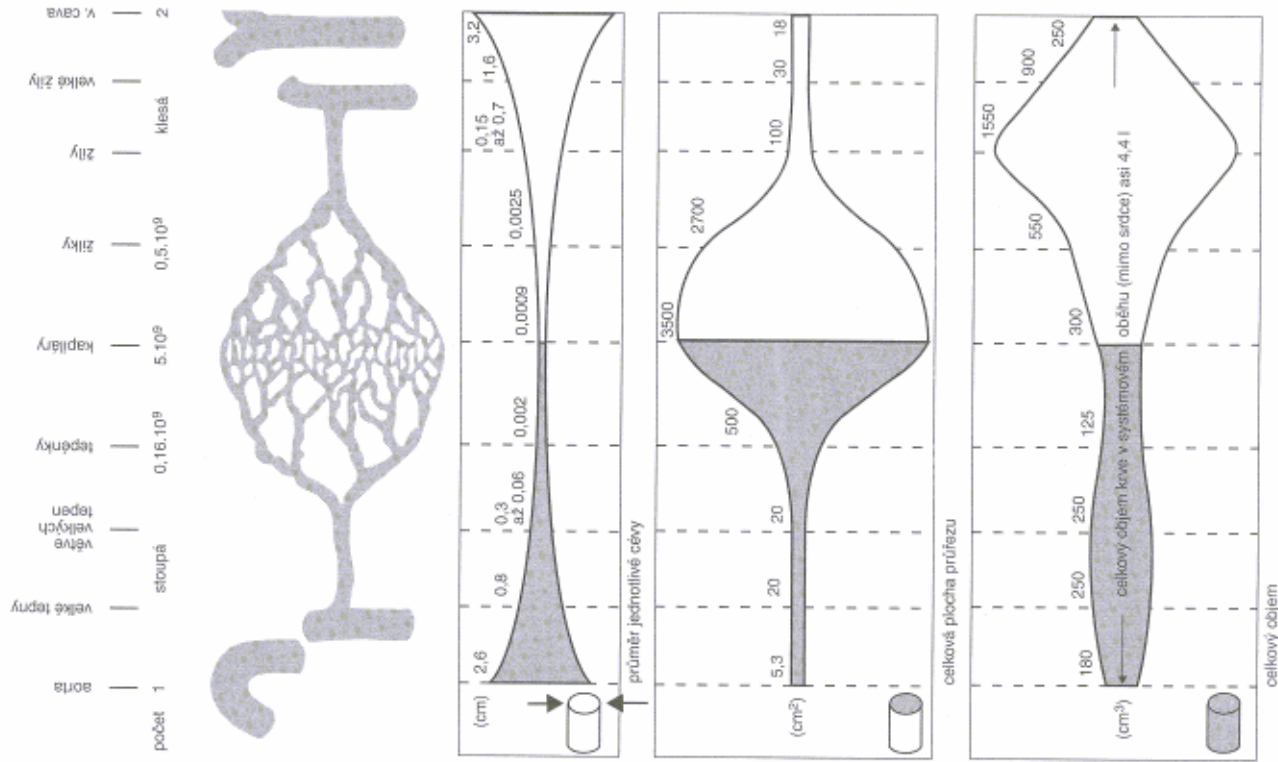
Součet kinetické a tlakové potenciální energie kapaliny o jednotkovém objemu je ve všech částech vodorovné trubice stejný.

K distribuci krve po celém organismu slouží cévy. Musí být naplněny krví, jinak by krevní oběh nefungoval. **Arteriální soustava** umožňuje plnit její úkoly pružnost tepen, cévní napětí (tonus), odpor periferie a mechanizmy zaručující koordinaci srdeční činnosti. Pružnost aorty a periferních tepen vyrovnává pulzace proudu krve vypuzované srdcem. Tepny se rozšiřují při každé systole a zužují se při diastole srdce. **Úkolem žil** je odvádět krev z vlásečnic a zajistit, aby byl dodržován stejný směr toku, přestože tlakový rozdíl v nich je již malý (obr. 29). Jsou proto vybaveny chlopněmi, které brání zpětnému toku krve. V medicíně je zvykem srovnávat tlaky

s tlakem atmosférickým a tlak, který je menší než atmosférický, se označuje jako negativní. V krevním oběhu jsou tyto poměry: Tlakové čerpadlo vstává do systému elastických trubic, které mají různý průměr, a proto na různých místech různý odpor. Hlavní tepny mají sice největší průřez, ale protože je ostatních tepen více, je tedy jejich celkový průřez větší, až dosáhne maxima ve vlásečnicích. Pro zvětšený celkový průřez se rychlost krevního oběhu na periférii zpomaluje (obr. 29, 30).



Obr. 29 Přibližný průběh krevního tlaku (TK) v krevním řečišti



Obr. 30 Schéma počtu, průměrů, průřezů cév a příslušných objemů krve

15.3 Měření krevního tlaku

Poiseuille vyvinul metodu měření krevního tlaku. Zkoumal také proudění tekutin v trubicích. V roce 1838 zjistil, že rychlost proudění závisí na průměru a délce trubice a na rozdílu tlaku mezi konci trubice. Při malých rychlostech proudění jsou vektory rychlosti v jednotlivých vrstvách proudící krve navzájem rovnoběžné, krev proudí **laminárně**. Druhým typem je proudění **turbulentní**, které je charakterizováno vznikem vírů. Na přechod mezi oběma typy má vliv poloměr trubice, střední rychlost proudění krve, hustota a viskozita krve (matematicky je přechod určen tzv. **Reynoldsovým číslem**).

Reynoldsovo číslo (Re) charakterizuje proudění kapaliny v trubici. Pokud je toto číslo menší než 1000, znamená to laminární proudění (částice se pohybují ve vrstvách, obtékané těleso klade malý odpor), při Re vyšším než 1000 se jedná o turbulentní proudění (částice víří).

$$Re = \frac{u \cdot r}{\nu}$$

u je střední rychlost proudění, r je poloměr protékané trubice a ν je kinematická viskozita;

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

η je dynamická viskozita, ρ je hustota kapaliny.

U člověka se užívá nejčastěji metody **nepřímého měření krevního tlaku** (metoda Riva – Rocci).

Stahem středního svalu vzniká tlaková síla, kterou je krev vypuzována do aorty a překonává odpor periferního cévního řečiště. Projevem **systolického tlaku** je vytlačení krve do aorty, a tím udělení elastické energie stěnam aorty. V **diastole** proudí krev následkem smrštění aorty, příslušný krevní tlak nazýváme diastolický.

Nepřímě měříme tlak krve nejčastěji rtuťovým **manometrem** (tonometrem), obvykle na arteria brachialis (pažní tepna) levé ruky. Paže pacienta má být ve výšce srdce, aby se vyloučil vliv hydrostatického tlaku krve. Kolem paže se ovine gumová dutá manžeta, do níž se balonkem nahustí vzduch tak, aby tlak v manžetě byl vyšší než systolický tlak. Tím se dosáhne tlakového tlaku, který postačí k uza-

vění tepny. Přístrojem nazývaným **fonendoskop** se poslouchají zvuky v loketní jamce nad tepnou. Pomocí ventilků se začne pomalu vypouštět z manžety vzduch, čímž se v ní snižuje tlak. Pokud je v manžetě tlak větší, než je tlak systolický, není slyšet žádný zvuk. Jestliže tlak v manžetě poklesne na hodnotu systolického tlaku, zjistíme sluchem, že arterií protéká krev. V okamžiku, kdy je slyšet první zvuk ve fonendoskopu, se na manometru odečte příslušná hodnota systolického tlaku. Tón slyšíme proto, že arterií malého průřezu proudí krev podle zákonů proudění turbulentně. Při dalším vypouštění vzduchu z manžety slyšíme tep, a to až do momentu, kdy tlak v manžetě už nestačí zúžit tepnu ani během diastoly. Zvuky postupně slábnou, až úplně vymizí. To proto, že krev začne proudit tepnou laminárně. V okamžiku tohoto přechodu se odečítá na manometru diastolický tlak.

Digitální tonometry používají oscilometrickou metodu měření. Krevní tlak je přesně zjištěn analýzou tlakových kmitů, které vznikají během měření při snižování tlaku manžety.

Krevní tlak závisí na výkonu srdce, na odporu cévního řečiště (průsvitu cév a jejich pružnosti), na množství cirkulující krve.

16 Optické záření, oko, přístroje a zařízení využívající optické metody

16.1 Optické záření

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

50 % viditelného světla vlnová délka $\lambda = 365\text{--}780\text{ nm}$

45 % infračerveného záření vlnová délka $\lambda = 780\text{ nm}$ až 1 mm

5 % ultrafialového záření vlnová délka $\lambda = 100\text{--}365\text{ nm}$

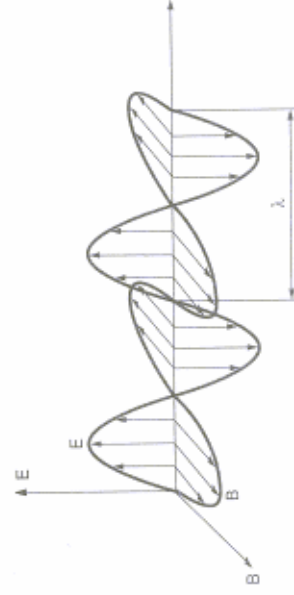
Elektromagnetické vlnění (obr. 31) je vlnění příčné a má dvě navzájem neoddělitelné složky. Elektrickou charakterizuje vektor intenzity elektrického pole E a magnetickou vektor magnetické indukce B . Vektory E a B jsou navzájem kolmé, mají souhlasnou fázi a jejich kmity probíhají napříč ke směru, kterým se vlnění šíří. Šíří se vakuem rychlostí $c = 3 \cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. To je mezni rychlost ve vesmíru.

Ze světelného zdroje se světlo šíří jako vlnění, které má ve vakuu vlnovou délku:

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

kde c je rychlost světla ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), f je frekvence světelného vlnění (Hz).

Podle současných fyzikálních teorií vykazuje elektromagnetické záření zároveň vlnové i korpuskulární vlastnosti. Typickými jevy vlnových vlastností jsou rozklad světla (disperze), skládání (interference), ohyb, polarizace, odraz a lom. Mezi korpuskulární vlastnosti světla patří například impuls, frekvence i vlnová délka.



Obr. 31 Průběh elektromagnetické vlny

E – vektor elektrického pole, B – vektor magnetické indukce, λ – vlnová délka

Rozklad světla

Jestliže úzkému paprsku postavíme do cesty hranol, pozorujeme na stínítku barevný pás, jemuž se říká spektrum. Nejkratší vlnovou délkou má barva fialová, nejdélejší barva červená. Barvy procházejí spojitě jedna ve druhou bez výrazného rozhraní. Rozklad světla hranolem je způsoben tím, že se jednotlivá barevná světla šíří látkou hranolu různými rychlostmi (jenom ve vakuu se všechna barevná světla šíří stejnou rychlostí, v ostatních průhledných prostředích má červené světlo největší rychlost, nejmenší rychlost má světlo fialové). Rychlost světla v určitém průhledném prostředí závisí na jeho vlnové délce, neboli na jeho barvě. Bílé světlo, které je směsí různých barev, je světlo **polychromatické**. Barvy získané ve spektru jsou jednoduché (mají konstantní vlnovou délku), neboli **monochromatické** (tzv. jednobarevné). Nedají se již dále rozložit na jednodušší.

Skládání světla

Jevu, kdy se světelné vlny mohou vzájemně zesilovat nebo zeslabovat, říkáme skládání světla. Výsledek skládání závisí na rozdílů drah dvou koherentních paprsků. Můžeme snadno zjistit, že mýdlová bublina nebo tenoučká vrstva oleje na vodní hladině jsou zbarveny, dopadne-li na ně bílé světlo. Příčinou uvedeného jevu je skládání světla po odrazu na tenkých vrstvách.

Ohyb světla (difrakce)

Dopadá-li světlo na překážky, jejichž velikost je srovnatelná s vlnovou délkou dopadajícího světla, nešíří se přímočaře, ale rozbíhá se. Tento jev se nazývá ohyb světla. Světelné vlny se přitom v některých směrech zesilují a v jiných zase zeslabují.

Polarizované světlo

Světelný paprsek vysílaný přirozenými nebo umělými zdroji kmitá v různých rovinách, ale má pro všechny roviny jim proloženými stejné optické vlastnosti. Takové světlo není polarizováno. Za určitých okolností se může stát, že světlo kmitá jen v určité rovině. Pak říkáme, že je světlo polarizované. K polarizaci světla dochází odrazem, lomem a dvojlomem. Lidské oko nemůže bezprostředně rozeznávat rovinu polarizovaného světla. Včely, perločky, raci, mravenci apod. mají schopnost vnímat rozdíly v rovinách polarizovaného světla, jak bylo pokusně

prokázáno, a to jim slouží k orientaci. Některé látky jsou opticky aktivní, tj., stáčí rovinu polarizovaného světla. Jsou to většinou organické látky a stočení kmitové roviny polarizovaného světla je přímo úměrné koncentraci vyšetřovaného roztoku.

Odras a lom (reflexe a refrakce)

Světlo dopadající na rovinné rozhraní dvou rozdílných prostředí se zčásti odráží zpět do původního prostředí, tomuto jevu říkáme odraz světla. Úhel odrazu je roven úhlu dopadu a odražený paprsek zůstává v rovině dopadu.

Na rozhraní dvou prostředí se vždy odráží jenom část dopadajícího světla. Část světla prochází do druhého prostředí. Při průchodu světla z jednoho prostředí do druhého se na rozhraní obou prostředí mění jeho rychlost. Změna rychlosti světla působí lom světelného paprsku.

16.2 Viditelné světlo

V přírodě má viditelné světlo hlavní význam ve **fotosyntéze**, která je základním procesem, udržujícím život na Zemi. Při fotosyntéze se využívá energie slunečního záření k syntéze energeticky bohatých organických sloučenin (cukrů) z jednoduchých anorganických látek (oxidu uhličitého a vody).

U **živých organizmů** má světlo velký význam pro **mnoho životních funkcí** a pro jejich periodicitu (fotoperiodicita) krátkodobou i dlouhodobou. U člověka k tomu přistupují i psychické a vegetativní vlivy barev a intenzity světla.

Účinek viditelného světla je vzhledem k jeho energii omezen na **kůži** a **oko**. Poškození kůže viditelným světlem může nastat při zvýšené citlivosti kůže (fotosenzibilizace) při některých onemocněních a při podání některých léků. Oko může být poškozeno dlouhodobým opakovaným působením extrémně silného viditelného světla. Je ale nutno zdůraznit, že za normálních podmínek není poškození kůže a oči viditelným světlem reálné.

16.3 Teorie barevného vnímání

Na sítnici se nacházejí na světlo citlivé receptory: **tyčinky** (uplatňují se ve „večerním – černobilém“ vidění) a **čípky** (pro barevné vidění). Existují **3 druhy čípků**, z nich každý je maximálně citlivý na jednu barvu a na ostatní méně. První druh čípků je citlivý na červenou barvu, druhý druh receptorů je citlivý na zelenou barvu a třetí druh receptorů je citlivý na modrou barvu. Smíšením tří základních barev lze vytvořit jakoukoliv jinou barvu. Přítomnost tří různých fotoreceptorů v sítnici s citlivostí pro tři základní barvy podmiňuje trichromatické barevné vidění. Oko má rozdílnou citlivost na různé spektrální barvy, přes den (fotopické podmínky při adaptaci na světlo) je lidské oko nejcitlivější na žlutozelenou barvu (asi 555 nm), za šera (skotopické podmínky při adaptaci na tmu) na zelenomodré světlo (asi 510 nm).

Tyčinky nejsou citlivé na červenou barvu. Proto červené brýle propouštějí jen tu část světla, na kterou reagují pouze čípky, a tyčinky zůstávají adaptovány na tmu. Této skutečnosti se využívá tam, kde je třeba rychlé adaptace na tmu (rentgenologie, noční vojenské operace).

Schopnost barevného vidění mají pouze čípky, které k tomu potřebují určitou hladinu osvětlení. Při nižší hladině oko barvy nevnímá, jedná se o tzv. skotopické pásmo vidění. Barevné vidění se uskutečňuje ve fotopickém pásmu. Intenzita osvětlení, kdy fungují jak čípky, tak tyčinky, se nazývá mezopické pásmo.

16.4 Fyziologické a psychologické účinky barev, zrakové iluze

Rozvoj světelné techniky v posledních desetiletích vede ke stále intenzivnějšímu výzkumu vlivu světla na člověka. Sledují se zejména otázky spojené s fyziologií a psychologii.

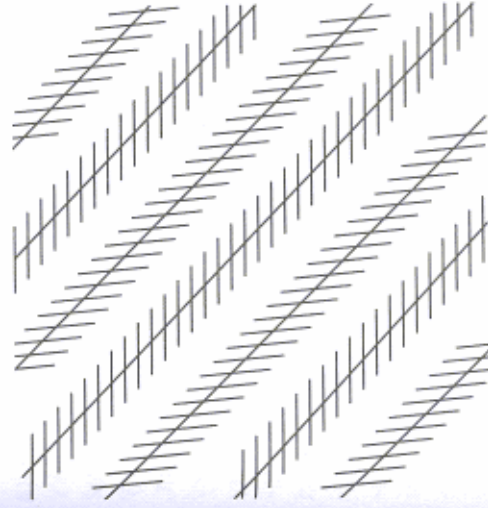
Z fyziologických metod se s úspěchem uplatňují metody sledování změn tlaku, tepové frekvence, dechové frekvence, sledování změn rovnováhy těla, elektromyografie a sledování evokovaných potenciálů. Při použití biochemických metod je sledován průběh biochemických funkcí v závislosti na osvětlení.

Otázce **psychologického** účinku světla na člověka je ve světě věnována velká pozornost. Použitím vhodných svítidel a vhodné barevné úpravy prostředí se dají vytvořit příznivé psychologické podmínky. Ty závisí také na intenzitě osvětlení, rovnoměrnosti jasů, na použitých barvách a také na oslnění, vlivu nadměrné teploty nebo hluku svítidel.

Zrakové iluze

Na realizaci zrakového vnímání se podílí optická soustava oka, na sítnici pak biochemické a elektrofyziologické pochody ve zrakové dráze. Zrakový vjem je vyhodnocen za spoluúčasti podkorových nervových center i mozkové kůry. Pozorováním okolí se vytváří zkušenost, která ovlivňuje naše vnímání. Celá řada zrakových klamů vzniká fyziologickým kontrastem. Například šedý proužek na bílém papíře se jeví tmavší než na černém papíře. Stejný jev pozorujeme i v barevném spektru – šedý proužek na červeném podkladě se jeví v doplňkové barvě, tedy zeleně. Velice důležitá je splynutí vjemů. Této vlastnosti vidění se využívá ve filmu nebo v televizi, kdy při střídání obrázků 25x za vteřinu máme vjem pohybu.

Zrakové iluze vznikají selháním normální funkce zraku za umělé navozených podmínek (obr. 32). K jednodušším typům patří nesprávný odhad délky nebo rozměru obrazce, například úsečky ležící rovnoběžně vedle sebe a křížící se. Mnohé iluze vznikají na základě interakce mezi pravidelnými vzory a obrazcem. Iluze ze jsou dokladem psychofyziologie vidění, které nemají reálný podklad. Vznikají percepčními procesy ve vyšších etážích zrakové dráhy.



Obr. 32 Heringova iluze vzniká při šikmém vyřřování okrajů rovnoběžek a vyvolává dojem sbíhání nebo rozbíhání čar

16.5 Zdravé oko, vady oka a korekce vad

Struktura oka je analogická struktuře fotoaparátu. Přední oční komora a oční čočka odpovídá objektivu fotoaparátu. Zornice má funkci clony. Zadní oční komora odpovídá komoře fotoaparátu a sítnice odpovídá fotografické emulzi na filmu či fotografické desce. Podobně jako u fotoaparátu se na sítnici promítá obraz pozorovaného předmětu.

Vytvoří-li oko bez umělé korekce (např. bez brýlí) ostrý obraz na sítnici, mluví se o zdravém (emetropickém) oku. **Emetropické oko** dospělého člověka při zachování všech svých funkcí má rozsah ostřejšího vidění od 25 cm do nekonečna. Při správném vidění **obrazem bodu je bod a obraz bodu vzniká na sítnici**. Aby byl obraz bez ohledu na vzdálenost předmětu od oka vždy ostrý, je nutné, aby čočka změnila své zakřivení. Čočka je zavěšena na ciliárním svalovém aparátu, který má schopnost mechanicky měnit zakřivení čočky, a tak měnit i optickou mohutnost. Tato vlastnost se nazývá **akomodací** oční čočky.

Pro každé oko lze definovat dva důležité body. **Bod vzdálený** (punctum remotum) je největší vzdálenost, ve které vidí oko ostře bez akomodace. Emetropické oko má tento bod v **nekonečnu**, takže zobrazuje na sítnici ostře předměty, z nichž vycházející paprsky dopadají do oka rovnoběžně. Teoreticky leží tento bod v nekonečnu. Právě tam umístíme bod vzdálený. **Ve skutečnosti** leží punctum remotum **ve vzdálenosti větší než 5 m**. Bylo zjištěno, že předměty v této vzdálenosti zobrazuje čočka v normálně zakřiveném stavu (bez akomodace) ostře. Vycházejí-li paprsky z předmětů umístěných blíže, vstupují do oka rozbíhavě a spojily by se až za sítnicí. Oko by vidělo takové předměty neostře. Aby se tyto předměty optickým systémem oka mohly zobrazit ostře, je nutno oko akomodovat, tzn., že čočka musí být více zakřivena. **Nejmenší vzdálenost** bodu, který může plně akomodované oko, tj. oko, v němž je čočka maximálně zakřivena, vidět ostře, je tzv. **blízký bod** (punctum proximum). Tento bod je nejblíže k oku u malých dětí (i méně než 10 cm) a s postupujícím věkem se od oka vzdaluje (v dospělosti je to 25 cm). Jakmile se vzdálí od oka do větší vzdálenosti než 25 cm (obvykle kolem 40. roku), což je **konvenční zraková vzdálenost** pro čtení, začne se tento fyziologický proces ve vyšším věku projevovat jako presbyopie. Pokles akomodačních schopností oka se nejdříve projevuje sníženou schopností zaostřit na blízké předměty, a tedy nutností pořídit si brýle na čtení.

Oko, které nezobrazuje obraz na sítnici, nebo nezobrazuje-li optický systém oka bodově (tj., místo bodu vznikají na sítnici plošky), se nazývá **oko ametropické**.

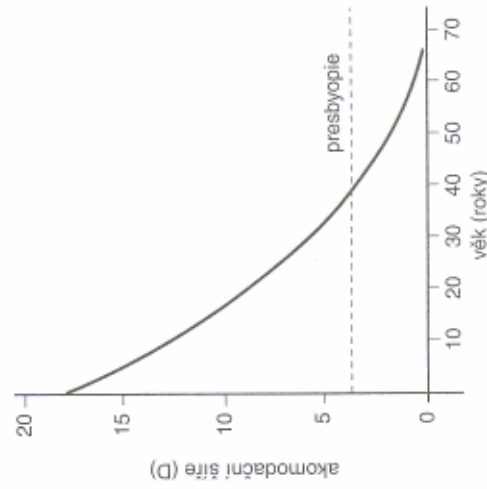
Zobrazení čočkami

Převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti f se nazývá optická mohutnost φ její jednotkou je dioptrie (D). **Dioptrie 1 D** je optická mohutnost čočky s ohniskovou vzdáleností 1 m:

$$\varphi = \frac{1}{f} \text{ (D)}$$

Stařecké vidění (presbyopie)

První vadou oka, o které se zmíníme, je presbyopie (stařecké vidění). Postihuje každé oko ve vyšším věku. Příčinou je postupný **pokles akomodační schopnosti čočky** v důsledku toho, že čočka ztrácí svou pružnost a již se dostatečně nezakříví. Tato schopnost akomodace poklesne kolem 40. roku života člověka pod 4 D, což vede ke vzdalování blízkého bodu do vzdálenosti větších než 25 cm. Takové oko se stává dalekozrakým, protože vidění do dálky zůstává neporušené. Čím je člověk starší, tím je blízký bod ve větší vzdálenosti od oka. Kolem 70 let života už není čočka schopna akomodovat vůbec (obr. 33).



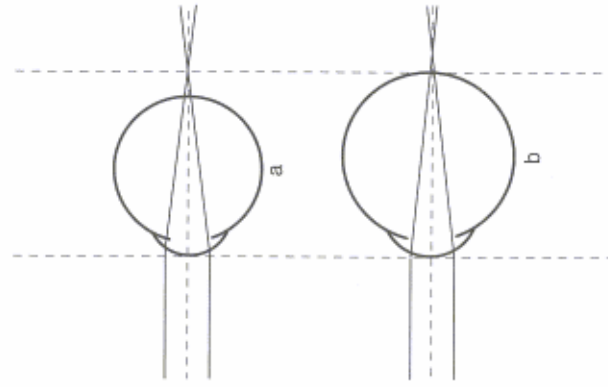
Obr. 33 Úbytek akomodační schopnosti s věkem

Korekce presbyopie: Postupná ztráta akomodační schopnosti oční čočky se nahrazuje spojnými čočkami, které nahrazují ztracenou akomodaci. Optická mohutnost korekčních čoček má být taková, aby oko bez námahy akomodovalo na vzdálenost 25–30 cm.

Krátkozrakost (myopie)

Jsou dvě příčiny, které vedou ke krátkozrakosti.

1. Oční koule je příliš dlouhá (je to vrozená vada, vysvětluje se kolísáním rozměru oka vzniklých v embryonálním vývoji) (obr. 34a.).
2. Oční koule má normální délku, ale větší lomivost optických prostředí. Tato příčina krátkozrakosti není tak častá (obr. 34b).



Obr. 34 *Osová (a – vzniká v důsledku většího rozměru oka) a lomivá (b – vzniká v důsledku větší lomivosti optických prostředí) krátkozrakost*

Pacient s krátkozrakostí si stěžuje, že nevidí ostře předměty v dálece, ale vidí ostře předměty i na kratší vzdálenost než lidé se zdravým zrakem. Je zřejmé, že vzdálený bod i bod blízký se posunuly blíže k oku. Obraz vzdálených předmětů se vytváří před sítnicí a na sítnici dopadá rozostřen.

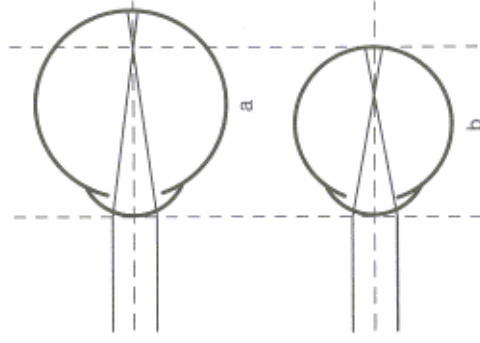
Korekce myopie: Protože vzdálený bod je u krátkozrakého oka blíže než v nekonečnu, je nutné dosáhnout toho, aby pomocí korekční čočky vidělo oko předměty v nekonečnu ostře bez akomodace. Je třeba umístit před vadné oko roz-

ptylku. Správnou korekci zabezpečuje rozptylka o nejmenší optické mohutnosti, při které vyšetřovaný vidí ostře do nekonečna.

Dalekozrakost (hypermetropie)

Na rozdíl od krátkozrakého oka, u dalekozrakého oka je:

1. Oční koule je příliš krátká (častější vada – vzniklá také v průběhu embryonálního vývoje) (obr. 35a),
2. Hypermetropické oko má menší lomivost optického systému než oko zdravé (obr. 35b).



Obr. 35 *Osová (a – vzniká v důsledku menšího rozměru oka) a lomivá (b – vzniká v důsledku menší lomivosti optických prostředí) dalekozrakost*

U dalekozrakého oka proto obraz vzniká až za sítnicí. Porucha ostrého vidění se neprojevuje při pohledu do dálky, projeví se však při pohledu do blízka. To proto, že dalekozraké oko se musí už při pohledu do dálky akomodovat jako při pohledu na blízko, takže pro vidění na blízko je již část akomodační schopnosti (akomodační šíře) spotřebována, to znamená, že pro vidění na blízko již lomivost nestačí.

Korekce hypermetropie: Tuto vadu korigujeme spojnou čočkou, se kterou oko vidí ještě ostře do nekonečna.

Astigmatismus

Tato vada oka se týká **nejčastěji rohovky**. Povrch rohovky je často v jednom směru (častěji ve svislém) více zakřiven než ve druhém směru (vodorovném).

Vzniká tak rozdíl lomivosti v obou rovinách, takže se bod zobrazí jako čárka. Je tomu tak proto, že pro paprsky procházející zakřivenější oblastí rohovky je ohnisko blíže k čočce než pro paprsky procházející méně zakřivenou oblastí. Je nutno připomenout, že každé lidské oko je astigmatické, ovšem jen nepatrně (0,25–0,5 D). Tento, tzv. fyziologický astigmatismus nevyžaduje korekci, protože je vyrovnáván oční čočkou.

Korekce astigmatismu: Principem korekce astigmatismu je snaha, aby optická mohutnost soustavy korekční čočka + astigmatické oko byla ve svislém i vodorovném směru stejná. Vadu korigujeme tzv. cylindrickými čočkami.

Barvoslepost

Na sítnici oka se nacházejí světlocitlivé elementy – čípky a tyčinky. Vnímání barev je funkcí čípků. Schopnost **správného vnímání barev** lidským okem se nazývá **barvocit**. Vadu, kdy člověk nerozlišuje určité barvy vůbec nebo jen nedokonalé, nazýváme barvoslepostí. Touto obvykle dědičnou vadou trpí asi 9 % mužů a asi 0,5 % žen. Úplnou barvoslepostí trpí jedinci, v jejichž sítnicích zcela chybějí mechanismy pro vnímání barev. Všechny barvy vnímají jen v odstínech šedé barvy jako na černobílé fotografii. Při částečné barvosleposti clybí mechanismy pro vnímání jedné ze základních barev.

Zdatnost barvocitu má význam například v městské dopravě, když postižení jedinci zaměňují barvy, to znamená, že špatně rozeznávají barevné signály (např. světla na semaforech).

Šeroslepost

Tyčinky v oční sítnici umožňují rozlišit intenzitu světla dopadajícího na sítnici. V tyčinkách se nachází barvivo rodopsin. Skládá se z bílkovinné části a z retinalu, což je v podstatě **vitamin A**. Při jeho nedostatku v potravě nebo při poruše jeho metabolismu se nevytváří dostatečné množství rodopsinu, vzniká tzv. šeroslepost, tj. zhoršená adaptace na tmu. Protože regenerace a novotvorba rodopsinu není možná bez přítomnosti vitamínu A, odstraňujeme šeroslepost dodáním zvýšeného množství vitamínu A do potravy.

Šedý zákal (katarakta)

Při šedém zákalu se snižuje průhlednost čočky. Často se čočka musí odstranit operačně. Nahrazuje se umělou čočkou s optickou mohutností nejméně + 15 D.

Zelený zákal (glaukom)

Komorová voda, produkovaná v oku řasnatým tělískem, využívá čočku a rohovku a neustálou tvorbou i odtokem udržuje nitrooční tlak na stálé výši. Při omezeném odtoku vzniká zvýšený nitrooční tlak (glaukom – zelený zákal), který se projevuje bolestmi v oku a poškozením sítnice. Terapeutickými opatřeními při akutním glaukomu jsou snížení produkce komorové vody a zúžení zornice pomocí léků.

16.6 Hygiena osvětlení pracoviště

Zrak je nejdůležitější a nejvyvíčenější smysl u člověka v přínosu informací. Zrakem vnímáme asi 75–90 % informací o okolním světě. Z toho vyplývá i význam světla a osvětlení pro současnou společnost a její civilizaci.

Činnost člověka je zaměřena stále více na řízení, kontrolu a regulaci chodu různých zařízení. Přitom narůstá složitost přístrojových desek, ovládacích panelů a pultů. Pozorování prostým okem nebo pomocí lupy či mikroskopu vyžaduje nejen dobrý stav zraku, ale i správné osvětlení. Proto se na celém světě zřizují laboratoře pro studium vlivu světla na fyziologické, biologické, biochemické a psychologické funkce organismu.

Světlo nepůsobí jenom na zrakové funkce, ale také na základní životní pochody organismu. Přibližně 24hodinové střídání světla a tmy upravuje vnitřní rytmy různých fyziologických a biologických funkcí organismu co nejlépe ke čtyřladvaceti hodinovým periodám.

Denní osvětlení

Prvotním zdrojem denního světla je Slunce. Jeho světlo dopadá na Zemi jednak jako přímé sluneční světlo, jednak rozptýlené atmosférou jako světlo z oblohy. (Bez atmosféry by byla obloha i ve dne temná.)

Denní světlo se některými vlastnostmi podstatně liší od světla umělého. Nejcharakterističtější v tomto směru je spektrální složení světla, podmiňené zdrojem světla, a zejména neustálá proměnlivost denního světla jak v intenzitě, tak ve spektrálním složení.

Je důležité, aby se dobře osvětlená část vnitřního prostoru v blízkosti osvětlovacích otvorů vyhradila pro zrakově náročné činnosti a zbytek prostoru se využívá pro činnosti méně náročné.

Umělé osvětlení

Historie umělého osvětlení je stejně stará jako dějiny lidstva. Ohniště a uhlíky nalézáme na sídlišťích všech vývojových stadií lidstva. Protože nálezy pocházejí i z konce třetího, tj. tepleho období, domníváme se, že oheň sloužil hlavně jako zdroj světla v noční temnotě a teprve v druhé řadě jako zdroj tepla.

Prakticky použitelné žárovky se začaly uplatňovat okolo roku 1880. Halogenové žárovky se na trhu objevily počátkem šedesátých let 20. století. Při výběru umělého osvětlení se uplatňují tyto hlavní činitele: zrakový výkon (schopnost oka rozlišovat kontrasty), zraková pohoda, ekonomie.

Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení, tj. současné osvětlení denním a doplňujícím umělým světlem, se v různých formách používá již delší dobu.

Při dostatečném podílu denního osvětlení se uplatňuje stimulační účinek jeho dynamiky a příznivé spektrální složení, proto je sdružené osvětlení pro člověka příznivější než osvětlení pouze umělé. Podle výzkumu by měl být zachován poměr míšení denního a umělého světla nejméně 1:1.

V zásadě by zdroje doplňujícího umělého osvětlení měly mít spektrální složení světla co nejvíce se blíží světlu dennímu. Podle dosavadních výsledků pokusů se běžných zdrojů při osvětlování místností jako nejhodnější ukázaly bílé zářivky, u žárovek byly výsledky testů podstatně méně příznivé. Rozdíly byly nejen při testech s rozlišováním různých barevných odstínů, ale také v oblasti zrakového výkonu, v počtu chyb, stupni únavy a v okamžité zrakové adaptaci. Žárovky se jako zdroj trvalého doplňujícího umělého osvětlení nehodí, působí proti dennímu světlu rušivě a jsou málo hospodárné.

Sezonní deprese

Na podzim začíná také v našich zeměpisných šířkách (v literatuře se uvádí, že lidé ze severovýchodních krajů jsou více ohroženi depresí než obyvatelé krajů jižních) depresivní sezona. Na území naší republiky trvá zhruba 5 měsíců a je způsobena nedostatkem slunečního světla. Mnoho lidí trpí únavou, pokleslou náladou, depresí. K příznakům patří také ospalost přes den, únava a snížená schopnost soustředění. Sezonní deprese postihuje dospělá a je čtyřikrát častější u žen než u mužů.

Nejnovější výzkumy naznačují, že sezonní deprese je součástí naší genetiké výbavy, jakousi atavistickou formou hibernace. Projevy sezonní deprese se podstatně liší od klinických depresí, při nichž lidé ztrácejí chuť k jídlu, hubnou a mají problémy se spaním. Sezonní deprese se projevuje úplně opačně. Lidé jedí a tloustnou. Jako by si vytvářeli tukové zásoby na dlouhý zimní spánek.

Ukazuje se, že světlo má významný vliv na biochemické pochody mozku, na tvorbu určitých neuromediátorů. Velký význam má též cirkadiální rytmus a v současnosti je v psychiatrii k léčbě depresí s velkým úspěchem využívána světelná fototerapie ostrým světlem.

16.7 Přístroje a zařízení využívající optické metody

Zdravé oko rozliší dva body, vzdálené od sebe 0,2 mm. **Světelné mikroskopy** se využívají k zobrazení struktur, které nejsou okem viditelné.

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

Osvětlovací soustava slouží k osvětlení preparátu. Preparát (nejčastěji je připraven na podložním skle) je prosvětlován a musí být částečně průhledný. Většinou se používá spojné optické soustavy (kolektor a kondenzor), která zlepšuje kvalitu osvětlení preparátu. Osvětlovací soustava v dopadajícím světle se používá pro neprůhledné vzorky nebo pro studium povrchů. Světlo dopadá na preparát z téže strany, ze které je pozorován.

Důležitým optickým prvkem světelného mikroskopu je objektiv. Podle prostředí, které je mezi preparátem a objektivem, dělíme objektivy na suché a imerzní. Světlo z osvětlovací soustavy prochází preparátem a vstupuje do objektivu. Obraz předmětu je po zobrazení objektivem převrácený, skutečný a zvětšený.

Pokud je mezi preparátem a objektivem $n=1$ (vzduch), platí zde podmínky pro lom světla z prostředí opticky hustšího do opticky řidšího a průvodním jevem totálního odrazu. V těchto případech je imerze jediným řešením, jak docílit vysoké rozlišení. Prostor mezi krycím sklem a objektivem se vyplňuje kapalinou o velkém indexu lomu (voda, cedrový olej, monobromnaftalen apod.).

Vzniklý obraz pak pozorujeme okulárem jako lupou. Výsledný obraz ve světelném mikroskopu pozorovaný okem je zvětšený a převrácený.

Vztah pro zvětšení mikroskopu lze odvodit ze zákonů geometrické optiky. V praxi lze celkové zvětšení mikroskopu vypočítat pouhým vynásobením újdů o zvětšení na objektivu a na okuláru. Zvětšení je na těchto optických prvcích vždy uvedeno. Maximální užitečné zvětšení světelného mikroskopu je 1500–2000. Tvorbu obrazu je třeba chápat nejen na podkladě geometrické optiky, ale rovněž z hlediska vlnové optiky.

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

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

Mikroskopie atomárních sil patří do skupiny metod tzv. sondové mikroskopie. Obraz povrchu vzorku je snímán po jednotlivých řádcích sondou upevněnou na piezoelektrickém polohovacím zařízení. Sondová mikroskopie má řadu předností, kterých nelze dosáhnout jakoukoliv jinou metodou. Je možné dosáhnout až miliardová zvětšení, umožňující přímé zobrazení jednotlivých atomů na povrchu. Obrazy jsou třírozměrné, je možné zobrazování v přirozených podmínkách a v různých prostředích, jako je vzduch, kapalina nebo vakuum. Pomocí sondové mikroskopie jsou možná měření fyzikálních nebo chemických vlastností povrchů při extrémně vysokém prostorovém rozlišení. Její velkou výhodou je schopnost vytvářet obrazy v libovolném prostředí, což je důležité například při analýze buněk a biomolekul.

Endoskopy

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

Starší endoskopy představovaly neohebné kovové trubice (rigidní endoskopy), ve kterých byl optický systém tvořen objektivem, okulárem a převáděcí soustavou. Aby byla zachována stranová věrnost obrazu, musel být počet převáděcích soustav liché. Vyšetřovaný objekt byl samozřejmě osvětlen; k tomu se používaly miniaturní žárovky umístěné na konci přístroje vzdáleném od oka. V současné době se rigidní endoskopy používají již ojediněle. Jedná se o rektoskopii, artroskopii a spíše ojediněle i v bronchoskopii.

Nové typy se používají k osvětlení vnější zdroje velmi intenzivního světla, které je přiváděno na sledované místo pomocí optických vláken. Spojením velkého počtu tenkých vláken do svazku získáme ohebný optický systém, kterým lze přenášet světelné paprsky. Přenáší světlo od zdroje, který je umístěn mimo pacienta, a zároveň přenáší obraz vyšetřovaného místa do okuláru. Kvalita obrazu je dána počtem vláken na jednotku plochy svazku, proto se používá 20 000–30 000 vláken.

Moderní endoskopy umožňují pomocí videokamery nebo fotografického přístroje zaznamenat sledovanou oblast, čehož se dá využít k pozorování průběhu chorobného procesu. Endoskopy jsou na vzdáleném konci často vybaveny zařízeními, která umožňují provést odběr tkáně z pozorované oblasti, nebo i místně provádět chirurgický zákrok (elektrokauter, drtiče kamenů, laser k zprůchodnění uzavřených dutin).

Základní myšlenkou vláknové optiky je přenos světla na větší vzdálenost bez použití složitějšího systému čoček. Toho můžeme dosáhnout využitím úplného odrazu uvnitř tenkého vlákna.

Paprsek světla, který se lomí do druhého prostředí, mění na rozhraní svůj směr. Přichází-li paprsek z prostředí opticky hustšího (s větším indexem lomu) do prostředí opticky řidšího (s menším indexem lomu), láme se od kolmice. Při dostatečně velkém úhlu dopadu, větším než mezní úhel, nastává úplný odraz světla. Nedochází k lomu paprsku, pouze k jeho odrazu. Na tomto principu je vedeno světlo ve světlovodících, používaných v endoskopech.

Částí endoskopickými vyšetřeními pomocí tzv. gastroskopů jsou vyšetřeni žaludku, obzvláště při podezření na rakovinu žaludku. Duodenoskop se využívá při diagnostice dvanáctníkových vředů. Indikací k použití rektoskopu, kdy vyšetřujeme konečník, je každé krvácení, podezření na zánětlivé změny, nádory a polypy. Pomocí laparoskopu můžeme vyšetřovat povrch jater, žlučník, slezinu apod.

Metody optické spektroskopie

Některé látky vyzářují (emitují) záření o určitých vlnových délkách (emisní spektrum), nebo pohlcují (absorbují) záření určitých vlnových délek (absorpční spektrum). Vyzářované nebo pohlcované záření můžeme sledovat.

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

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

Kolorimetrie jako optická metoda chemické analýzy

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

Z hlediska optiky může být prostředí rozděleno na propustné a nepropustné. Propustné prostředí dělíme na průhledné a neprůhledné. Průhledné prostředí světlo prakticky nerozptyluje. Proto můžeme průhlednou látkou bez potíží pozorovat i podrobnosti sledovaného předmětu. Neprůhledné prostředí sice propouští světlo, ale je to prostředí rozptylující, takže předměty, které jsou pozorovány přes toto prostředí, nejsou vidět ostře.

Při průchodu světla látkou dochází k jeho rozptylu a část světla se v látce pohlcuje, tím dochází k postupnému snižování jeho intenzity. Každá průhledná látka absorbuje obvykle některé oblasti elektromagnetického vlnění. Roztoky některých látek jsou zbarvené, to znamená, že absorbují světlo určitých vlnových délek viditelného spektra.

Projde-li světlo intenzity I_0 vrstvou sledované látky, zeslabí se absorpcí tak, že intenzita prošlého světla I bude dána stejným vztahem, jaký je popisován i pro jiné druhy elektromagnetického vlnění (Lambertův zákon):

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

kde I je intenzita vystupujícího světla, I_0 je intenzita dopadajícího světla, e je základ přirozeného logaritmu, μ je absorpční koeficient, d je tloušťka vrstvy sledované látky.

Poměr intenzity světla vystupujícího z roztoku k intenzitě světla vstupujícího do roztoku se nazývá **propustnost**.

A. Beer odvodil, že absorpční koeficient je úměrný koncentraci c absorbující látky $\mu = a \cdot c$, kde a je tzv. molární extinkční koeficient.

Lambertův zákon lze přepsat s uvážením, že platí pro monochromatické světlo (tj. pro určitou vlnovou délku elektromagnetického vlnění):

$$I = I_0 e^{-a \cdot c \cdot d}.$$

Takto formulovaný zákon se nazývá zákon Lambert-Beerův, platí pro zředěné roztoky. Poměr I_0/I je mírou absorpce světla a jeho záporný přirozený logaritmus se nazývá extinkce E :

$$E = -\lg \frac{I}{I_0} = a \cdot c \cdot d.$$

Extinkce (absorbance) je přímo úměrná tloušťce sledované látky a její koncentraci. Při konstantní tloušťce je přímo úměrná koncentraci, při konstantní koncentraci je přímo úměrná tloušťce vrstvy.

Z uvedených zákonitostí vycházejí i níže popisované přístroje. Základem všech těchto kolorimetrů je Lambert-Beerův zákon, který říká, že absorpce světla je přímo úměrná tloušťce absorbující vrstvy a koncentraci, tj. množství molekul nacházejících se v cestě světla.

Subjektivní (vizuální) kolorimetrie

Nejjednodušším subjektivním kolorimetrem je řada stejných zkumavek nebo kyvet. Tyto nádoby naplníme roztoky se známou stoupající koncentrací té látky, jejíž koncentraci chceme zjistit. Zkoušeným roztokem naplníme pak jednu z nádobek a hledáme, který člen řady standardních roztoků odpovídá svým zbarvením roztoku neznámé koncentrace. Jsou-li roztoky stejně zbarveny, mají také stejnou koncentraci. Pozorujeme-li obsah nádobek shora, musí být nádoby naplněny do stejné výše, protože absorbance je přímo úměrná tloušťce vrstvy.

Protože příprava standardních srovnávacích roztoků je nepohodlná a někdy jsou tyto roztoky i nestálé, nahrazují se barevnými skly, nazývanými komparátory, které jsou barevně přesnými kopii standardních roztoků při určité tloušťce vrstvy.

Zjišťují-li se rozdíly intenzity prošlého světla okem, je zřejmé, že čím bude vyšší koncentrace roztoku, tím je situace výhodnější pro subjektivní zjišťování.

Objektivní kolorimetrie

Mezi objektivní kolorimetry patří např. spektrofotometry. Jsou to zařízení, která umožňují nalézt závislost absorpce daného roztoku na vlnové délce záření (tzv. absorpční spektrum) a stanovit koncentraci roztoků při vlnové délce s největší absorpcí. Spektrofotometry obsahují zdroj monochromatického světla s nastavitelnou vlnovou délkou a fotodetektor a lze odečíst propustnost nebo absorpci v závislosti na vlnové délce světla, procházejícího kyvetou s měřeným roztokem. Čím více je absorpce světla daným roztokem výběrová, tím přesněji nutno dodržovat monochromatickost použitého světla.

Spektrofluorimetrie

Spektrofluorimetrie je metoda založená na jevu, že látky (částice, atomy, molekuly) se po vybuzení vracejí do svého základního stavu a přitom emitují záření. Tomuto jevu říkáme fluorescence, trvá krátkou dobu po skončení buzení (10^{-8} s). Spektrofluorimetrie se používá k měření koncentrace fluoreskujících látek.

V ultrafialové oblasti vykazují fluorescence mitochondrie a jádérka, dále aromatické aminokyseliny a fenylalanin v bílkovinách. Vitamin A má intenzivní fluorescence ve 480 nm a toho lze využít k jeho identifikaci ve tkáních. Červená fluorescence je vázána na přítomnost porfyrinů v buňkách (cytochromy, peroxidáza, hemoglobin, myoglobin). Při studiu vlastností struktur, které nevykazují vlastní luminescenci, se používá tzv. fluorescenčních sond, kdy se naváže původně nefluoreskující látka na sérový albumin, na bílkoviny nebo na biologické membrány, kde se stává intenzivně fluoreskující. Pro studium nukleových kyselin se používá např. ethidium bromid. Těchto metod lze využít pro studium konformace bílkovin, tloušťky membrán, membránového potenciálu apod.

Laserová spektroskopie

V moderních aparaturách absorpční a emisní spektroskopie jsou často klasické zdroje záření nahrazovány lasery, a tím se zvyšuje spektrální rozlišení.

Polarimetrie

Polarimetrie je metoda, která využívá jevu, že opticky aktivní látky stáčí rovinu polarizovaného světla. Měří se úhel stočení roviny polarizace polarizovaného světla po průchodu vzorkem. Výsledkem je výpočet koncentrace těchto opticky aktivních látek. Optická aktivita se obvykle vyskytuje u látek s chirálními molekulami (každá vazba je obsazena jiným substituentem) nebo u anizotropních krystalických látek.

Nefelometrie a turbidimetrie

Obě metody se používají pro analytické stanovení koncentrace látek (disperzí) v kapalinách. Využívají jevu, že optické záření se na heterogenních částicích v koloidních roztocích rozptyluje. Prochází-li světlo zakaleným prostředím, pak se na malých částicích ohýbá a rozptyluje, a tím se stává cesta světelného svazku viditelnou. Nefelometrie měří světlo rozptýlené, které opouští měřenou látku ve směru odlišném od směru dopadu. Na podobném principu je založena i turbidimetrie, která měří poměr intenzit světla rozptýleného disperzí k intenzitě světla, které na disperzní látku dopadá.

Metody se využívají velmi často v imunologii například ke stanovení albuminu a imunoglobulinů.

Refraktometrie

Refraktometrie je metoda pro měření indexu lomu pevných, kapalných i plynných látek. Index lomu je charakteristickou veličinou látek, je znakem jejich čistoty a lze určit i jejich koncentraci, na které index lomu závisí.

16.8 Ultrafialové záření (UV)

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

Přírozeným zdrojem ultrafialového záření je **slunce**. Kolik UV záření dopadá na zemský povrch, závisí na **ročním období** (v letním období dopadá na zemský povrch asi 3x větší množství UV záření než v zimě, výrazný rozdíl je zejména v UV-B složce, které je v létě nejméně 10x více než v zimních měsících; citlivost kůže na UV ozáření je největší v květnu, nejmenší v říjnu), **denní době** (intenzita UV záření dosahuje maxima v době, kdy je slunce nejvýše na obloze, kdy nám září přímo nad hlavou, v zimě je to ve 12 hodin, v létě ve 13 hodin), **nadmořské výšce** (na každých 1000 m nadmořské výšky se zvyšuje množství záření UV-A asi o 5 %, UV-B asi o 15 % proti nulové nadmořské výšce; to stačí ke spalení kůže i v zimě, čerstvý sníh také odráží významné procento UV záření, které na něj dopadne, čímž významně zvyšuje množství UV paprsků dopadajících na nechráněné tváře lyžařů (je proto nutné chránit ochranným krémem i rty).

Umělé zdroje UV záření

Rtuťové vysokotlakové výbojky (horské slunce). Zdrojem UV záření jsou rozžhavené páry rtuti uzavřené v trubici z křemenného skla. Plný zářivý výkon je dosažen až po 5 minutách.

Nízkotlakové rtuťové výbojky mají menší výkon. Vyzárají na vlnové délce 253,7 nm. Letální dávky se pro jednotlivé druhy mikroorganizmů pohybují v širokém rozsahu dávek UV záření. Nejvyšší nacházíme u spor bakterií, spor plísní a polio virů. Jejich hodnoty jsou asi pětinásobkem letálních dávek vegetativních forem ostatních mikroorganizmů. Pro svůj specifický účinek na *Pneumocystis carinii* se používají na novorozeneckých odděleních při prevenci intersticiálních pneumonií.

Kromayerova lampa je vysokotlaková vodou chlazená rtuťová výbojka. Záření vychází křemenným okénkem, které přitlačíme na kůži, čímž dosahujeme výrazné místní ozáření. Používáme ji k léčbě kožních onemocnění.

Speciální výbojky slouží k ozáření laryngu, tělních dutin, případně krve, kterou pak reinfuzí vracíme pacientovi.

Nejdůležitějším z umělých zdrojů je pro rozsah svého využívání ke svařování kovů elektrický oblouk. Výkon UV záření oblouku roste úměrně s intenzitou proudu přiváděného do elektrody. Emise záření a její spektrální rozložení jsou dále ovlivňovány dalšími faktory, např. složením elektrody. Nejvýkonnějším zdrojem UV je plazmový hořák užívaný hlavně k řezání kovů, svařování, nanášení těžko tavitelných keramických materiálů na povrch kovů aj. Z dalších zdrojů UV, které mohou být příčinou pracovní expozice, jsou také výše popsané výbojky užívané k léčebným a kosmetickým účelům, k prostorové dezinfekci a k jiným účelům.

UV záření a jeho účinky

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

Biologické účinky UV záření se nejvíce projevují **na kůži**. Základním projevem je **zčervenání kůže** (erytém) s následnou pigmentací – **zhněnutím kůže**. Erytém se objevuje za 1 až 3 hodiny po expozici UV záření, maximum je asi za 24 hodin po ozáření kůže. Vlnové délky UV záření, uplatňující se při vzniku erytému, jsou kolem 254 nm a 294 nm. Současně

infračervené záření (ve slunečním záření) zvyšuje účinek UV záření, a tím se zvyšuje i citlivost kůže k ultrafialovému záření.

Pigmentace je **obránná reakce organismu**, vzniká i po zčervenání a je způsobena novotvořením melaninu v pigmentových buňkách kůže. Vytvořený pigment brání pronikání UV záření do hlubších vrstev kůže.

Účinek ochranných krémů je **preventivní**, spočívá v tom, že pohlcují erytémovou složku UV záření, zatímco pigmentaci neovlivňují a zvyšují tak odolnost kůže.

Při dlouhotrvajícím působení UV záření na kůži může jeho předávkování vést až k **popáleninám kůže**, mohou vznikat i puchýře a edém. Při větším rozsahu postižení se vyskytují celkové příznaky jako horečka a zvracení. **Chronické působení** UV záření na kůži se může projevit suchostí kůže, pigmentovými skvrnami, tvorbou vrásek, předčasným stárnutím kůže a celého organismu až vznikem nádoru kůže.

Maligní melanom je nejzhoubnější nádor kůže. V České republice jím ročně onemocní přibližně 1500 lidí a 300 na něj zemře. Za 30 let vzrostl výskyt tohoto nádoru 5x, a to je rozhodně varující. Dvě třetiny nádorů kůže mají podle dermatologů přímou souvislost s opalováním. Cílené opalování je nezdravé. Ze 60 tisíc ročně diagnostikovaných zhoubných nádorů je 12 000 nádorů kůže, z toho právě 1500 nejzhoubnějších, tedy melanomu. Jedno nebo dvě pořádná spálení až do puchýřků za život poškozují kůži natolik, že přirozená obranná schopnost pokožky se vážně naruší. Nedoporučuje se slunění ani solária. Ta podle Světové zdravotnické organizace jsou zdraví škodlivá.

Působení UV záření na oči může vést po 30 minutách až 24 hodinách k **zánětu spojivek i rohovky**, který je provázený zpravidla zánětlivou reakcí kůže očních víček a kůže obličje. Příznaky mizí bez následků během 48 hodin. Po dlouhodobém působení vzniká katarakta (šedý zákal oční čočky). Proto je nutné při použití UV zářičů a baktericidních zářivek chránit oči. V létě je proto vhodné nosit ochranné brýle (sklo nepropouští UV záření).

Z pozitivních účinků UV záření lze uvést, že vlnové délky pod 300 nm způsobují vznik vitamínu D. Ten se ukládá do kůže, jater, mozku a kostí. Účinně řídí metabolismus vápníku a podporuje vstřebávání vápníku ve střevě, ukládání vápníku do kostí a reguluje dynamickou přestavbu kostí. Proto se UV záření těchto vlnových délek využívá v léčbě a prevenci křivice, která je způsobena nedostatkem vitamínu D. Pokud je expozice UV

záření nedostatečná, musí být vitamín D podáván perorálně. UV záření se užívá také k léčbě špatně se hojících ran a vředů a u některých kožních onemocnění. V oblasti 254 nm má největší účinky baktericidní. Hlavní mechanismus účinku UV záření spočívá ve změnách DNA, která absorbuje záření těchto vlnových délek. Baktericidní zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky a užívají se tam, kde je nutno chránit ovzduší před bakteriemi. Zdroje UV záření se používají i ke sterilizaci ovzduší, například v místnostech transfuzních stanic, v dětských jeslích, chirurgických sálech, vědeckých institucích apod.

Zkoumá se vliv autotransfuze krve ozařené ultrafialovými paprsky na průběh různých onemocnění. Jsou to například zánětlivá onemocnění, flegmony, peritonidy, psoriáza, chronické ekzémy, asthma bronchiale apod. Výsledky jsou velice uspokojivé.

Člověk by měl vědět co možná nejvíce o **možnostech ochrany**. Před sluncem se můžeme chránit brýlemi s UV filtrem, oděvem a každý by si měl pečlivě vybrat krém na opalování (podle typu své kůže) (tab. 10). Nejčastějším zdravotním problémem vznikajícím z nadměrného oslunění je zánět kůže doprovázený erytémem (zrudnutí). Efektivní UV dávka, po jejímž překročení pokožka začíná rudnout, se nazývá „**minimální erytémová dávka**“ a označuje se jako 1 MED. Vzhledem k tomu, že každý člověk má více či méně různou citlivost své pokožky, liší se i jeho MED. Kvalita aplikovaných krémů na opalování je udávána hodnotou SPF (sun protecting factor – faktor sluneční ochrany), který má hodnoty od 4 až do 100. SPF nám udává, kolikrát je prodloužena doba MED (minimální erytémová dávka), tj. čas strávený na poledním slunci, než dojde ke zčervenání kůže.

Absolutní ochrana před UV zářením neexistuje a jsou skupiny osob, které by měly svůj pobyt na slunci minimalizovat. Kojence před sluncem chráníme a děti do tří let by měly být na slunci jen minimálně.

Pro ozařování UV světlem nejsou zatím k dispozici žádné státní normy. Objektívni dozimetrie je ztížena především rozdíly v individuální vnímavosti, ale i změnami spektra zářičů při jejich opotřebení. O účinku UV rozhoduje dávka záření ($J \cdot cm^{-2}$), kterou lze vypočítat z intenzity záření a doby expozice. Osvědčilo se určování prahové erytémové dávky. Doporučené limity pro solária pro UV-A spektrum jsou asi 10–15 $mW \cdot cm^{-2}$, pro UV-B se pohybují v stovkách $\mu W \cdot cm^{-2}$. Spektrum UV-C se nesmí v solářiích nacházet. Monitorování expozice UV se

u nás rutinně neprovádí. Nejsou také stanoveny pro UV záření nejvyšší přípustné hodnoty.

Tab. 10 *Typy kůže a jejich reakce na sluneční záření*

| <i>Typ kůže</i> | <i>reakce na slunění</i> | <i>ochranná reakce kůže</i> | <i>možný čas pro první expozici bez reakce (v min)</i> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| I. (pleť nápadně světlá, pily husté, vlasy rezavé, oči modré, zřídka hnědé) keltský typ (2 %) | vždy – těžká | žádná červená kůže bez pigmentace, za 1–2 dny se loupe | 3–10 |
| II. (pleť trochu tmavší než I., pily řídké, vlasy blond až hnědé, oči modré, zelené, šedé) Evropan se světlou pleť (12 %) | vždy – silná | velmi slabá pigmentace, kůže se loupe | 10–20 |
| III. (pleť světle hnědá, pily žádné, vlasy tmavě blond až hnědé, oči šedé a hnědé, pigmentové névy hnědé) Evropan s tmavou kůží (78 %) | zřídka – mírná | průměrná reakce s pigmentací | 20–30 |
| IV. (pleť světle hnědá, olivová, pily žádné, pigmentové névy tmavé, vlasy tmavé, oči tmavé) středomořský typ (8 %) | téměř nikdy | rychlá reakce, hluboká pigmentace | 40 minut |

16.9 Infračervené záření (IR)

Patří mezi příčné elektromagnetické vlnění, má delší vlnové délky než viditelné světlo a vzniká jako důsledek vibrací a rotací atomů a molekul.

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

Přirozeným zdrojem je Slunce, umělým zdrojem například solux, topná tělesa, člověk apod. Vysílané elektromagnetické vlnění má **tepelný účinek**, který vzniká rozkmitáním molekul absorbující látky (např. tkáně) a dodáním vibrační a rotační energie, která se projeví zvýšením teploty absorbující látky (např. tkáně). Tepelná energie absorbovaná ve tkáni se projeví vazodilatací (rozšířením cév v pokožce) a vznikem erytému (zčervenání). Účinek infračerveného záření je **místní** (v místě působení záření) a **reflexní**, zasahující do vzdálenějších oblastí cestou přenosu tepla. Práh bolesti pro zahřívanou kůži je 45 °C. Dlouhodobá expozice oka může vyvolat šedý zákal oční čočky.

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

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

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

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

Biologické účinky infračerveného záření jsou pouze **tepelného charakteru**. Hluběji proniká do tkáni jenom IR-A (obsažené ve slunečním záření), a to do podkoží, ovšem již v hloubce 1 cm je jeho účinek minimální. Ostatní typy IR záření se pohlcují už v pokožce. Brzy po začátku ozařování kůže IR zářením dochází v prohřívané tkáni ke zvýšení teploty, to vede k rozšíření kapilár a vzniku tzv. **tepelného erytému**. Na rozdíl od erytému způsobeného UV zářením, erytém způsobený IR zářením po přerušení ozařování vymizí. Kromě **místního účinku** se uplatňuje i **účinek reflexní**, zasahující do vzdálenějších oblastí. Teplo je krevním proudem rychle distribuováno, takže teplota se zvýší v jednotlivých vrstvách tkáni jen nepatrně. IR-B a IR-C jsou úplně pohlceny již v hloubce 0,1 mm. Proto při použití těchto oblastí infračerveného záření se zahřívá pouze povrchová vrstva kůže, která neobsahuje cévy, jež přispívají k distribuci tepla vzniklého v hlubších vrstvách kůže působením IR-A. V povrchové vrstvě kůže se nacházejí čidla pro bolest a teplotu. Čidla pro bolest reagují, přesáhne-li teplota 44 °C. Proto působí IR-B a IR-C bolestivě při nižších dávkách než

17 Biomechanika, deformace pevného tělesa a její význam ve zdravotnictví

Mechanika je nauka o pohybech těles a o příčinách vyvolávajících jejich pohyb – silách.

$$v = \frac{s}{t},$$

kde v je rychlost pohybu, s je dráha a t je čas, jednotkou je $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$F = m \cdot a,$$

kde F je síla, m je hmotnost tělesa, a je zrychlení, jednotkou je N (Newton).

Biomechanika je věda, která se zabývá mechanickou strukturou, mechanickým chováním a mechanickými vlastnostmi živých organismů a jeho částí a mechanickými interakcemi mezi nimi a vnějším okolím. Mechanické vlastnosti živých tkání jsou rozdílné od vlastností pevných látek. Ale i v živých tkáních kromě **pevnosti**, která charakterizuje strukturní odolnost látky vůči působení vnější síly, jsou důležitými vlastnostmi **pružnost**, **roztáhnutost** a **tvárnost**.

Dynamickou vlastností je vazkost (viskozita), která se během deformaceního děje projevuje jako odpor proti změně tvaru deformované tkáně nebo orgánu. U jednotlivých živých tkání se tyto vlastnosti projevují v různém stupni.

Biomechanika člověka je obor studující strukturu, vlastnosti chování člověka a jeho biomechanické interakce na úrovni **makrobiomechaniky** (rozeznává orgány, orgánové struktury a anatomicky ohraničené tkáňové komponenty a jejich vzájemnou mechanickou interakci, např. pohyb v loketním kloubu a jeho zajištění kooperující svalovou skupinou) a **mikrobiomechaniky** (rozeznává jednotlivé buňky, buněčné komplexy, mezibuněčné komponenty a jejich vzájemnou komunikaci, např. mechanickou interakci mezi aktinem a myosinem v průběhu svalové kontrakce).

IR-A, které proniká hlouběji a nepůsobí tolik na povrchovou vrstvu kůže obsahující čidla pro bolest.

Nepříznivý účinek infračerveného záření se u člověka projevuje při dlouhodobém působení IR záření, například u sklářů, topičů, hutníků apod. Oční čočka pohlcuje téměř všechno dopadající infračervené záření a může se vytvořit tzv. šedý zákal čočky. Ochranné brýle chrání jen částečně.

Účinky IR na organizmus

Nepříznivý účinek infračerveného záření se u člověka projevuje pocitem velkého tepla a pálení. Jednorázová vysoká expozice krátkovlnného IR-A na kůži může způsobit až typické spáleniny, které se však prakticky nevyskytují, neboť bolest v místě ohřátí tkáně vede k úhybné reakci.

Z obdobných důvodů se nevyskytuje jako důsledek expozice oka intenzivnímu IR akutní tepelné poškození rohovky. Záření o kratších vlnových délkách, pronikající do oka v závislosti na vlnové délce, je absorbováno v duhovce, čočce nebo v sítnici, kde vyvolává ohřátí, až tepelné poškození tkáně. Pozdním důsledkem expozice oka IR může být katarakta. Onemocnění se častěji vyskytovalo jako nemoc z povolání u sklářů pracujících se sklovinou o teplotě cca 1500 °C a též u jiných profesí, topičů, hutníků apod. Mechanizmus vzniku onemocnění není do všech podrobností znám. Experimentálně je prokázáno, že pro jeho vznik a rozvoj je potřebná současná vysoká expozice oka světlu a IR. Působením světla se stáhne zornice a zvětší se plocha duhovky. Ta absorbuje více infračerveného záření a zahřívá se. Od duhovky se zahřívá čočka, ta pohlcuje téměř všechno infračervené záření a může se vytvořit tzv. šedý zákal čočky. Ochranné brýle chrání jen částečně. Nejvyšší přípustné hodnoty IR nejsou u nás dosud stanoveny.

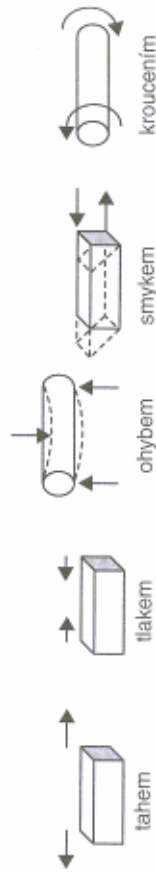
Ochrana pracovníků

Ochrana pracovníků před nadměrnou zátěží IR spočívá zejména ve stínění zdrojů vhodnými clonami a jejich zakrytí izolačními materiály. Pokud nelze docílit účinné stínění nebo zdrojem záření je zpracovávaný materiál, jsou náhradními opatřeními k ochraně kůže ochranné obleky s různými doplňky, zhotovované z izolačních materiálů, eventuálně z povrchově pokovených vláken. Oči se chrání ochrannými brýlemi. Na exponovaných pracovištích se zřizují vzduchové sprchy, které ochlazují povrch kůže.

17.1 Biomechanické funkce kostí, kloubů a šlach

Oporou těla nejen člověka, ale všech obratlovců je kostra složená z kostí, které jsou spojeny klouby a vazy. Základní mechanickou vlastností kostní tkáň je její **pevnost**. Pro architektonickou strukturu kostí platí Wolffův zákon o transformaci kostí, podle něhož se struktura kosti přizpůsobuje trvale změně působících sil. Bylo zjištěno, že chybí-li gravitační zatížení ve směru osy dlouhých kostí, dochází za krátkou dobu ke zvýšenému vylučování vápníku z organismu. Je tomu tak například při delším pobytu v beztlížném stavu při kosmických letech.

Kosti se působením sil deformují, mění svůj tvar i objem. Podle směru působících sil se rozeznává **deformace** (obr. 36) v tahu (dvě síly opačného směru směrem od středu tělesa), tlaku (síly působící směrem k středu tělesa), ohybu (síla působící na střed tělesa podepřeného na obou koncích), ve smyku (dvě síly opačného směru působící na horní a dolní podstavu tělesa, vrstvy se vůči sobě posunuje, ale jejich vzdálenosti jsou stejné) a kroucení (torze – dvojice sil, v praxi kombinace různých deformací).



Obr. 36 Možnosti deformace kosti

17.2 Síla pružnosti, meze

Při deformaci působí na sebe silou i částice v deformovaném tělese. Síly, kterými působí, se nazývají síly pružnosti. Zabraňují tělesu, aby se stále deformovalo. Podle zákona akce a reakce síla pružnosti má stejnou velikost jako síla působící na těleso a působí opačným směrem. Pokud jsou tyto síly (**síly pružnosti a deformační síly**) stejné velké, pak je těleso v rovnovážném stavu – dále se nedeformuje, ale je ve stavu napjatosti. **Mez pružnosti** je největší možná hodnota normálového napětí, při kterém je deformace tahem ještě pružná. **Mez pevnosti** je největší hodnota, po jejím překročení dojde k porušení soudržnosti materiálu. **Dovolené napětí** je maximální přípustná hodnota normálového napětí při deformaci tahem; v praxi je nejvyšší dovolená hodnota normálového napětí značně menší

než mez pevnosti. **Součinitel bezpečnosti** je podíl meze pevnosti a dovoleného napětí, po překročení této hodnoty nastává přetržení, zlomení atd.

Deformaci pevného tělesa rozdělujeme také na:

pružnou (elastickou) – pro malé deformace platí **Hookův zákon**. Pokud je deformující síla malá, pak deformace je úměrná této síle, je to deformace dočasná a nazýváme ji pružná deformace. Přestane-li pak deformující síla působit, kost se vrátí do původního stavu. Mezi molekulární síly, které jsou toho příčinou, se nazývají **elastické síly**. Mezi pružná tělesa řadíme např. pružinu, ocelový pásek; **tvárnou (plastickou)**, je to deformace trvalá, těleso mění tvar, objem atd., můžeme sem zařadit například například kování kovového tělesa.

Hookův zákon

Když na těleso začneme působit silou, prodlouží se z původní délky l_1 o délku Δl (prodloužení, které závisí na počáteční délce tělesa) na délku l :

$$l = l_1 + \Delta l.$$

ϵ – relativní prodloužení; je to prodloužení tělesa o původní délce l m.

$$\epsilon = \Delta l / l_1.$$

Hookův zákon:

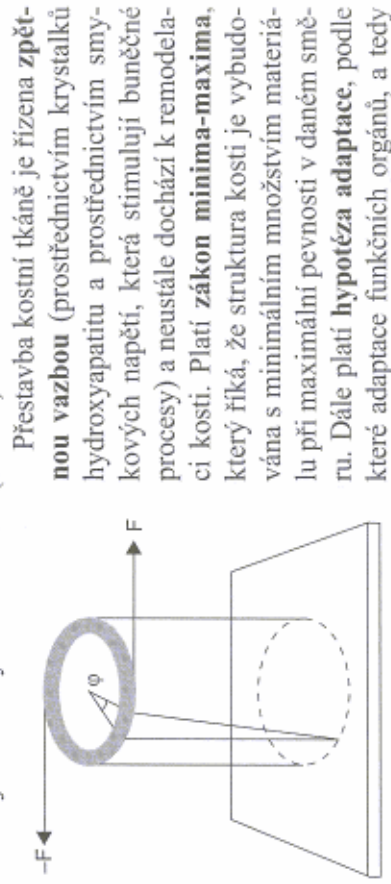
Normálové napětí je přímo úměrné relativnímu prodloužení, platí:

$$\sigma_n = E \cdot \epsilon.$$

kde E je modul pružnosti. Je to normálové napětí, které by v předmětu bylo, kdyby předmět prodloužil svoji délku.

Kosti jsou namáhány určitými směry v závislosti na své funkci, což vytváří jejich vnitřní strukturu. Například dlouhé kosti jsou ve své střední části – **diafýze** – tvořeny tzv. kompaktní a jsou duté (duté trubka má průměr větší než stejné těžká „plná trubka“ a stejnou silou se ohýbá mnohem méně než plná), čímž lépe odolávají deformaci v ohybu. Jejich konce – **epifýzy** – jsou vyplněny spongiózou, jejíž trámčina je uspořádána tak, aby

odolávala nejčastěji působícím silám, tj. tlakovým a tahovým. Dlouhé kosti mají obvykle vysokou pevnost v tahu podél dlouhé osy, menší v tlaku (poměr asi 4:3). Nejmenší pevnost mají v torzi (asi třetinovou oproti pevnosti v tahu), při níž je jeden konec kosti fixován a kost je kroucena silovou dvojicí kolem dlouhé osy. Proto způsobují poměrně malé torzní síly zlomeniny (např. časté lyžařské zlomeniny), které jsou z medicínského hlediska velice nepříznivé. Mírou deformace v kroucení – v torzi – je úhel, o který se pootočí horní průřez kosti, která je dole upevněna a nahore působí silová dvojice otáčivým momentem (obr. 37).



Obr. 37 Deformace v torzi

F, F – silová dvojice, φ – úhel, o který se pootočí horní průřez kosti

i kostí, probíhá podle skutečnosti, která nastane. Vzhledem k neustálé remodelaci kostní tkáň na základě mechanické zpětné vazby jsou její mechanické vlastnosti dány historií zatěžování. To znamená, že pokud je orgán imobilizován, snižuje se výrazně jeho pevnost a poddajnost a naopak opakovaným zatěžováním s dostatečnou intenzitou je možné předcházet poruchám remodelace (např. osteoporóza) a s tím spojeným zvýšeným rizikem zlomenin v důsledku snížení mechanické pevnosti. S věkem se mechanické vlastnosti mění ve smyslu zvyšování pevnosti a snižování maximální deformace. Celkově je kost starší osoby schopna absorbovat menší množství deformační energie v porovnání s mladým jedincem.

Cyklická zátěž kostí vytváří podmínky pro **únavové a adaptační jevy**, které jsou spojeny s adekvátními remodelačními procesy, ale i únnavovými mikrotraumaty, únnavovými zlomeninami, degračací tvaru apod. K únnavové zlomenině kosti může dojít, jestliže frekvence zatěžování nadkritickým

zatížením překročí adaptační rychlost. Dále závisí na velikosti působících sil, jestliže se pohybují v zóně únavy, dochází k šíření deformace a trhlin až k poškození celistvosti. Nebezpečné je i opakované krátkodobé přetížení v případě nižšího zatížení, které je jinak materiálem dobře snášeno.

Podle tvarových a materiálových charakteristik kosti a vnějšího uspořádání působících sil dochází ke zlomeninám ohybovým, smykovým, kompresním a v torzi s charakteristickým tvarem a průběhem lomu.

Mezi úlomky se krvácením kosti a narušených okolních měkkých tkání vytvoří hematoma. Postupně do hematoma začínají prorůstat z okolní tkáně drobné kapiláry a řídká fibrózní tkáň. Později se zpevňuje přibýváním kolagenních vláken a tvoří pružné spojení kostních úlomků. Ve třetím týdnu vzniká kalcifikační mezibuněčné substance primární kostní svalek. Je-li kost v této fázi mechanicky namáhána, tvoří se bezcévní vazivo s chrupavkou a vzniká tzv. paklob. V dalším stadiu je primární svalek postupně nahrazován lamelární kostí. Následnou remodelací se resorbují nadměrně peristáltní svalek a obnovuje se souvislost přechodně uzavřené dřeňové dutiny.

Osteosyntéza je spojování kostních úlomků tak, že zlomená kost spolu s osteosyntetickou pomůckou vytvoří mechanický systém mající přibližně stejnou pevnost, jako má kost neporušená.

Kosti se navzájem spojují v **kloubech**. Nestýkají se však přímo, nýbrž prostřednictvím **kloubních chrupavek**, jež spolu se synoviální tekutinou uvnitř kloubního pouzdra snižují tření v kloubu.

17.3 Mechanické vlastnosti chrupavky

Mechanické vlastnosti kloubní chrupavky jsou dány především uspořádáním vláken a tekutiny mezibuněčné hmoty. Vlákna kolagenu a elastinu vytvářejí pórovitou substanci prostoupenou tekutinou tvořící až 80 % celkové hmotnosti. Kromě přenašení tlakového zatížení v kloubním spojení kostí a tlumení rázových zatížení má důležitou funkci pro **snížování koeficientu tření** mezi styčnými plochami kosti stýkajících se v kloubním spojení. Při pohybu v kloubu dochází k valivému pohybu, obvykle v kombinaci s kluzným pohybem. Při klouzání je ve styku stále stejná oblast jednoho tělesa v průběhu vzájemného pohybu po povrchu tělesa druhého. Důležité je si uvědomit, že velikost třecí síly nezáleží na velikosti styčných ploch, pouze na velikosti síly přitlačné a koeficientu tření. Chrupavka

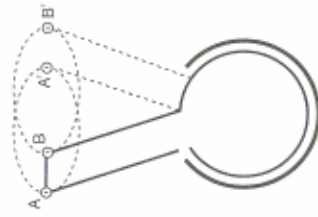
spolu se synoviální tekutinou výrazně snižuje koeficient tření mezi kloubními plochami, které jsou ve vzájemném styku.

Při zatížení v tlaku vytékáním tekutiny z pórovité matrice mění chrupavka svůj objem. V první fázi zatížení se uplatňují výrazné viskózní vlastnosti, následně dochází k vlastnímu zatížení vláknité matrice. Vzhledem ke značným viskoelastickým vlastnostem sledujeme u chrupavky zpevnění a zvýšení tuhosti při aplikaci rychlé zátěže.

Při zánětlivých, degenerativních i traumatických a mechanických afekcích se obvykle snižuje viskozita synoviální tekutiny. Lubrikace kloubních ploch je silně závislá na artikulujících tvarech, jejich relativní rychlosti pohybu a na typu poddajnosti artikulujících povrchů.

17.4 Mechanické vlastnosti kloubu

Tvar styčných ploch určuje stupeň volnosti pohybu v daném kloubu. Stupeň volnosti pohybu jednotlivého kloubu je dán tvarem ploch, které kloub tvoří. Čím více jsou obě kloubní plochy sobě navzájem přizpůsobeny, tím omezenější jsou možnosti pohybu. Největší stupeň volnosti (3) má ten kloub, jehož plochy jsou kulovité (obr. 38).



Obr. 38 Při cirkumdukci se pohyblivá část otáčí tak, že bod A (A') zůstává vzhledem k bodu B (B') stále ve stejné poloze

17.5 Šlachy a vazy

Sval je upnut na kost prostřednictvím šlachy, vazy – ligamenta tvoří zesílená místa kloubních pouzder. Primární svazky kolagenních vláken jsou stočeny v sekundární svazky podobně jako lano. Šlacha přechází ve vazivovou tkáň svalu.

Vazy i šlachy jsou uzpůsobeny přenášení zátěží v tahu. Šlacha tvoří se svalem funkční komplex se značnými viskoelastickými vlastnostmi. Podle uspořádání svalových vláken a jejich připojení ke šlaše je přenášena síla ze svalu na vlastní kost.

17.6 Mechanické vlastnosti biologických materiálů

Mechanické vlastnosti biomateriálů jsou do značné míry dány stavbou a uspořádáním tkáně. Základním stavebním prvkem jsou vlákna elastinu a kolagenu. Elastin se vyznačuje značnou schopností pružných deformací, kolagen naopak značnou tuhostí a pevností v tahu. Míra zastoupení jednotlivých vláken a jejich prostorové uspořádání výrazně určují výsledné mechanické vlastnosti, které jsou navíc ovlivněny množstvím amorfní mezibuněčné hmoty – především tekutiny a například u kosti přítomností minerálních látek.

17.7 Biokompatibilita

Biokompatibilita je schopnost vzájemné snášenlivosti umělých orgánů s hostitelem. Umělý orgán má obnovit nebo napodobit fyziologii přirozeného orgánu. Rozeznáváme látkovou (agresivita umělého materiálu vůči biologickému a naopak), funkční (vhodné mechanické vlastnosti, tření apod.) a tvarovou (tvar, velikost) biokompatibilitu. Pro náhrady kostí a kloubů se používají kovové materiály (především korozivzdorné slitiny kobaltu, titanu, chromu a niklu nebo materiály schopné požadované povrchové úpravy), plastické hmoty (např. pro kloubní jamky tetfluoru či polyetylénu), hliníkové a sialonové (na bázi nitridu křemíku) keramické hmoty s vysokou tvrdostí a dobrou snášenlivostí živými tkáněmi. Pouze materiály na bázi kolagenu dovolují odbourání imunologických reakcí.

18 Ionizující záření

18.1 Charakteristika ionizujícího záření

Každý atom je tvořen kladně nabitým atomovým jádrem a záporně nabitými elektrony, které se nacházejí na přesně vymezených drahách v okolí jádra. V atomovém jádře jsou částice s kladným nábojem – protony – a částice bez elektrického náboje – neutrony. Protože počet protonů v jádře se rovná počtu orbitálních elektronů, je atom jako celek neutrální. Počet protonů jednoznačně určuje prvek, ke kterému atom přísluší, a nazývá se atomové číslo. Celkový počet protonů a neutronů v atomovém jádře charakterizuje hmotnost atomu a nazývá se hmotnostní (nukleonové) číslo. Skupina atomů, které mají v jádře stejný počet protonů i stejný počet neutronů, se nazývá nuklid. Nuklidy, které mají stejné atomové číslo a odlišují se vzájemně jenom počtem neutronů, se nazývají izotopy daného prvku. Izotopy mají identické chemické vlastnosti, avšak rozdílné vlastnosti jaderné. Některá atomová jádra zůstávají neměnná po libovolně dlouhou dobu bez ohledu na to, jakými změnami atom prochází. Tato jádra se nazývají stabilní.

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

Jaderná přeměna je proces náhodný, který se uskutečňuje s určitou pravděpodobností. Nejsem schopni předpovědět, které jádro se v daném okamžiku přemění. Pokud je však počet radioaktivních jader dostatečně velký, je možné radioaktivní přeměnu matematicky popsat.

Celkový počet N dosud nepřeměněných jader v čase t určíme ze vzta-
hu:

$$N_{(t)} = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

kde $N_{(t)}$ je počet radioaktivních (dosud nepřeměněných) jader v čase t , N_0 je počet radioaktivních jader v čase $t=0$, e je Eulerovo číslo, základ

přirozených logaritmů ($e=2,71$). Pravděpodobnost jaderné přeměny, která je pro každé radioaktivní jádro charakteristická, vyjadřujeme přeměnovou (rozpadovou) konstantou λ . Je to konstanta úměrnosti mezi úbytkem počtu radioaktivních jader způsobeným samovolnou přeměnou za určitou dobu a celkovým počtem (nepřeměněných) radioaktivních jader. Její rozměr je s^{-1} .

Pojem **ionizující záření** zahrnuje nejenom záření, které emitují radioaktivní látky, ale také rentgenové záření a záření vzniklé v urychlovačích částic, a také záření neutronové – např. z jaderného reaktoru nebo ze speciálních jaderných reakcí.

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

K objevu přirozené radioaktivity došlo několik měsíců po objevu rentgenového záření. V roce 1896 Antoine Henri Becquerel sledoval, zda některé fluorescenční materiály (sloučeniny uranu) nejsou zdrojem rentgenového záření. Přitom objevil nový druh záření, které bylo spontánně vyzářováno také sloučeninami, které vůbec nefluoreskují, i kovovým uranem.

Radioaktivita připravená činností člověka se nazývá **radioaktivita umělá**. K objevu umělé radioaktivity došlo v roce 1934. Manželé Fréderic a Irene Joliot-Curieovi při některých jaderných reakcích (reakce hliníku s částicemi α) prováděných v laboratoři obdrželi radioaktivní izotop fosforu. Při reakcích vznikají nové radioaktivní prvky, které se v přírodě nevyskytují. Pro jejich radioaktivní přeměny platí stejné zákony jako pro přirozeně radioaktivní prvky.

Nejnsnadnější výrobou umělých radionuklidů je dodání neutronů do jádra – jelikož neutron nemá elektrický náboj, nepůsobí elektrické odpudivé síly a neutron ochotně vstupuje do jádra. Intenzivním zdrojem neutronů je jaderný reaktor. Pro výrobu pozitronových radionuklidů (β^+) je naopak potřeba do jádra dodat protony. K tomu, aby proton vstoupil do jádra, musí být urychlen na vysokou energii, aby svou kinetickou energií překonal odpudivou elektrickou Coulombovskou sílu kladně nabitého jádra. Nejčastějšími urychlovači protonů jsou cyklotrony, které elektromagnetický-

mi silami urychlují protony během mnoha oběhů po kruhové dráze (udržované magnetickým polem) na vysoké energie.

18.2 Jednotky v radioaktivitě

Jako u každého fyzikálního jevu, který chceme kvantifikovat, je nutno i u radioaktivity stanovit jednotky, ve kterých ji budeme měřit.

Jádra radioaktivních atomů se v čase mění na jádra jiná a přitom vyzářují ionizující záření. **Aktivita** měří počet těchto přeměn za sekundu. Pokud čas měříme v sekundách, je přirozenou jednotkou radioaktivity 1 přeměna za 1 sekundu. Tato jednotka byla nazvána becquerel (Bq) (starší jednotkou aktivity radionuklidů byla jednotka curie: $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$).

Čím větší je radioaktivita vzorku dané látky, tím více jader za sekundu se nám přeměňuje, a tím intenzivnější záření látka do svého okolí vysílá.

Jádro daného atomu se přemění pouze jednou a se vzrůstajícím časem se aktivita snižuje. Doba, za kterou aktivita klesne na polovinu, se nazývá **poločas přeměny**. Poločas přeměny nám mnoho neřekne o škodlivosti zářiče, jen se dozvíme, jak klesá jeho aktivita v závislosti na čase.

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

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

18.3 Druhy radioaktivní přeměny

Částice α je tvořena dvěma protony a dvěma neutrony. Zdrojem záření α jsou těžké radionuklidy, energie těchto částic je řádově v jednotkách

megaelektronvoltů (MeV) – to odpovídá počátečním rychlostem řádu 10^7 m/s. Protože částice alfa nesou dva elektrické náboje, při průchodu prostředím **silně ionizují i excitují** a velmi rychle ztrácejí svoji energii. Dosah záření alfa je proto značně omezen. Ve vzduchu činí jenom několik milimetrů, ve vodě jenom zlomky milimetrů. Při dopadu na kůži se záření α absorbuje již v horních vrstvách epidermis (dolet částice α v tkáni jsou mikrometry). Z tohoto důvodu není záření α při vnějším ozáření (snad s výjimkou oka) nebezpečné. Při vnitřní kontaminaci se však energie částic α absorbuje ve velmi malém objemu tkáně, a proto působí biologicky velmi negativně. K ochraně před větším ozářením stačí oděv, papír, tenká fólie z plexiskla apod. Lze jej vychylovat elektrickým a magnetickým polem.

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

Záření γ je elektromagnetické vlnění s velmi krátkou vlnovou délkou (10^{-13} – 10^{-16} m). Vzniká při radioaktivním rozpadu řady radionuklidů, často současně se zářením β nebo α . Energie fotonů záření γ činí řádově desítky keV až jednotky MeV. Všechny typy elektromagnetického vlnění (tedy i záření γ) se pohybují rychlostí světla, tj. $3 \cdot 10^8$ m/s. Při průchodu prostředím narážejí fotony do atomů tohoto prostředí, vyražejí z nich elektrony a předávají jim energii dostatečnou k tomu, aby byly elektrony schopny ionizovat okolní prostředí. Jedná se tedy o nepřímo ionizující záření. Dosah γ záření je ve vzduchu řádově několik set metrů a v kompaktních

materiálech jako například zemina, hornina, beton je řádově několik centimetrů až desítek centimetrů. Jeho **ionizační účinky jsou poměrně nízké**. Nelze jej elektricky ani magneticky vychylovat, protože nenese náboj.

18.4 Rentgenové záření

Rentgenové záření (RTG) je **elektromagnetické vlnění** s velmi krátkou vlnovou délkou (v rozmezí 10^{-10} – 10^{-12} m). Nevzniká v jádře (jako je tomu u záření γ), ale vzniká v elektronovém obalu interakcí letících elektronů s hmotou. Zdrojem RTG záření v medicíně jsou rentgenky. Dnes se v medicíně používají tzv. Coolidgeovy rentgenky se dvěma elektrodami (katodou a anodou) v baňce, z níž je vyčerpán vzduch. Obě elektrody jsou z kovu (např. wolframu) o vysoké teplotě tání. Rozžhavená katoda je zdrojem elektronů, které jsou urychlovány elektrickým polem o vysokém napětí (až stovky kV). Při dopadu na anodu se asi 1 % energie elektronů využívá na vznik rentgenového záření. Zbytek energie se mění na vnitřní energii kovu anody a ta se značně zahřívá. Proto je nutné anodu chladič (anoda má tvar dutého válce, do jehož vnitřního prostoru se přivádí chladič kapalina), popřípadě je anoda konstruována tak, že se otáčí a elektrony dopadají na různá místa jejího povrchu.

V rentgenkách vznikají dva druhy rentgenového záření zabrzděním proudce letících elektronů v látce o vysokém protonovém čísle.

1. Jestliže se primární elektron letící od katody rentgenky dostane do bezprostřední blízkosti atomového jádra materiálu anody, zakřívuje se jeho dráha a prudce se snižuje jeho rychlost v elektrostatickém poli atomového jádra v důsledku silného působení coulombovských sil. Část (nebo celá) kinetická energie, kterou při zabrzdění elektron ztratil, se přemění na foton rentgenového záření o odpovídající energii. Podle popsaného mechanismu vzniku bylo toto záření pojmenováno brzdným rentgenovým zářením. Protože většina dopadajících primárních elektronů ztrácí různou část své energie nárazy na periferní elektronové vrstvy atomů anody, do silového pole se dostává směs elektronů o různých energiích. Při zabrzdění v elektrostatickém poli jádra ztrácí každý elektron také jiné množství své kinetické energie. Vznikají tudíž současně fotony rentgenového záření s nejrůznějšími vlnovými délkami. Proto je jeho spektrum spojité. Brzdné záření vytváří spojité spektrum s ostrým zakončením na krátkovlnné straně a s maximum, které lze měnit regulací vysokého napětí na rentgence.

2. Charakteristické rentgenové záření vzniká tím, že elektrony dopadající na povrch kovu mají tak velikou energii, že mohou uvolnit elektrony ze slupek elektronového obalu atomu, které jsou blíže k jádru atomu. Když se pak atom kovu vrátí do původního stavu, dosahuje rentgenové záření jen určitých vlnových délek, odpovídajících uspořádání elektronového obalu. Spektrum tohoto druhu rentgenového záření je čárové a poloha čar ve spektru je charakteristická pro materiál, na který elektrony dopadají.

Napětím mezi katodou a anodou lze ovlivnit pohybovou energii elektronů, a tím i vlnovou délku vznikajícího rentgenového záření. Čím je napětí větší, tím má rentgenové záření kratší vlnovou délku.

S ohledem na schopnost rentgenového záření pronikat látkami rozlišujeme záření měkké (s delší vlnovou délkou) a záření tvrdé (s kratší vlnovou délkou). V praxi se někdy „tvrdost“ rentgenového záření vyjadřuje přímo napětím rentgenky. Například 40 kV odpovídá měkkému rentgenovému záření, ale 200 kV odpovídá tvrdému rentgenovému záření.

Část rentgenového záření se při průniku látkou úplně absorbuje, část se rozptýlí a část záření látkou proniká. Při průchodu látkou je rentgenové záření absorbováno podle vztahu:

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

kde I_0 je intenzita rentgenového elektromagnetického záření, I je intenzita rentgenového záření po průchodu absorbujícím prostředím, e je základ přirozených logaritmů, d je tloušťka vrstvy absorbujícího prostředí, μ je absorpční koeficient, který závisí na hustotě látky absorbujícího prostředí a na vlnové délce dopadajícího rentgenového záření.

Rentgenový obraz prozářeného biologického objektu vzniká různou absorpční schopností jednotlivých tkání. Například u měkkého rentgenového záření absorbuje kost asi 4x více rentgenového záření než voda. Je nutno zdůraznit, že rentgenové záření je pohlcováno v látce tím více, čím je toto záření měkčí (tj., čím větší je jeho vlnová délka). Vzhledem k tomu, že rentgenové záření jako každé ionizující záření, je pro organizmus škodlivé, je třeba mít na paměti, zda očekávaný diagnostický přínos bude úměrný ionizační zátěži nemocného či dokonce neohrozí jeho život.

18.5 Neutrony

Až po objevu elementární částice, která se pro svou elektrickou neutralitu nazývá neutron (Chadwick, 1932), byla vytvořena domněnka o stavbě jader všech prvků (mimo nejllehčí izotop vodíku) z protonů a neutronů; neutrony přidávají do jádra hmotu bez náboje. Neutrony lze získat jedině jadernými reakcemi, a to ve zdrojích rozličného typu. Jsou to například neutronové generátory, radionuklidové zdroje, jaderné reaktory, jaderné exploze. Neutrony sice ionizaci nezpůsobují, ale porušují stabilitu atomu, čímž mohou vyvolat radioaktivitu u látek neradioaktivních.

18.6 Kosmické záření

Kosmické záření má částicovou i elektromagnetickou složku. Je to záření velmi vysokých energií (10^{10} – 10^{18} eV) dopadající na zemský povrch z kosmického prostoru. V biosféře má minimální účinky, významným se však stává při kosmických letech.

Primární kosmické záření přichází z mezihvězdného prostoru a kromě galaktického záření obsahuje i záření z velkých slunečních erupcí, složené hlavně z vysokoenergetických protonů, helionů, elektronů a rentgenového záření. Dávkové příkony se mění jen málo zeměpisnou šířkou, ale výrazně s výškou nad hladinou moře. Do nadmořské výšky asi 20 km se s rostoucí nadmořskou výškou zvyšuje i intenzita kosmického záření (vzhledem k tomu ozáření obyvatel Teheránu a Mexico City je asi 2–3x vyšší než obyvatel na úrovni moře), dalších 20 km se snižuje a ustaluje se na konstantních hodnotách s výjimkou van Allenových-Věronových pásů. (Země je obalena dvěma pásy, ve kterých se soustřeďují elektrony a protony. Tyto pásy nedovolí proniknout částicím s malou energií k povrchu a odrazí je zpět do meziplanetárního prostoru.)

Sekundární kosmické záření vzniká v důsledku různých interakcí vysoce energetického primárního kosmického záření při průchodu zemskou atmosférou. Měkkou složku tvoří elektrony, pozitrony a fotony vysokých energií, ve tvrdé složce jsou mezony, protony, neutrony a jádra lehkých prvků.

Kosmické záření je stálou složkou životního prostředí člověka. Odhad průměrného ročního dávkového ekvivalentu z kosmického záření je asi 280 μ Sv na úrovni moře. Zemská atmosféra poskytuje dostatečnou ochra-

nu před jeho možnými škodlivými účinky. Bezpečné jsou i lety dopravních letadel ve výškách kolem 10 km (přiklon dávkového ekvivalentu je odhadován na $1,35 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. V nadzvukových letadlech (výše letu 20 km) činí odhady dávkového ekvivalentu $9 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (celkový dávkový ekvivalent bude však nižší než u obvyklého letadla vzhledem k rychlejšímu překonání trasy). Biologické účinky kosmického záření se mohou **nepříznivě uplatňovat při dlouhodobých kosmických letech**. Fyzikální ochrana kosmických lodí je velmi obtížná vzhledem k vysokým energiím kosmického záření a vzhledem k limitující tloušťce ochranného obalu kosmické lodi. (Například u kosmonautů při letu 4. výpravy na Saljutu 6 trvajícím 175 dní bylo dosaženo dávkového ekvivalentu 55 mSv .)

18.7 Biologické účinky ionizujícího záření

Při průchodu záření živou hmotou dochází k absorpci záření podobným způsobem jako při jeho průchodu neživým prostředím, převážně mechanismem ionizace a excitace molekul prostředí. Dávky záření, představující z fyzikálního hlediska malé energie, však mají na organizmus velice zhoubné účinky. V oblasti nízkých dávek je popisována možnost tzv. **radiální hormese**, tj. stimulačního účinku nízkých dávek záření.

18.8 Přímý a nepřímý účinek ionizujícího záření

Přímý účinek záření je spojený bezprostředně s absorpcí záření v živých strukturách organismu – bílkovinách, enzimech apod. Tento způsob převládá v buňkách s nízkým obsahem vody. Porušují se chemické vazby, a tím se vyvolají chemické změny v živých strukturách organismu. Změny chemických vazeb vedou k inaktivaci až rozpadu molekul.

Absorpce záření v živé hmotě je ovlivněna vysokým obsahem vody v této hmotě. Voda je součástí všech tkání a orgánů člověka, u novorozenců tvoří až 80 % tělesné hmotnosti, u dospělého člověka více než 60 % hmotnosti.

Nepřímý účinek je zprostředkovan produkty ionizace vody. Primárními produkty ionizace jsou volné radikály ($\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$), které ovlivňují sekundární biomolekuly. Volné radikály jsou velice reaktivní, mají vliv na různé oxidoredukční systémy a způsobují jejich blokádu.

Předpokládá se, že z celkového účinku záření připadá asi 20–30 % na přímý účinek na živé struktury a asi 70–80 % na nepřímý účinek pomocí tzv. volných radikálů vody. Výsledkem jsou fyzikálně chemické změny ozářené tkáně v důsledku ionizace a excitace, vznik chemicky velice reaktivních látek, které na úrovni molekulární vedou k takovým změnám reaktivních látek, které na úrovni specifické vlastnosti. Poškození biologicky biomolekuly, že ztrácejí své specifické vlastnosti. Poškození biologicky významných molekul vede ke změnám v aktivitě enzymů, je narušena syntéza nukleových kyselin, specifických bílkovin apod.

Změny na buněčné úrovni se projevují nejdříve ve zmenšení počtu buněk, v porušení jejich proliferace. Ztráta specializovaných buněk vede k prohloubení biochemických změn a k narušení funkce životně důležitých orgánů (krvetočná tkáň, buňky střední sliznice, zárodečná tkáň apod.). Důsledkem těchto změn jsou změny orgánové, mohou vést na úrovni organismu dokonce až ke vzniku nemoci z ozáření.

Stupeň funkčních a morfologických změn závisí nejenom na dávce záření, ale i na typu záření (alfa, beta, gama, rentgenové záření, záření neutronů) a na citlivosti orgánů.

18.9 Radiosenzitivita

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

1. nejvyšší radiosenzitivita – lymfatická tkáň, kostní dřeň, pohlavní žlázy, střevo;
2. kůže a epitel, hltan, jícen, žaludek, močový měchýř, oční čočka;
3. malé cévy, rostoucí chrupavka a kost;
4. vyspělá kost a chrupavka, dýchací orgány, játra, pankreas, endokrinní žlázy;
5. nejnižší radiosenzitivita – nervová a svalová tkáň.

Při vyšetřování těhotných žen ionizujícím zářením může dojít k ozáření plodu. Změny, k nimž pak dochází, se liší podle toho, ve kterém týdnu těhotenství k expozici došlo. V období embryogeneze může vést ozáření (expozice) ke smrti zárodku. V období organogeneze, tj. od třetího týdne po oplodnění, může dojít u dávek, které nevedou ke smrti plodu, ke vzniku vývojových anomálií. Ozáření plodu v posledních měsících nitroděložního vývoje může mít za následek vznik leukemie nebo maligních nádorů v dětském věku.

18.10 Ochrana před vnějším ozářením

1. **Fyzikální** (vzdálenost, čas, stínění). Při ochraně vzdálenosti se uplatňuje skutečnost, že dávka záření klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje. Zvětšíme-li například vzdálenost od zdroje záření z 10 cm na 20 cm, klesne dávka na čtvrtinu hodnoty naměřené ve vzdálenosti 10 cm.

Ochrana časem vychází z toho, že radiální zátěž pracovníka roste s dobou, po kterou se pracovník zdržuje v blízkosti zářiče. Zkrácení doby pobytu u zářičů snižuje radiální zátěž.

Ochrany stíněním se dosahuje tím, že mezi zdroj záření a pracovníka se umístí stínící vrstva vhodného materiálu (pro jednotlivé typy záření jsou vhodné materiály popsány výše).

2. **Biologická**. Vzniká podáváním látek zvyšujících radiorezistenci – bílkovin, hormonů, vitamínů apod.

3. **Chemická**. Označujeme tak podávání radioprotektiv. Jsou to chemické látky, které se podávají 30–60 minut před ozářením, jejich účinek trvá 3–4 hodiny. Účinná dávka záření se může podáním radioprotektiv snížit maximálně na polovinu, většinou však méně.

Kromě rizika **vnějšího ozářením** je také velké riziko **vnitřního ozářením** při vniknutí radioaktivních látek do organismu při dýchání (**inhalaci**), trávicím traktem (**ingesci**) nebo i při **poranění**. Proto se ochrana před vnitřní kontaminací pracovníků zajišťuje především tím, že se pracuje v dobře odsávané digestoři. Nezbytné je přísné dodržování všech hygienických norem.

V nemocnicích se při provozu každého pracoviště s ionizujícím zářením (rentgenologie, nukleární medicína) musí dodržovat zásady ochrany před ionizujícím zářením jak nemocného, tak vlastního personálu.

Na rentgenovém pracovišti chráníme nemocného před škodlivými rentgenovými paprsky vhodnou filtrační záření. Zbytečnému ozařování zdravých tkání zabráňujeme používáním vhodných clon, kterými vymežeme ozařované pole. Důležité je dále, aby se při snímkování malých dětí a osob v reprodukčním věku clonily pohlavní orgány olovem.

Při individuální ochraně pracovníka se využívá absorpce záření nejčastěji olovem. Rentgenolog používá zástěru a rukavice z olovnaté gumy, prosvětlovací štít přístroje se vyrábí z olovnatého skla. Stěny místnosti se pokrývají barytovou omítkou. Všechna pracoviště musí být dobře větrána.

Několik statistických pohledů na radioaktivitu: V tabulce 11 je uvedeno riziko úmrtí na 1 milion obyvatel v důsledku různých příčin. Z tabulky je zřejmé, že riziko úmrtí způsobené provozem jaderných elektráren je velice nízké.

Tab. 11 Riziko úmrtí na 1 milion obyvatel

| | |
|---------------------------|--------|
| přirozené nemoci | 10 000 |
| nemoci v důsledku kouření | 2 000 |
| dopravní nehody | 300 |
| úrazy elektrinou | 20 |
| přírodní katastrofy | 1 |
| jaderné elektrárny | 0,1 |

V tabulce 12 jsou uvedeny dávky ozáření při různých typech vyšetření nebo z přírodního pozadí a limity z hlediska ochrany obyvatel.

Tab. 12 Dávky ozáření a limity

| | |
|----------------------------------------------------|----------------|
| limit pro pracovníka se zářením | 50 mSv/rok |
| přírodní radiální pozadí občana ČR | 1 až 3 mSv/rok |
| pracovník JE Dukovany obdrží navíc | 0,4 mSv/rok |
| obyvatelstvo v okolí JE Dukovany obdrží navíc | 0,005 mSv/rok |
| přírodní radiální pozadí občana Guapari v Brazílii | 175 mSv/rok |
| přírodní radiální pozadí občana Ramsaru v Iránu | 400 mSv/rok |
| RTG stěv | 4 mSv |
| RTG žaludku | 2,4 mSv |
| let nadzvukovým letadlem Praha – USA | 0,13 mSv |

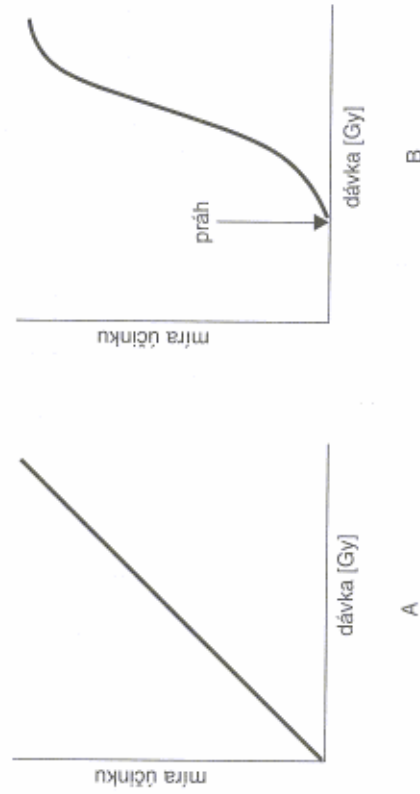
Pro pracující s ionizujícím zářením platí tzv. „Atomový zákon“ z roku 1997, který ve zdravotnictví zákonným způsobem ošetřuje ochranu před účinky ionizujícího záření pro pacienty a pracovníky a kontrolu jakosti. Povolená roční dávka pro pracující se zdroji záření je 50 mSv a povolený pětilletý limit 100 mSv.

18.11 Stochastické a deterministické účinky ionizujícího záření

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

Stochastické účinky jsou takové, pro něž je pravděpodobnost, že účinek nastane, považována za **bezprahovou funkci dávky**. Z obrázku 39 je zřejmé, že i minimální dávka záření je schopna vyvolat patologické změny v organizmu. **Vznik nádoru** považujeme za hlavní **somatické riziko** při ozáření jedince nízkými dávkami, a proto je to hlavní problém ochrany před zářením. Všeobecně můžeme říct, že i minimální dávka záření může vyvolat vznik nádorového onemocnění. Čím vyšší je dávka záření, tím větší je pravděpodobnost, že u ozářeného jedince dojde ke vzniku nádorového onemocnění nebo k poškození **genetické výbavy**.

Mezi **deterministické účinky** řadíme např. **akutní nemoc z ozáření**, která je způsobena biologickým účinkem ionizujícího záření na organizmus. Vzniká obvykle po jednorázovém velkém zevním ozáření. Je nutno zdůraznit, že dávka záření musí mít určitou velikost, jinak se nestochastické účinky nevykytnou (obr. 39).



Obr. 39 A) stochastické účinky ionizujícího záření
B) deterministické účinky ionizujícího záření

Cílem ochrany před zářením je zabránit vzniku škodlivých deterministických účinků úplně a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na co nejnižší úroveň.

18.12 Život buňky zasažené radioaktivitou

Život buňky zasažené radioaktivitou se může vyvíjet třemi směry:

1. **Buňka poškození opraví a bude žít dál.**
2. **Buňka zahyne na následky rozsáhlých poškození.** Pak záleží na počtu zemřelých buněk, zda bude zasažen i celý organizmus. V případě odumření většího počtu buněk mohou selhat postižené orgány a způsobit smrt. Jedná se o tzv. deterministické účinky záření, někdy označované jako akutní nemoc z ozáření.
3. **Buňka přežije, ale neopraví všechna poškození.** V tom případě hrozí riziko, že vyvolá rakovinné bujení, nebo (jedná-li se o spermii nebo vajíčko) že se její poškození projeví tím, že narozené dítě bude mít vrozeňnou vadu. Vrozená vada nemusí být viditelná, může jít i o ukrytou rakovinu, která se projeví později v životě dítěte. Jedná se o tzv. stochastické účinky záření. Do poslední oblasti patří účinky nízkých dávek záření, zejména v případě jejich dlouhodobého působení na člověka. Nebezpečím malých dávek záření se zabývá mnoho studií, ty ale nedospěly k jednoznačným závěrům. Ukazuje se, že právě na dlouhodobé účinky malých dávek záření je lidský organizmus mnohem citlivější, než se dříve předpokládalo. Další problém spočívá v tom, že u nádorů a genetických poškození lze předpovědět pouze nárůst jejich výskytu u celé populace, ale nelze rozeznat v žádném jednotlivém případě, zda se jedná o následek ozáření.

18.13 Akutní nemoc z ozáření

Je to komplex patologických změn v organizmu vyvolaných účinkem velkých dávek ionizujícího záření. Akutní nemoc z ozáření má typický klinický průběh a probíhá obvykle ve čtyřech fázích:

1. období počátečních příznaků,
2. období bez klinických příznaků,
3. období plného rozvoje nemoci,
4. období rekonvalescence.



Období počátečních příznaků

Tato fáze nemoci je krátkodobá. Hned po ozáření nebo za několik málo hodin se objevuje u postižených celková nevolnost, slabost, nucení na zvracení, zvracení, sucho v ústech, žízeň, bolesti hlavy, zažívací obtíže s průjmy. U některých nemocných byl pozorován obraz podobný šoku, u jiných byly zaznamenány poruchy vědomí a spánku. Nástup zvracení u postižených v Černobylu byl významným ukazatelem prognózy dalšího vývoje nemoci. Čím dříve došlo ke zvracení, tím byla prognóza dalšího vývoje nemoci horší.

Období bez klinických příznaků

Po krátkodobém trvání počátečních příznaků nastupuje u ozářených osob období bez klinických příznaků. Postižení se cítí buď zcela zdrávi, nebo příznaky prvního období ustupují. Teplota se vrací k normálu, bolesti hlavy se mímí, mizí poruchy vědomí, ustává zvracení. Rozvoj onemocnění však pokračuje. Tato fáze nemoci je různě dlouhá. Čím je delší, tím byla dávka ozáření menší. U těžce postižených (ozářených velkou dávkou) může tato fáze chybět a první fáze přechází přímo ve třetí fázi.

Období plného rozvoje nemoci

Třetí období nastupuje po období latence a vyznačuje se horečkami trvajícími i týdny. Nástup horečky je provázen krvácivými projevy. Dalšími klinickými příznaky v tomto období jsou zánětlivé změny na sliznici dutiny ústní a projevy poškození trávicího traktu. Horečka v tomto stadium onemocnění je způsobena rozvojem infekce podminěné zhroucením obranných schopností organismu. Jsou výrazné i kardiovaskulární poruchy (tachykardie, extrasystoly, oběhové selhání apod.). Bariéra stěvních stěn proti bakteriální flóře je prolomena, stupňuje se zvracení, průjmy, později se značnou příměsí krve. Průjmy a zvracení vedou k dehydrataci. Funkce ledvin jsou vážně ohroženy. Nemocní prudce ztrácejí na hmotnosti následkem sníženého příjmu potravy. Dochází k poškození jater. Rovněž pohlavní žlázy jsou poškozeny. Výrazně je poškozena tvorba nových krevních elementů. Dochází k významnému poškození centrální nervové soustavy. Toto období trvá dva až tři týdny a smrt může způsobit kterákoli z uvedených změn (těžká anémie, infekce a sepsis, oběhové

selhání, selhání ledvin, střední forma onemocnění, rychlá mozková smrt, nebo kombinace těchto změn). Mnozí nemocní umírají na pneumonii nebo bronchopneumonii.

Období rekonvalescence

U postižených, kteří nebyli vystaveni smrtelné dávce záření, může nastoupit pozvolna rekonvalescence a nakonec může dojít k částečnému nebo při menších dávkách ozáření i k úplnému uzdravení. Subjektivní stav nemocného se zlepšuje, objektivní příznaky ustupují. Klesá teplota, zlepšuje se chuť k jídlu, obnoví se normální spánkový rytmus. Zvolna se upravuje tvorba nových krevních elementů.

U některých postižených jsou však dlouho po ozáření patrné funkční i morfologické změny krevních elementů. Pomalu se upravuje celková oslabení organismu. Obtíže mohou trvat měsíce i léta. U osob, které přežily akutní nemoc z ozáření, je častější výskyt leukemii i jiných nádorových onemocnění. U některých žen zůstává neplodnost, u těhotných žen je větší pravděpodobnost potratů a výskytu fyzicky nebo mentálně postižených potomků. Podle zprávy Světové zdravotnické organizace v oblastech Ukrajiny a Běloruska, postižených radioaktivním spadem z Černobylu, onemocnělo do konce roku 1994 stokrát více dětí na rakovinu štítné žlázy než v letech před katastrofou.

18.14 Přístroje pro osobní a ochrannou dozimetrii

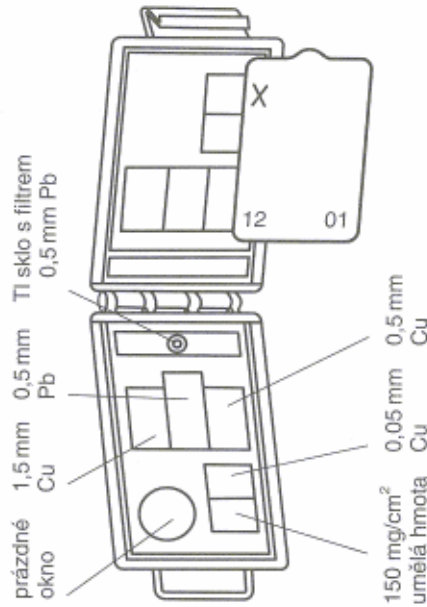
Naše smysly nemají schopnost vnímat ionizující záření. Zjišťování jednotlivých druhů ionizujícího záření je proto založeno na jejích interakci s vhodnou absorbující látkou – detektorem. **Detektor** slouží k přeměně energie ionizujícího záření na jinou formu energie, kterou můžeme registrovat. Využívá se zejména účinků na fotografickou emulzi, účinků ionizace, excitace aj.

Nejstarším principem detekce ionizujícího záření je zčernání fotografické emulze. Tento princip využíváme zejména v osobní dozimetrii a v autoradiografii (například u kožních aplikátorů, v experimentálních studiích apod.).

Autoradiografie je metoda, pomocí které zjišťujeme přítomnost a rozložení radioaktivní látky – např. ve sledovaném histologickém preparátu.

Osobní filmový dozimetr (obr. 40) slouží k měření absorbované dávky záření β , β^+ , γ a rentgenového záření. Rentgenový film velikosti 3x4 cm je citlivý na ionizující záření. Je zabalen do černého papíru a uzavřen v baktitovém pouzdře, které má jednu čtvrtinu volnou a další tři čtvrtiny pokryté několika filtry z různě silného měděného a olověného plechu, které slouží pro absorpci ionizujícího záření různého druhu a energie. Intenzita zčernání po vyvolání filmu je úměrná absorbované dávce záření. Vyhodnocení ozářených a vyvolaných filmů se provádí fotometriky. V přístroji světelný paprsek dopadá na filmový materiál a je absorbován úměrně optické hustotě měřeného filmu. Po průchodu filmem dopadá na fotočlánek, jehož výstupní elektrický signál je dále zpracováván.

Filmovými dozimetry se nejčastěji stanovují nízké dávky v osobní dozimetrii – např. na pracovištích, kde se pracuje se zářiči nebo u zaměstnanců jaderných elektráren.



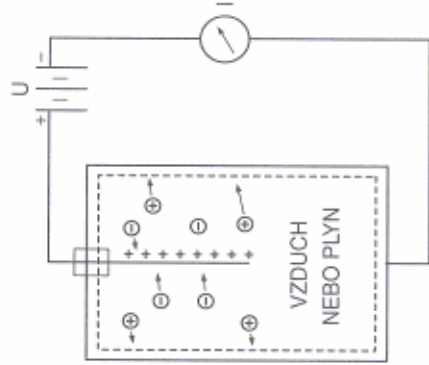
Obr. 40 Filmový dozimetr

Prstový dozimetr je založen na principu termoluminiscence, vyplývající z jevu, že některé anorganické krystaly mohou akumulovat energii ionizujícího záření tím, že záření v nich vybudí elektrony do vyššího energetického stavu. Po zahřátí krystalu (asi na 200 °C) emitují jeho atomy (návratem elektronů do základního stavu) akumulovanou energii ve formě viditelného světla. Světelné záblesky se převádějí na napěťové impulzy a měří. Prstový dozimetr ve formě prstýnku nosí lidé manipulující ručně s radioaktivními zářiči; lze tak zjistit dávku, kterou obdržely pracovníkovy ruce.

Přístroje pro ochrannou dozimetrii se též používají k měření kontaminace povrchu pracovních ploch, ochranných oděvů i pomůcek a také zevní kontaminace pracovníků. Používají se dvě základní metody detekce: metody založené na ionizaci plynů a metody založené na excitaci látek.

Plynové detektory

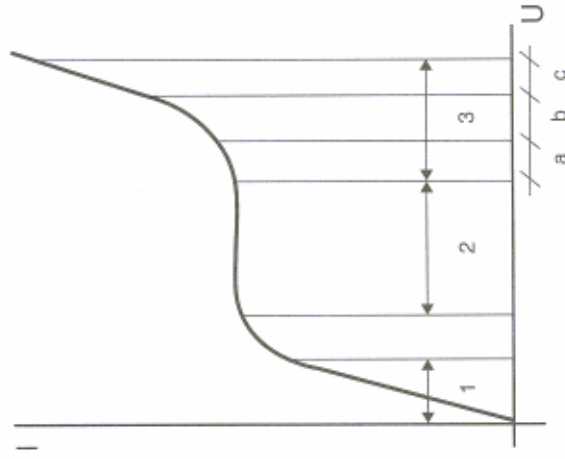
Plynové detektory (obr. 41) detekují ionizující záření na základě jeho ionizačního účinku.



Obr. 41 Schéma plynového detektoru (ionizační komůrka)

Při normálních hodnotách tlaku a teploty jsou plyny tvořeny elektricky neutrálními molekulami a jejich elektrická vodivost je zanedbatelná. Aby se stal plyn vodivým, musí v něm vzniknout ionty. Jedním z činitelů vyvolávajících ionizaci plynu je radioaktivní záření. Interakcí s molekulami plynu vytrhává elektrony z obalu a ionizuje plyn, ten se pak chová jako vodič. Ty druhy záření, které jsou tvořeny elektricky nabitými částicemi (protony, elektrony, α částice, ionty), ionizují atomy a molekuly plynu přímo. Částice, které nemají náboj, záření γ i rentgenové záření ionizují nepřímo. Výsledkem jejich interakce s atomy a molekulami plynu je často emise nabitých částic, které pak ionizují další molekuly plynu přímo.

V principu se plynové detektory skládají ze dvou kovových izolovaných elektrod připojených ke zdroji stejnosměrného napětí, mezi nimiž je plynové prostředí. Když se mezi elektrodami nachází ionizující záření, jeho interakcí s molekulami plynu dochází ke vzniku částic s elektrickým nábojem, tzv. iontových párů. Ty pak slouží jako nosiče elektrického proudu.



Obr. 42 Závislost ionizačního proudu I na napětí U

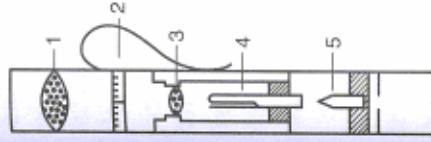
1 – úsek Ohmova zákona, 2 – úsek nasyceného proudu, 3 – úsek ionizace nárazem: a – úsek plné proporcionality, b – úsek částečné proporcionality, c – úsek Geiger-Müllerových detektorů

Protékající proud mezi elektrodami je přímo úměrný napětí při jeho malých hodnotách. Závislost tohoto ionizačního proudu I na napětí U mezi elektrodami je tzv. voltampérová charakteristika (obr. 42).

Ionty vzniklé účinkem ionizujícího záření získávají jen malou rychlost. Jejich počet se trvale nezvyšuje (jak by tomu mělo být, kdyby jednou vytvořený iont zůstal v plynu neomezenou dobu). Je to způsobeno tím, že ionizační vytvořené ionty mají omezenou dobu života a po určité době se znovu spojují v neutrální molekuly, rekombinují. Proud se zvyšujícím se napětím vzrůstá a tuto část voltampérové charakteristiky označujeme jako **úsek Ohmova zákona**. Pro detekci ionizujícího záření tuto část voltampérové charakteristiky nepoužíváme. Při dostatečně vysokém napětí mezi elektrodami (50–300 V) získávají ionty takovou rychlost, že rekombinace je téměř zanedbatelná a téměř všechny ionty dopadají na elektrody. Velikost proudu závisí jenom na intenzitě ionizujícího záření a nezávisí na napětí. Tuto oblast nazýváme **úsekem nasyceného proudu** a v tomto úseku pracují detekční přístroje s ionizačními komůrkami. K průtoku elektrického proudu slouží pouze primární ionty vytvořené průchodem ionizující-

ho záření. Detektorem je například válcová komora s centrálním vodičem vyplněná vzduchem nebo různými plyny.

Ionizační komůrka je tvořena dvěma od sebe i od vnějšího prostředí dobře izolovanými elektrodami, mezi nimiž je plynné prostředí. Rozlišujeme ionizační komůrky statické a impulzní. Pomocí statických komůrek měříme ozáření (expozici), a to tak, že měříme celkový průchod proudů komůrkou. Tento proud můžeme při velkých aktivitách měřit galvanometrem, při menších elektrometrem. Při malých aktivitách můžeme detekovat každou jednotlivou částici ionizujícího záření, která vletí do komůrky, a to tak, že do série s komůrkou zařadíme pracovní odpor, na kterém vznikne vždy po průletu částice napěťový impulz. Počet impulzů je potom úměrný počtu částic. Z tohoto důvodu hovoříme o impulzních ionizačních komůrkách. Příkladem je **tužkový dozimetr** (obr. 43). Ten se užívá k osobní dozimetrii pracovníků přicházejících do styku s ionizujícím zářením.



Obr. 43 Tužkový dozimetr

1 – okulár mikroskopu, 2 – stupnice, 3 – objektiv mikroskopu, 4 – vláknový elektrometr, 5 – nabíjecí kontakt

Detektory tohoto typu se přednostně používají pro měření vzorků o vysoké radioaktivitě. V praxi nukleární medicíny slouží jako měřiče (kalibrátory) celkové aktivity měřeného vzorku (v Bq) a také například jako osobní tužkové dozimetry. Měřit celkové aktivity je přístroj užíván v nukleární medicíně například pro měření radioaktivity radioaktivních látek a radiofarmak.

Při ještě vyšších napětích mezi elektrodami (nad 1000 V) nezávisí protékající proud na počtu iontových párů vytvořených v plynu průchodem ionizující částice. Ionty získávají takovou kinetickou energii, že jsou samy schopny při své cestě k elektrodám ionizovat neutrální molekuly plynu, takže každý primární iont vytváří další sekundární ionty. Tuto oblast voltampérové charakteristiky nazýváme **úsekem ionizace nárazem** a dělíme ji na tři menší úseky:

- úsek plné proporcionality, kde každý iont vytváří vždy stejný počet dalších iontů;
- úsek částečné proporcionality (nevyužívá se pro měření);
- úsek Geiger-Müllerových počítáčů. V tomto úseku i sekundární ionty

vznikající nárazem primárních iontů (vzniklých účinkem ionizujícího záření) naráží na neutrální molekuly plynu a získávají takovou energii, že mohou ionizovat další neutrální molekuly, takže ionizace se lavinovitě rozšiřuje do celého prostoru a celkové množství iontů již nezávisí na počtu primárních iontů.

Geiger-Müllerova trubice pracuje na obdobném principu jako ionizační komůrka, ale na elektrody se přivádí takové napětí, které vyvolává lavinovitou ionizaci nárazem (na obrázku oblast 3, napětí vyšší než 1000 V). Jediná částice ionizujícího záření vyvolá vznik 10^6 – 10^8 iontů, takže mezi katodou a anodou proběhne proud (proudový impuls), který zaregistrujeme pomocí čítače. Počet impulsů je přímo úměrný počtu částic, které proletěly trubicí. Aby byla trubice připravena zaregistrovat další částici ionizujícího záření, musíme tento proud co nejrychleji přerušit (zhasit). Časový úsek, v němž detektor není schopen registrovat další záření, se nazývá **mrtvou dobou** (mrtvá doba měření je dána vlastně mrtvou dobou elektroniky). Zahnuje čas potřebný k registraci impulsu počítáje interakcí ionizujícího záření v prostředí až po vytvoření, zesílení a registraci impulsu.

Mrtvá doba Geiger-Müllerových počítáčů je 100–500 μ s, scintilačního detektoru s NaI(Tl) krystalem 0,5–5 μ s (viz dále). Ztráta registrované četnosti představuje problém při měření zdrojů s vysokou radioaktivitou. Řešení spočívá buď ve snížení radioaktivity, nebo v korekci registrované četnosti. V současnosti se používají tzv. samozhášecí trubice. K jejich základní náplni, kterou je jednoatomový plyn (např. argon), se přidává 10 % plynu s molekulou tvořenou více atomy (metan). Geiger-Müllerovy trubice se používají například k monitorování úrovně radiace v pracovním prostředí jako měřiče kontaminace pracovního prostředí a osob či jako jiné měřiče relativní radioaktivity. Jsou citlivější než ionizační komory, nemohou však rozlišit záření různých druhů a energií. Jejich účinnost pro korekci puskulární záření α a záření β^- je téměř 100%, pro rentgenové a γ záření však pouze 1–2 %.

Hlásiče úrovně radioaktivity v prostředí jsou obdobná zařízení. Jsou konstruována tak, že zvukovým anebo světelným signálem informují o překročení úrovně radiace v prostředí (např. na vyšetřovně nebo v laboratoři). Úroveň, jejíž překročení přístroj hlásí, lze libovolně předem nastavit, protože při různých činnostech se používá různě vysokých aktivit a trvalý signál by působil rušivě.

Moderační detektory

Slouží k detekci neutronů a ke stanovení jejich energie. Jsou tvořeny látkou, která účinně zpomaluje (moderuje) neutrony; je to zpravidla látka s vysokým obsahem vodíku, například parafin, polyetylen apod.

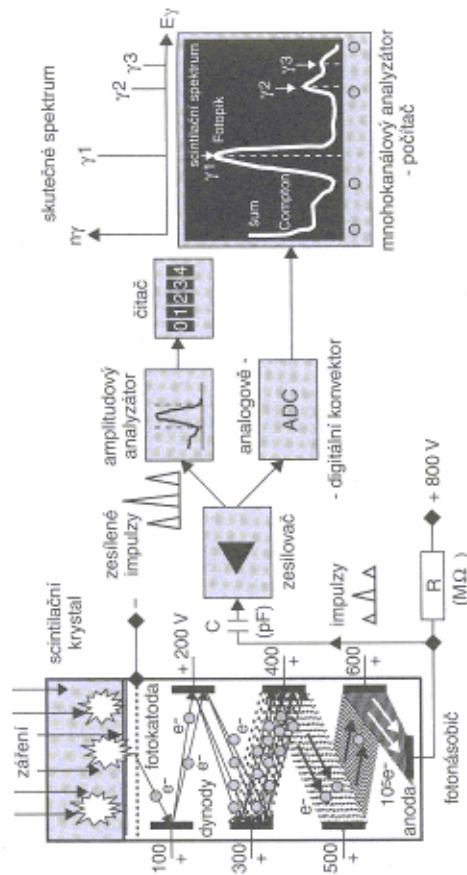
Scintilační detektor

Scintilační detektor (obr. 44) se principiálně skládá ze scintilátoru a fotonásobiče. Celá scintilační detekční souprava pak navíc obsahuje předzesilovač, zesilovač, amplitudový analyzátor impulsů a příslušné registrační či paměťové zařízení.

Scintilátor je **luminiscenční krystal** (nebo jiná vhodná látka), ve kterém dochází k přeměně absorbovaného nekorpuskulárního ionizujícího γ záření nebo rentgenového záření ve fotony viditelného světla (procesem excitace elektronů a jejich následné deexcitace). Scintilační (velice slabé) záblesky jsou pak přeměněny fotonásobičem na elektrické impulsy.

Princip je společný všem scintilačním detektorům, které se v praxi odlišují hlavně složením luminiscenčního krystalu. Pro různé energie ionizujícího záření můžeme použít různé typy tekutých nebo pevných scintilátorů. V nukleární medicíně se rutinně užívají zejména pevné anorganické scintilační krystaly, obsahující těžké prvky (hlavně jodid sodný s příměsí thalia). Slouží k detekci záření γ a také rentgenového záření. Scintilační krystaly jsou hermeticky uzavřeny v hliníkovém obalu. Jsou velmi křehké, a proto se s nimi musí zacházet opatrně. Teplota v místnosti se nesmí rychle měnit, aby nedošlo k rozlomení krystalu, a tím k těžkému poškození přístroje.

Fotonásobič transformuje světelné fotony na tok elektronů. Skládá se z **fotokatody** naléhající přes dobrý světlovodič na scintilátor, dále ze **soustavy elektrod** (dynod) uprostřed a z **anody** na konci odvráceném od scintilátoru. Registrace jednotlivých scintilací (světelných záblesků) se uskutečňuje tak, že část fotonů viditelného světla, uvolněných ve scintilátoru, dopadne na fotokatodu fotonásobiče, ze které se uvolní malé množství fotonů. Za fotokatodu následuje několik vůči katodě kladně nabitých elektrod (tzv. dynod), jejichž kladné napětí se postupně zvyšuje. Protože povrchová vrstva dynod má tu vlastnost, že dopadající elektrony uvolňují z jejího povrchu další elektrony ve větším množství, prvotní malé množství elektronů uvolněných z fotokatody se dopadem z jedné dynody na druhou



Obr. 44 Principiální schéma popisovaného scintilačního detektoru a následného zpracování signálu

postupně zmnožuje, a to v konečném rozsahu 10^6 – 10^7 násobněm. Nakonec dopadnou všechny uvolněné elektrony na anodu, aby tu vytvořily dobře měřitelný elektrický impuls. Mezi fotokatodu a anodu je přivedeno vysoké napětí kolem 1000 V. Vše je uzavřeno v evakuované skleněné světlotěsně uzavřené trubici.

Elektrické impulsy registrované na anodě jsou dále tvarovány v **předzesilovači** tak, aby amplituda elektrického impulsu byla úměrná počtu světelných fotonů dopadajících na fotokatodu a aby tím i počet světelných fotonů byl úměrný energii fotonů (γ nebo rentgenového záření) interagujících s hmotou scintilačního krystalu.

Impulsy jsou poté zesíleny v zesilovači. **Zesilovač** zvyšuje signál přicházející z předzesilovače a propouští ho dále do analyzátoru impulsů ke třídění v závislosti na jeho amplitudě. **Jednokanálový amplitudový analyzátor** používá dvou diskriminátorů, a to horního a dolního. Amplitudy impulsů, které projdou amplitudovým analyzátozem, leží mezi diskriminačními úrovněmi obou diskriminátorů. Rozdíl těchto diskriminačních úrovní se nazývá šířkou kanálu nebo pouze kanálem. Celé amplitudové spektrum získaných impulsů lze zjistit tak, že posunujeme diskriminační úroveň (úzkého kanálu) bod po bodu od 0 (eV, keV) a měříme počty impulsů v jednotlivých energetických úrovních. Tímto způsobem prováděné měření je velice zdlouhavé, neboť pro celé spektrum je nutno měřit asi

50–100 bodů, aby byl tvar spektra dobře hodnotitelný. Proto byly sestaveny vícekanalové amplitudové analyzátoři, sestávající z mnoha jednodokanálových analyzátorů zapojených paralelně, které měří počty impulsů současně, avšak každý v jiném kanálu. Umožňují tak změřit celé spektrum současně.

Analyzátor impulsů tedy propouští pouze impulsy předem zvolené výše, a ty jsou nakonec registrovány v **koncové jednotce**, již může být buď čítač (počet impulsů zaregistrovaných za předvolený čas), integrátor (udávající průměrovanou průběžnou četnost impulsů/čas) nebo paměťová jednotka.

Speciálně vybaveným scintilačním detekčním systémem lze získat energetické spektrum zářiče, tj. distribuci četnosti impulsů v závislosti na energii všech registrovaných impulsů. V ideálním případě by energie γ záření tvořila jedno či více čárové spektrum v důsledku registrované energie záření γ . Reálně však vždy místo čáry registrujeme širší „fotopík“ tvaru gaussovské křivky. Je to způsobeno mnoha různými náhodnými procesy v celém průběhu detekce a registrace čar, neboť jak radioaktivní přeměna, tak celý systém měření má statistický charakter.

19 Využití ionizujícího záření v medicíně

19.1 Záření γ

Úkolem nukleární medicíny je využití otevřených radioaktivních zářičů zejména v diagnostice, ale také v terapii a v lékařském výzkumu.

Při radionuklidových vyšetřovacích metodách aplikujeme pacientovi do organismu vhodnou chemickou látku s navázaným radionuklidem (**radiofarmakon**).

Radioaktivní farmaka používána k humánní aplikaci se od ostatních farmak liší tím, že v jejich molekulách je zabudovaný radioaktivní atom. Jestliže je jen určitá část molekul značená radionuklidem, hovoříme o **radioaktivní látce s nosičem**; **beznosičová radioaktivní látka** je taková, kde je radionuklid obsažen ve všech molekulách dané látky. Při diagnostických studiích jsou hmotnosti aplikovaných radiofarmak často na hranici chemické prokazatelnosti. Proto se nemohou radiofarmaka dávkovat podle jejich hmotnosti. Jejich „množství“ vyjadřujeme v jednotkách radioaktivity, tedy v becquerelech, resp. v jejich násobcích (kBq, MBq apod.).

V diagnostice jsou radiofarmaka používána jako **indikátory kinetiky** různých látek nebo jako **indikátory distribuce** cílové metabolizující nebo funkční tkáně apod. Radiofarmaka jsou otevřenými radioaktivními zářiči, po aplikaci do organismu vstupují do kinetiky či různých metabolických dějů v závislosti na své chemické struktuře. Chemická skladba radiofarmaka tedy určuje jeho začlenění do kinetiky či do metabolických procesů a zabudovaný radionuklid umožňuje buď externí sledování, nebo sledování jeho radioaktivity v biologických tekutinách či exkretech. Po podání radiofarmaka člověku je radioaktivní záření z něho emitované detekováno detektorem vně pacientova těla.

Pro tuto úlohu jsou nejvhodnější radiofarmaka značena **čistými zářiči γ** . Pronikání záření γ na povrch organismu umožňuje sledovat osud radiofarmaka v organismu jeho zevní detekcí. Aplikované radiofarmakon vstoupí do metabolismu a distribuuje se v organismu podle své farmakokinetiky (byla vyvinuta řada druhů radiofarmak s afinitou k ledvinám, játrům, kostem, myokardu, některým nádorovým či zánětlivým tkáním). V jiném případě se radionuklid vstříkne do krevního oběhu a sleduje se dynamika jeho

průchodu např. srdcem, plicemi a velkými cévami (v tomto případě bez metabolické vazby na konkrétní orgán či tkáň). Distribuce radiofarmaka odráží konkrétní fyziologický či patologický stav nebo funkci příslušných orgánů a tkání. V nejjednodušších případech stačí prosté změření intenzity vycházejícího záření γ z určitého místa (např. ze štítné žlázy – pro stanovení její akumulace) kolimovanou sondou.

Pro komplexnější diagnostiku však potřebujeme změřit (zobrazit) celou distribuci radiofarmaka včetně lokálních detailů a anomálií. K tomu slouží metoda zvaná **scintigrafie**. Je to metoda zobrazení distribuce radiofarmaka v organismu na základě zevní detekce vycházejícího záření γ . **Z hlediska časového** je základním druhem **scintigrafie statická**. Je to vytvoření scintigrafických obrazů vyšetřované oblasti (bez ohledu na čas). Pokud sledujeme děj měnící se s časem a zajímá nás jeho dynamika, provádíme **dynamickou scintigrafii** – je to série (statických) snímků vyšetřované oblasti postupně v různých časech. U dynamické scintigrafie můžeme nejen vizuálně sledovat pohyb a časové změny distribuce radiofarmaka v organismu, ale vytvářet příslušné dynamické křivky a matematickou analýzou stanovovat kvantitativní parametry funkce jednotlivých orgánů.

Rozdíl mezi statickou a dynamickou scintografií je analogický jako mezi fotoografováním a filmováním: Filmový záběr se skládá z velkého počtu krátkých (statických) snímků (políček filmu) v rychlém sledu za sebou, které pak při rychlém promítnutí vzbuzují dojem plynulých pohybů.

Z hlediska prostorového (geometrického) je základním druhem **scintigrafie planární** – je to obraz projekce distribuce radiofarmaka do dvojrozměrné zobrazené roviny. Planární scintigrafické obrázky mají však úskalí – možnost překryvání a superpozice struktur uložených v různých hloubkách. Pomáháme si zde sice zobrazováním ve více různých projekcích, avšak riziko falešného nálezu či neodhalení anomálie v hlubších vrstvách organismu, překrytých jinou strukturou, nelze nikdy vyloučit. Prostorové trojrozměrné zobrazení poskytuje **scintigrafie tomografická**. Je realizována nejčastěji jako série planárních obrazů vyšetřovaného místa, snímaných pod mnoha různými úhly (0° – 360°) detektorem kamery obíhající kolem pacienta. Počítačovou rekonstrukcí se pak z těchto obrazů konstruuji tomografické obrázky příčných řezů vyšetřovaným objektem. Tato metoda se označuje jako **SPECT** (jednofotonová emisní počítačová tomografie). Další tomografickou metodou je **PET** (pozitronová emisní tomografie).

Obecně nazýváme vyšetřovací metody, při kterých je radioaktivní látka aplikována pacientovi, metodami emisními (metody nukleární medicíny, PET, SPECT), v případě, že ionizující záření vychází ze zdroje a organizmus prozradí, metodami transmisními (CT, radiologické metody).

19.2 Scintilační kamera

Scintilační kamera (nazývaná často i gamakamerou) je zařízení, které detekuje distribuci fotonů záření γ z celého zorného pole, převádí je na elektrické impulzy a pomocí nich pak na displeji vytváří scintigrafický obraz distribuce radiofarmaka v tomto zorném poli.

Schéma vyšetření a popis činnosti scintilační kamery

Mějme modelový vyšetřovaný objekt, v němž jsou lokalizovaná ložiska patologicky zvýšené akumulace radiofarmaka. Z každého místa depozice radioaktivní se na všechny strany emituje záření γ , které je součástí radiofarmaka. Díky své pronikavosti vychází **záření γ** z vyšetřovaného objektu ven. Aby mohlo pomoci emitovaného záření γ vzniknout zobrazení, je nutno nejdříve provést jeho kolimáční projekci. Dosáhneme toho tak, že vycházejícímu záření γ dáme do cesty **kolimátor** (olověnou desku provrtanou velkým množstvím drobných rovinných otvorů), kterým mohou projít pouze ty fotony γ , které se pohybují přesně ve směru osy otvorů. Ostatní fotony, které jdou „šikmo“, se pohltnou na olověných přepážkách mezi otvory kolimátoru. Za kolimátorem je umístěn **scintilační detektor**. Každý foton záření γ , který dopadá na detektor, vyvolá v jeho krystalu excitaci atomů, výsledkem které je (v průběhu deexcitace) scintilační záblesk fotonů viditelného světla. Viditelné světlo dopadá na fotokatodu, z ní uvolní elektron a elektrický impulz je zesilován soustavou fotonásobičů. Impulzy z jednotlivých fotonásobičů jsou vedeny na elektrický obvod zvaný **komparátor**, kde se provádí porovnávání amplitud impulzů a vytvářejí se výsledné souřadnicové impulzy X a Y – ty již nesou přímou informaci o poloze scintilace v krystalu, a tím i o poloze místa v organismu, z něhož byl příslušný foton γ vyzařen. Sumační impulzy se pak vedou na **amplitudový analyzátor**, který propouští pouze impulzy odpovídající totální absorpci záření γ v krystalu. Amplitudy souřadnicových impulzů X a Y potom ADC-konvertor (analogové digitální převodník) převede na digitální (číselnou) informaci. Tak postupně fotony záření γ , převedené na elektrické impulzy a zdigitalizované, osazují buňky v obrazové matici paměti počítače, podle místa vyzáření, střádá se digitální scintigrafický obraz tvořený číselným obsa-

hem buněk obrazové matice v paměti počítače. Obrazová matice z paměti počítače je pak elektronicky zobrazována („mapována“) na obrazovku monitoru počítače. Nakonec nastupuje interpretace všech těchto dílčích údajů a výsledků, která spolu s výsledky dalších metod vytváří ve vyslovení diagnózy.

19.3 Tomografická scintigrafie

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

Jednofotonová emisní počítačová tomografie – SPECT

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

Pozitronová emisní tomografie – PET

Při ní je pacientovi aplikováno pozitronové β^+ radiofarmakon, které v místech své distribuce emituje pozitrony e^+ , které vzápětí **anihilují** s elektrony e^- za vzniku dvou fotonů γ vylétajících do opačných směrů (180°). Tomografického efektu se pak dosahuje současnou koincidenční detekcí těchto dvojic fotonů γ , vylétajících z místa svého vzniku v protilehlých směrech (pod úhlem 180°), načež počítačovou rekonstrukcí velkého počtu takových koincidenčních paprsků se opět vytváří tomografický obraz příčného řezu vyšetřované oblasti.

Zásadním rozdílem oproti klasické planární nebo SPECT scintigrafii je to, že detektory nejsou opatřeny olověnými kolimátory s mnoha otvory,

neboť kolimace je realizována elektronicky, což vede k podstatně vyšší de- tekční účinnosti PET ve srovnání se SPECT.

19.4 Rentgenové záření

Diagnostické využití rentgenového záření

Diagnostické využití rentgenového záření závisí na schopnosti všech tkání a orgánů pohlcovat v různé míře rentgenové paprsky. Tato schopnost vzrůstá s rostoucím protonovým číslem prvků nacházejících se v absorbu- jící tkáni. Podle způsobu znázorňování obrazu rozdělujeme diagnostické využití rentgenového záření na skiaskopii (prosvěcování) a skiografii (snímkování).

Pod názvem **přímá** (klasická) **skiaskopie** rozumíme prosvěcování pa- cienta rentgenovým zářením při současném vizuálním pozorování vznik- lého obrazu na fluorescenčním stínítku (štitě). Nevýhodou je, že se provádí v dokonalé zateměné místnosti, takže lékař, který vyšetřuje, se musí adaptovat na vidění ve tmě. Adaptace na vidění ve tmě je delší než adap- tace na světlo. Hlavní nevýhodou je ale daleko větší dávka rentgenového záření absorbovaná pacientem než při skiografii. Výhodou skiaskopie je, že umožňuje prostorovou představu při lokalizování patologického loži- ška a sledování dynamických dějů, například pozorování dýchacích pohy- bů bránice, pulzaci srdce, pohybů žaludku, střev apod. Přímá skiaskopie se dříve využívala velmi často, avšak vzhledem k vysoké radiační zátěži vyšetřujícího rentgenologa (a též pacienta) se od ní již ustoupilo. **Nepří- má skiaskopie** se provádí na přístrojích vybavených zesilovačem obrazu a elektronickým snímáním obrazu. Tato nepřímá skiaskopie se nyní použí- vá k vyšetřování dynamických dějů (koronární arteriografie, transhepatál- ní cholangiografie) a při intervenčních výkonech, kde je potřebná vizuální kontrola precizních prací prováděných uvnitř organismu – zavádění ruz- ných sond a katetrů, implantace kardiostimulátorů, koronární angioplas- tika atd.

Skiografie je rentgenologická metoda, při níž se místo štítu používá rentgenový film. RTG záření, prošlé vyšetřovanou tkání, dopadá na foto- grafický film obsahující halogenidy stříbra (bromid stříbrný), v němž foto- chemickou reakcí dochází k uvolňování stříbra z jeho vazby ve slouče- nině – vzniká latentní obraz, který je při vyvolání ve vývoje zviditelněn

pomocí hustoty zrníček koloidního stříbra; zbylý bromid stříbra se rozpustí v ustalovači. Hustota zčernání filmu je úměrná množství prošlého RTG záření. Vzniklý RTG fotografický obraz představuje negativní zobrazení hustoty tkáně: Místa s nízkou hustotou (měkké tkáně) mají nižší absorpci, a proto vysoké zčernání; místa s vysokou hustotou (např. kosti) více absorbují RTG záření a jsou proto na filmu zobrazena světle (s nízkým zčernáním). Pro RTG snímkování se používají speciální filmy, jejichž emulze je tlustší a ve srovnání s běžnými fotografickými materiály obsahuje zvýšený obsah halogenidů stříbra. Celkově však je použití filmů a „mokrého procesu“ na ústupu, budoucnost patří elektronickému snímání a digitalizaci RTG obrazů.

Někdy se zhotovuje rentgenový snímek na podkladě předcházející skioskopie. Tyto snímky nazýváme cílenými. Výhodou rentgenových snímků je to, že jsou trvalým dokladem a že dovolují studium i velmi malých podrobností. Nevýhodou je, že zachytí jenom výsek děje a nemohou tedy sloužit k přesnému studiu funkce orgánů lidského těla, tj. nejsou vhodné pro studium dynamických dějů.

Při celé řadě rentgenologických vyšetření požadujeme, aby vyšetřovaný orgán vynikl kontrastně proti svému okolí. Používáme k tomu **kontrastní látky**, kterými příslušný orgán naplníme. Podle velikosti pohlcování rentgenového záření rozdělujeme kontrastní látky na **pozitivní** a **negativní**. Pozitivní kontrastní látky pohlcují záření více než vyšetřovaný orgán. Takovou látkou je například siran barnatý, který používáme k vyšetřování trávicího traktu. Jod se používá například k vyšetření močových nebo žlučových cest nebo k vyšetření cév (pozor na alergii). Negativní kontrastní látky pohlcují záření méně než vyšetřovaný orgán. Mezi ně patří například vzduch, O_2 , oxid dusný apod. Plyny se zavádějí jehlou, sondou nebo cévkou.

Rentgenová počítačová tomografie

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

Pacient je fixován na posuvném lůžku, které postupně prochází snímacím (skenovacím) stojanem, v němž je na jedné straně šterbinový zdroj rentgenového záření (rentgenka), na opačné straně řada scintilačních detektorů ionizujícího záření. Zdroj rentgenového záření a scintilační detektor

ry jsou pevně spojeny. Úzký svazek záření prochází tělem pacienta, kde se částečně absorbuje. Míra zeslabení rentgenového záření je přímo úměrná absorpčním vlastnostem tkání a stanovuje se pomocí scintilačních detektorů. Potom se systémem rentgenka – scintilační detektory pootočí o určitý úhel a celý děj se opakuje. Všechny údaje jsou v počítači zpracovány a výsledný tomogram je dán hodnotami absorpčních koeficientů z jednotlivých míst tkání daného řezu. Absorpční vlastnosti různých tkání lidského těla se vyjadřují relativně v tzv. **CT - číslech**. Pro vzduch má CT číslo hodnotu -1000, pro kostní tkáň +1000.

RTG záření využívá k zobrazování například:

- dýchacích cest: bronchografie;
- srdečně cévního systému: angiokardiografie, koronarografie, flebografie;
- trávicího systému: rentgen žaludku, nativní snímek břicha, irigografie, cholecystografie, cholangiografie;
- močového systému: vylučovací urografie, pyelografie, cystografie;
- nervového systému: nativní snímek, tomografie, angiografie mozku a míchy, kyfotická angiografie.

Dnešní zobrazovací metody jsou v nemocnicích většinou spojeny pod PACS (Picture Archiving and Communications System), který umožňuje přenos obrazové informace z jednotlivých zobrazovacích zařízení k lékaři. Pomocí DICOM (Digital Image and Communications In Medicine) dochází k přenosu z libovolného zobrazovacího zařízení. S tím souvisí i další biomedicínský okruh – telemedicína. Telemedicína slouží jednak ke konzultacím obrazových informací na vzdálených pracovištích, k možnosti spolupráce kliniky navzájem, e-edukaci, e-learningu a v současnosti hojně provozovanému homeworking, tj. zpracování obrazové informace doma a případně konzultace přímo z domova.

19.5 Radioterapie

Předpokladem radioterapeutického využití ionizujícího záření jsou jeho **letální účinky na buňky orgánů a tkání**, tj. schopnost vyvolat jejich zánik, spolu se skutečností, že citlivost různých buněk ke smrtelnému působení záření se ve velkém rozsahu mění. Obecně platí, jak je uvedeno níže, že buňky jsou vůči záření tím citlivější, čím vyšší je jejich proliferací (mitotická) aktivita a čím nižší je stupeň jejich diferenciací. Proto právě zhoubné nádory (zvlášť rychle rostoucí, s vysokou mitotickou akti-

vitou a nediferencované) bývají velice citlivé vůči radioaktivnímu záření. Bylo prokázáno, že **rozhodující strukturou**, jakýmsi terčem radiačního působení na buňku, je **jaderná deoxyribonukleová kyselina (DNA)**. Rozsah i kvalita jejího poškození se výrazně mění v průběhu buněčného cyklu. Její citlivost je nejvyšší právě ve fázích úzce souvisejících s buněčným dělením. Výsledek úspěšné radioterapie zhoubných nádorů je často důsledkem rozdílu citlivosti na záření mezi nádorovými buňkami a buňkami okolní zdravé tkáně. Při léčbě zhoubných nádorů zářením jsou cíle radiobiologického efektu v nádorové tkáni proti normálním tkáním a orgánům odlišné. Aplikace nádorové letální dávky vyžaduje maximální účinek na nádor, ale minimální poškození zdravého okolí. Buňky dobře zásobené kyslíkem jsou citlivější na záření než buňky kyslíkem málo zásobené.

Při léčebném použití ionizujícího záření je nutné vycházet z poznatku, že každá dávka vpravená do organismu znamená určitou trvalou zátěž, která se během života sčítá.

Díky technickému pokroku v posledních letech je možné i samotnou léčbou ionizujícím zářením docílit úplného zhojení některých zhoubných nádorů, radioterapie se stává rovnocennou léčbě chirurgické. Velice důležitá je správná volba dávky a techniky ozařování. Podceňení velikosti dávky v ozařované tkáni může v budoucnu vést k novému zhoubnému růstu nádorových buněk.

Je jasné, že každá radioterapie má také vedlejší účinky, které jsou způsobeny radiačním poškozením zdravých orgánů a tkání, vyskytujících se v bezprostřední blízkosti ozařovaného ložiska. Časné reakce na ozařování vznikají v týdnech po ozaření, jsou výrazné zejména na kůži a sliznici. Pozdní reakce se objeví někdy až za několik let po ozaření.

19.6 Terapeutické využití rentgenového záření

Na podkladě všech poznatků medicíny byly vyvinuty účinné metody a techniky rentgenové terapie, které jsou nepostradatelné v komplexní léčbě zhoubných nádorů.

Pronikavost použitého rentgenového záření se volí podle lokalizace, cílového objemu nádoru a podle radiosenzitivity samotného nádoru i okolní tkáně. Podle těchto kritérií rozeznáváme **povrchovou, polohlubkovou, konvenční hlubkovou a vysokovoltážní terapii**.

Pro povrchovou radioterapii je charakteristický vysoký dávkový příkon na povrchu (kůže, sliznice) se strmým spádem intenzity. Pracuje s energií fotonů kolem 50 keV.

Polohlubková radioterapie se užívá pro léčbu nádorů umístěných těsně pod kůží. Do této kategorie patří všechny konvenční rentgenové přístroje s nastavením energie fotonů do 100 keV.

Konvenční hlubková radioterapie se provádí pomocí rentgenových přístrojů s nastavením energie fotonů 200–400 keV. Hodí se na ozařování i hlouběji pod povrchem umístěných nádorů.

Výsokovoltážní radioterapie se užívá při ozařování tumorů uložených v hloubce. Pod pojmem megavoltážní terapie jsou shrnuty všechny přístroje, které produkuje fotonové záření (ale také korpuskulární záření) o energii vyšší než 1 MeV. Čím má záření větší energii, tím hlouběji pronikne pod ozařovaný povrch, a tím větší je hlubková dávka. **Lineární urychlovače** slouží k přípravě vysokoenergetického rentgenového záření a elektronů.

19.7 Terapie pomocí záření γ

V radioterapii se využívají radionuklidy emitující záření gama s vhodnou energií a vhodným fyzikálním poločasem přeměny. Jsou to tzv. **kobaltové a cesiové ozařovače**.

Rozeznáváme dvoji mechanismus ozařování: Zdroj setrvává v klidu a primární svazek záření γ propouští pohyblivá clona, umístěná těsně pod výstupním kanálem krytu, anebo se zdroj uvnitř hlavičky pohybuje, rotuje nebo je vysouván z centra hlavičky nad výstupní kanál.

Kobaltové ozařovače označujeme jako ozařovače velké, neboť mají velkou aktivitu zdroje (nejméně $3,7 \cdot 10^{13} \cdot s^{-1}$). Jsou určeny pro hlubkovou radioterapii. Radioaktivní kobalt ^{60}Co (fyzikální poločas přeměny ^{60}Co je 5,29 roku) emituje dvě kvanta záření gama o energiích 1,17 a 1,33 MeV, která mají velkou pronikavost. ^{60}Co bývá uzavřeno ve formě plochých kroužků anebo drobných válečků (1x1 mm) v hliníkovém nebo ocelovém kontejneru (24x24 mm). Ochranná hlavička má tvar koule o průměru až 60 cm. Je z olova a uvnitř ní je jádro z wolframové slitiny nebo uranu (mají vyšší absorpci než olovo). Hlavička má kanálový otvor, z něhož vystupuje primární svazek záření γ .

Radioaktivní cesium ^{137}Cs emituje kvantum záření gama o energii 0,66 MeV. Jeho fyzikální poločas přeměny je 30,4 roku. Užívá se k ozařování patologických ložisek do hloubky maximálně 5 cm.

Díky relativně dlouhým fyzikálním poločasům ^{60}Co a ^{137}Cs klesá intenzita záření γ produkovaného těmito ozařovači s časem velmi pozvolně.

Lars Leksell hledal možnosti jak odstranit intrakraniální lézi zcela atraumaticky (bez otevření lebky) pomocí ionizujícího záření. V roce 1951 definoval princip tzv. **radiochirurgie**. Princip je ve své podstatě velmi jednoduchý. Dostatečný počet zdrojů vhodného ionizujícího záření je umístěn tak, že svazky paprsků z těchto zdrojů se protínají v společném ohnisku. V případě gama nože je to 201 zdrojů záření gama izotopu kobaltu ^{60}Co . Zatímco dávka záření jednotlivého svazku paprsků je relativně malá, v ohnisku, kde se svazky protínají, se tyto dávky sčítají. Dávka v ohnisku je proto vysoká a vyvolává v živé tkáni biologickou odpověď – nekrotickou lézi. Dávka vyvolaná jednotlivým paprskem signifikantní odpověď nevyvolá. Radiobiologická odpověď ve tkáni trvá několik dní až několik let. Nečastějšími indikacemi k radiochirurgické léčbě jsou arteriovenózní malformace a benigní i maligní nádory (zejména mozkové metastázy).

Gama nůž jako léčebná metoda má nulovou mortalitu a malou morbiditu. Představuje eliminaci obávaných rizik konvenční terapie, jako je krvácení, infekce, nutnost pooperační rekonvalescence. Pacient může pokračovat ve svém obvyklém životě následující den po operaci.

19.8 Léčba částicemi

V současné době se intenzivně rozvíjí léčba těžkými částicemi – hadrony. Jsou to částice, které navzájem působí prostřednictvím silné jaderné interakce. Mezi hadrony užívané v radioterapii patří: protony, neutrony a ionty.

Nové urychlovače umožňují dosáhnout obrovské energie protonům (až GeV), aby protony pronikly do libovolného místa lidského těla. Pohyblivý systém vývodu protonu tvoří gantry o průměru i 11 m, jež rotuje kolem pacienta a vysílá tak svazek z libovolného místa a také počítacem řízené pohyblivé lůžko, pohybuující se v soustavě x, y, z. Svazek protonů lze upravit jak stranově, tak i hloubkově.

V medicíně plní urychlovače dvojitý úlohu – pro diagnostické účely dodává urychlovač záření, které prochází pacientem, nebo se s jeho pomocí připravují radioaktivní látky, které se aplikují pacientům.

Důvody, proč používat v radioterapii protony, spočívají v tom, že rozdělení dávky ve tkáni je mnohem příznivější než u fotonů a elektronů. Mají dobře definovaný dolet ve tkáni a téměř žádný rozptyl do stran. Maximum dávky se předává až na konci dráhy (Braggův pík). Za Braggovým píkem nastává prudký pokles dávky, tj. malé kolísání doletu.

Hloubka, ve které se nachází Braggův pík, zaleží na počáteční energii protonů a na materiálu, kterým procházejí. Modulováním svazku pomocí absorbátorů lze vhodně umístit řadu Braggových píků do určité oblasti, a tak jimi přesně pokrýt celý objem v hloubce uložené nádorové tkáně.

Pomocí protonové terapie se provádějí například:

Stereotaktická jednorázová radioterapie pro nezhoubná onemocnění, terapie očních nádorů, léčba některých nádorů mozku (zejména chondrosarkomy ve spodní lebeční), nádorů hlavy a krku, adenokarcinomů prostaty, ozařování protony bylo indikováno i u nádorů v blízkosti pátého a sarkomy měkkých tkání.

Svazky iontů jsou zatím nejdokonalejším nástrojem pro externí léčbu hluboko umístěných nádorů, zejména neoperovatelných nádorů v oblasti hlavy a krku.

Klinické výsledky léčby pomocí neutronů jsou velmi povzbudivé v případech některých nádorů uložených na specifických místech, např. pro léčbu nádorů slinných žláz je považována za nejvhodnější (jiné oblasti: nádory prostaty, některé nádory hlavy a krku, některé plicní nádory a sarkomy kostních či měkkých tkání).

Novým slibným směrem je léčba neutronovým zachytem na bóru. Využívá se při ní toho, že v některých nádozech – zejména v mozku – se akumulují sloučeniny bóru. Při ozaření se část neutronů zachytí v jádrech bóru a vznikají částice alfa nebo jádra lithia s velkou energií. Ty pak plně odevzdají svoji dávku záření uvnitř nádoru a nedolétnou do zdravé tkáně.

Aby ozařování mohlo splnit svou úlohu, musí být přizpůsobeno biologickým změnám, kterým podléhá každé ozařované prostředí v rámci svého vzniku, růstu, dozrávání a zániku. Vzhledem k tomu, že v každé, a tedy i v nádorové tkáni jsou buňky v různých stadiích buněčného cyklu a navíc i v různém stupni zralosti, je nemožné docílit, aby jediná dávka záření byla maximálně účinná pro všechny buňky v nejcitlivější fázi. Z toho vyplývá, že jednorázové ozaření (aplikace celé dávky záření najednou) je pro docílení terapeutického účinku neefektivní. Proto se potřebná celková dávka dělí na několik částí. Po každé takovéto dávce je zničena ta část buněk, která se právě v tom čase nachází ve své nejcitlivější fázi. Celková dávka rentgenového záření je tak schopna zasáhnout v nejcitlivější fázi postupně všechny ozařované buňky.

19.9 Ozařovací plán

Ozařovací plán lze rozdělit do tří etap:

1. etapa – lokalizace nádoru. Stanovuje se hlavně na podkladě některých zobrazovacích metod. Nejvýznamnější metodou k určení lokalizace zhoubného nádoru je výpočetní tomografie (CT) a nukleární magnetická rezonance (NMR).
2. etapa – na podkladě všech získaných informací se zvolí vhodný zdroj rentgenového záření a způsob aplikace.
3. etapa – zakreslení ozařovacího pole na nemocném.

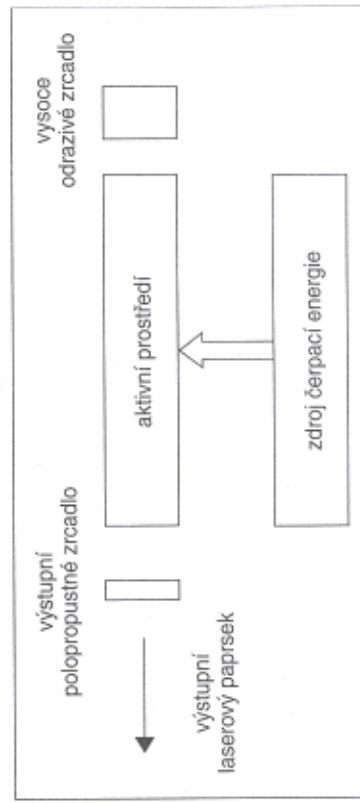
20 Laser a jeho uplatnění ve zdravotnictví

20.1 Lasery, fyzikální podstata

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

Lasery pracují především v optické oblasti spektra a využívají **jevu stimulované emise** záření aktivních atomů, molekul, iontů nebo elektronů **buzených vnějším zdrojem** energie. Vynálezem laseru získala věda nový zdroj světla s vlastnostmi, kterých by u klasických světelných zdrojů (žárovky, zářivky, výbojky) nebylo možné dosáhnout. Lasery jsou založeny na stimulované emisi fotonů ze soustavy, ve které většina atomů má elektrony v excitovaném stavu a na stejné hladině energie.

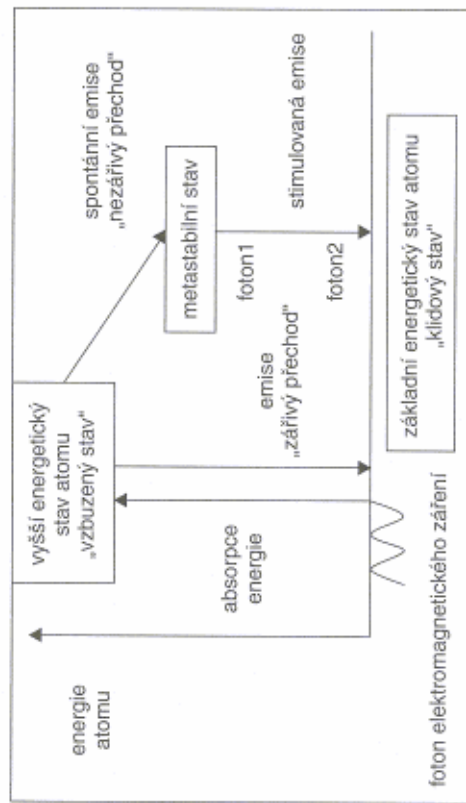
Obecný princip laserů (obr. 45) je stejný: každý laser obsahuje **aktivní prostředí** (kterým může být pevná látka, kapalina nebo plyn), **optický rezonátor**, který je tvořen obvykle zrcadly, mřížkami, světlovodem,



Obr. 45 Schematické znázornění principu laseru

a zdroj čerpací energie (proud elektronů, výbojky, jiné lasery, chemická reakce). Základem laserového přístroje je laserová hlava, v níž je v optickém rezonátoru umístěno aktivní prostředí, ve kterém vzniká stimulovaná emise záření, budící (čerpací) zařízení a řídicí jednotka.

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



Obr. 46 Schematické znázornění energetického stavu atomu

Atom se nachází v určitém energetickém stavu (obr. 46). Říkáme, že je na určité **energetické hladině** (největší pravděpodobnost má stav, ve kterém je celková energie atomu nejnižší). Svůj energetický stav atom mění **nabytím energie** a přechází do stavu **vyšší energetické hladiny** (např. působením elektrického pole při výboji ve trubici se zředěným plynem atom získává určitou energii, a proto přechází do excitovaného stavu). Zde ovšem nesetrvá dlouho, ale vrací se zpět do stavu s nižší energií. Přechod atomu do nižšího energetického stavu je spojen s **vyzářením energie** ve formě fotonů elektromagnetického záření. Tyto změny energie probíhají nahodile a označujeme je jako **samovolnou** (spontánní) **emisi fotonů** elektromagnetického záření. Za určitých podmínek (např. při elektrickém

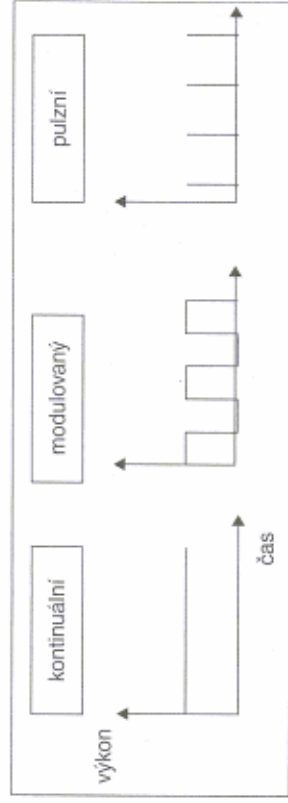
výboji ve speciální trubici obsahující směs helia a neonu za sníženého tlaku) lze dosáhnout toho, že se atomy udrží ve vzbuzeném stavu delší dobu a do nižšího energetického stavu přecházejí všechny vzbuzené atomy prakticky současně po větším podnětu (tzv. **vynucená emise**). Při vynucené emisi dopadá na atom kvantum elektromagnetického záření. Zastihne-li **atom na nízké energetické hladině**, může být atomem pohlceno a atom přeskočí na horní energetickou hladinu. Hovoříme o absorpci. Setká-li se elektromagnetické záření s **atomech na vysoké energetické hladině**, může ho „donutit“ vyzářit další kvantum energie (elektromagnetického záření) a přejít na spodní hladinu. Pak hovoříme o indukované emisi, tedy o fyzikálním jevu, na kterém je činnost laserů založena a jehož existenci předpokládal už Albert Einstein.

K praktickému využití vynucené emise bylo nutné vytvoření nerovnovážného stavu, kdy bude více atomů na vyšších energetických hladinách než na hladinách nižších. V takovém případě hovoříme o **populační inverzi**. Druhým technickým problémem bylo najít způsob jak udržet paprsek uvnitř aktivního prostředí dostatečně dlouhou dobu, aby stihl nabrat co nejvíce energie vynucených emisí. Aktivní prostředí je umístěno do rezonátoru a je tedy možné získané záření ještě více zesílit.

Vznikající záření má pak nejen velkou intenzitu, ale i další vlastnosti významné pro praktické využití. Záření laseru je soustředěno do velmi úzkého svazku paprsků a vzhledem ke značné intenzitě záření je laserovým paprskem přenášena také velká energie.

Lasery můžeme rozdělit podle různých hledisek:

- podle principu činnosti a aktivního prostředí na lasery sestrojené na bázi plynné, kapalné i pevné fáze i na bázi polovodičů;
- podle vlnové délky vyzařovaného elektromagnetického vlnění na infračervené, ultrafialové lasery a lasery pracující ve viditelné oblasti elektromagnetického vlnění;
- podle možnosti měnit vlnovou délku emitovaného záření na lasery s pevnou vlnovou délkou a lasery, s proměnnou vlnovou délkou;
- podle časového průběhu stimulované emise na pulzní lasery, s modulovaným výkonem a lasery kontinuální, kde je intenzita světla v čase konstantní (obr. 47).



Obr. 47 Schematické znázornění časového průběhu stimulované emise

20.2 Využití laseru

Laser se za dobu čtyřiceti let od svého vzniku uplatnil v celé řadě oborů. Jako přístroj se dnes využívá v medicíně, v mnoha odvětvích výzkumu, při různých technologických operacích ve výrobě, v astronomii, geodézii, metrologii, chemii, biologii, spektroskopii, v energetice, ve výpočetní technice, v technice spojů, ve vojenské technice, v automatizaci a dálkovém řízení. V laboratorní praxi i v klinickém výzkumu se využívá jako zdroj záření v mnoha optických přístrojích. Některé z těchto aplikací jsou popsány níže.

Lasery v medicíně

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

Ostrý svazek (proužek) laserových paprsků pro chirurgické zákroky se používá jako skalpel. Laser poskytuje cenné služby jako bezdotykový nástroj bezkrevní chirurgie. „Laserový nůž“ zanechává čisté řezy díky současnému připalování cév v řezané oblasti. Nd laser a CO_2 lasery lze použít jako chirurgické nože.

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

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

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

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

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

Laser v mikroelektronice

Od počátku sedmdesátých let 20. století se začaly objevovat technologie jako doladování jmenovitých hodnot odporů, kondenzátorů a elektrických filtrů.

Laser v astronomii, geodézii, geofyzice a ekologii

Velmi brzy po uvedení laseru do provozu byl laser použit v systému radaru jako vysílač záření. Pomocí tohoto tzv. laserového radaru jsou měřeny vzdálenosti k objektům, které odrážejí laserového záření zpět do směru přicházejícího svazku. Dosah laserového radaru je do 20 km při měření pozemních objektů, oblačnosti, letadel, lodí apod.

Vzdálenost 10 000 km byla dosažena při měření umělých družic Země a nejvzdálenější objektem měřeným laserovým radarem jsou laserové odražeče umístěné na povrchu Měsíce (asi 380 000 km). Přesnost měření vzdálenosti laserovým radarem je dána dosažitelnou přesností změření časového intervalu, geometrií měřeného objektu, konstrukcí a umístění odražečů, přesností matematického modelu šíření optického záření atmosférou. Hodnota přesnosti se pohybuje od několika decimetrů při měření objektu bez odražečů, až několika milimetrů při měření umělých družic Země.

V geodézii byl vyhodnocením dlouhodobých laserových družicových měření určen tvar zemského geoidu s přesností na 10 cm.

V geofyzice umožnila tato měření určit vzájemný pohyb částí pevnin (vzájemný pohyb kontinentů dosahuje rychlosti 4–5 cm za rok). Výsledky těchto měření jsou významné také pro seismologii.

V ekologii se laserové radary používají k měření znečištění ovzduší, vody apod.

Laser ve výpočetní technice

Pro tuto aplikaci se využívají z důvodů malých rozměrů především polovodičové lasery. Do oblasti výpočetní techniky patří např. laserová tiskárna, která se dnes součástí vybavení výpočetních center. Dále je to čtení disků a zapisování na ně. Laserová tiskárna je zařízení používající laserového záření k vytvoření obrazce, který má být tištěn, tj. přenášen z rotujícího válce na papír.

Laserová spektroskopie

Spektrum každé látky je složeno ze souboru charakteristických spektrálních čar, který studovanou látku jednoznačně určuje. Obor fyziky zaměřený na studium spektra, které vzniká v procesu interakce mezi látkou

a elektromagnetickým vlněním, se nazývá spektroskopie. Prostřednictvím spektroskopie lze studovat kvantové přechody a usuzovat na energetické hladiny atomů, molekul a makroskopických soustav, a tak získat informace o stavbě a vlastnostech látky (například lze analyzovat prvky obsažené ve vzorku látky, získat informace o složení hvězd a galaxií atd.).

Laserové svařování

Svařování laserem téměř vytlačilo obloukové svařování. Výhodou svařování laserem je absence fyzického kontaktu s elektrodou, lokalizovaný ohřev a rychlé chlazení, schopnost svařit součástky v dané atmosféře nebo zataveně uvnitř opticky transparentního materiálu. Vlastní svár je bezporézní a neobsahuje cizí příměsi.

Laserové vrtání

Laserové vrtání je založeno na odstraňování materiálu odpařováním. Intenzita svazku musí být vyšší než u svařování, a proto se pro tento účel používá impulzních laserů s délkou impulsu menší než 1 ms.

Laserové řezání

Laserového řezání se využívá v případech, kdy je nutné oddělit materiál s malou tepelnou vodivostí.

Využití laseru při obrábění

Pro výrobu miniaturních součástek se vyžadují procesy obrábění, které garantují vysokou přesnost a výkonnost.

21 Nukleární magnetická rezonance

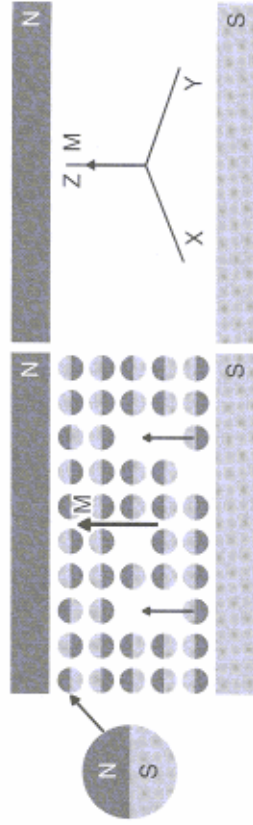
21.1 Princip MR

Mezi technicky nejsložitější vyšetřovací metody patří magnetická rezonance (MR). Princip MR je založen na interakci jader atomů, vložených do silného magnetického pole, s přídatným vysokofrekvenčním magnetickým polem a následném počítačovém vyhodnocení chování biologických tkání v tomto poli. Podmínkou je přítomnost molekul vody ve snímaných biologických tkáních, která dává nejlepší signál a významně se podílí na prostorovém rozlišení a kontrastu pořízených snímků.

Atomové jádro se skládá z nukleonů (protonů a neutronů). Protony neustále rotují kolem své vlastní osy a tento **pohyb** je označován jako **spin**. Každá pohybující se nabitá částice vytváří ve svém okolí magnetické pole (protony si lze tedy představit jako miniaturní magnety) a vykazuje magnetický moment. Atomová jádra se **sudým nukleonovým číslem** se nechovají ke svému okolí magneticky, protože se jejich magnetické momenty navzájem ruší a nelze je využít pro MR zobrazování. Atomová jádra s **lichým nukleonovým číslem** si svůj magnetický moment zachovávají.

Charakteristickým zástupcem této skupiny je atom vodíku ^1H , který má jeden proton a vykazuje relativně velký magnetický moment. V organismu je více než 60 % vody a ^1H je tedy nejvhodnějším objektem pro MR zobrazování. Dalšími zástupci jsou ^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P .

Za normálních okolností je rotace protonů ve tkáních nahodilá a tkáň se navenek jeví nemagneticky. Vložíme-li však tkáň do silného magnetického pole, uspořádají se rotační osy protonů rovnoběžně se siločárami vnějšího magnetického pole. Větší počet z nich je v poloze, kdy jejich magnetický moment je orientován souhlasně (paralelně) s vektorem vnějšího magnetického pole a menší počet protonů je orientován opačně (antiparalelně o 180°) (obr. 48). Antiparalelní uspořádání protonů je energeticky náročnější, a proto je v této poloze méně než polovina protonů. Tato „nerovnováha“ způsobí, že tkáň vykazuje celkový magnetický moment a navenek se chová magneticky. Tato vlastnost je základem principem MR.

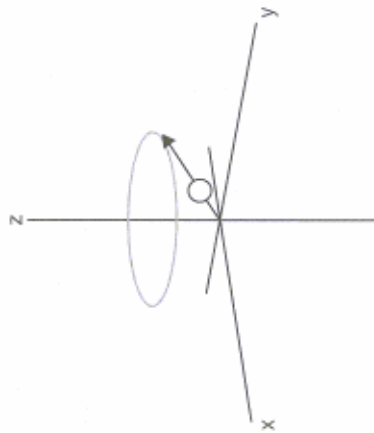


Obr. 48 Magnetický moment tkáně v magnetickém poli

Různé tkáně mají různou biochemickou strukturu, tedy různé zastoupení protonů a navenek se proto projevují různě velikými magnetickými momenty, a dávají tak informaci o svém složení.

Abychom mohli detekovat poměrně malé změny vektoru tkáňové magnetizace M (vektor tkáňové magnetizace je orientován podélně s průběhem siločar vnějšího silného magnetu a jeho měření není možné), je potřeba tento vektor „sklopit“ do roviny XY (kolmé k rovině Z základního pole) (obr. 48). Do tkáně se aplikuje vysokofrekvenční magnetický impulz o frekvenci shodné s frekvencí precesního pohybu protonů – **Larmorovou frekvencí** a dochází k magnetické rezonanci. Po sklopení vektoru magnetizace vysokofrekvenčním pulzem do roviny XY je vykonáván **precesní pohyb** vektoru magnetizace M po trajektorii opisující plášť kužele (obr. 49) zpět do výchozí police shodně se směrem statického magnetického pole. Po skončení elektromagnetického impulzu se celý systém postupně vrací ze svého vzrušeného stavu do stavu základního. Doba od excitace až po návrat do výchozího stavu se nazývá **relaxace**, tento čas

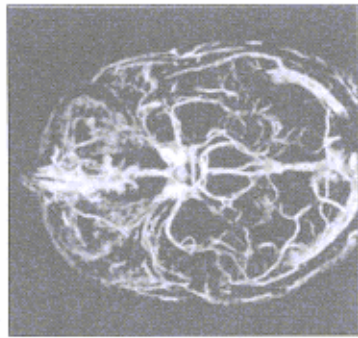
je opět specifický pro jádra určité látky. Postupně se obnovuje podélná magnetizace a protony odevzdávají svou přebytečnou energii do strukturální mřížky tkáně. Frekvence precesního pohybu, Larmorova frekvence, závisí přímo úměrně na magnetických vlastnostech daného jádra a na intenzitě vnějšího magnetického pole.



Obr. 49 Precesní pohyb protonů

21.2 MR angiografie

MR obraz je ovlivňován pohybem tkáňových struktur, tedy i tokem tekutin. Pokud vyšleme elektromagnetický pulz do tkáně s cévami, tak v době přijímání signálu budou protony uvnitř cévy ovlivněné elektromagnetickým pulzem mimo rovinu řezu a budou nahrazeny v důsledku rychlosti toku krve protony neovlivněnými. Průřez cévou bude tedy bez signálu, a tedy zbarven černě. Časováním vyšetřovací sekvence lze dosáhnout i opačného efektu, kdy signál z cévy, kterou protéká, krev bude zesílen.



Obr. 50 MR angiografie

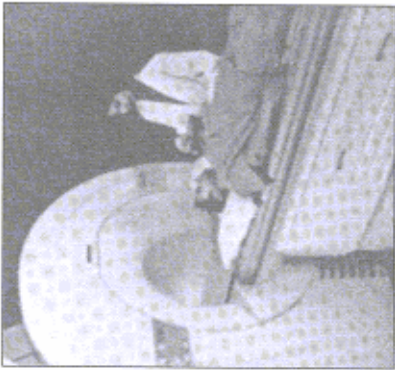
Pro zlepšení kontrastu v MR obraze se používají **paramagnetické látky** (gadolinium – Magnevist, dále železo, mangan, chrom vázané ve stabilních sloučeninách), které usnadňují relaxaci protonů, a tím zkracují relaxační doby. Lze pak zviditelnit i struktury, které nebyly v nativním obraze rozlišitelné.

21.3 Funkční magnetická rezonance (fMR)

S vývojem výpočetní techniky a statistických metod se rozvíjí další perspektivní metoda – funkční magnetická rezonance (fMR) – jako nástroj pro vizualizaci anatomických struktur mozku zapojených do mechanismů vnímání, řízení motoriky a myšlení. Od standardní MR se liší schopností detekovat dynamické změny signálu způsobené lokálním kolísáním poměru oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu v závislosti na neuronální aktivitě.

Přístrojové vybavení

Pacient se umístí do gantry (tunelu) MR přístroje (obr. 51), kde je vystaven silnému (v rozmezí 0,5–2 T) homogennímu magnetickému poli MR magnetu. Pro odlišení signálů z různých vrstev tkáni je přidáno další magnetické pole tvořené tzv. gradientovými cívkami. Při vyšetření jednotlivých

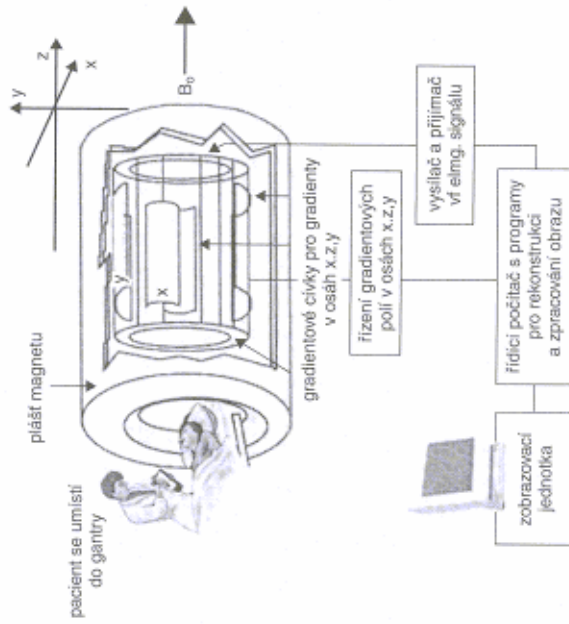


Obr. 51 MR vyšetření

části těla se používají povrchové cívký („organové cívký“), které slouží pro přijímání signálu v bezprostřední blízkosti vyšetřované oblasti, a tím zlepšují kvalitu zobrazení a výsledný přijímaný signál je tedy silnější (hlavová, krční páteřní, ramenní cívka atd.).

Celé vyšetření je řízeno výkonným počítačem a získaná obrazová data jsou zpracovávána programy pro analýzu obrazu. Na obrázku 52 je schematicky znázorněno pracoviště magnetické rezonance.

Pracoviště MR musí být stíněno, aby nedocházelo k rušení vysílacími frekvencemi radiových vln. Stěny vyšetřovací místnosti jsou izolovány pletivem z nemagnetické oceli (Faradayova klec).



Obr. 52 Schéma pracoviště magnetické rezonance

21.4 Využití magnetické rezonance (MR)

MR má výsadní postavení v diagnostice degenerativních onemocnění CNS, cévních příhod, vrozených vad a především nádorů mozku a míchy. Vzhledem k tomu, že z tukové tkáně lze získat pomocí MR velmi silný signál, je možné použít MR k diagnostice kostní dřene a mediastina. Umožňuje snadné odlišení cév od solidních tkání (lymfatických uzlin, tumorů). Dále lze MR využít při neinvazivní diagnostice nemocí pohybového ústrojí např. lézí chrupavek. Přínosem je využití MR u kardiovaskulárních onemocnění pomocí MR angiografie. Nespornou výhodou je skutečnost, že při tomto vyšetření není pacient vystaven ionizujícímu záření. Nemohou však být vyšetřováni pacienti s kardiostimulátory nebo s předměty z magnetických materiálů apod.

Rejstřík

- A**
- absorpce 19, 79, 85, 87, 89, 90, 158, 159, 160, 162, 184, 186, 214
 - aktivita 179
 - aktivní prostředí 213, 214
 - atmosférický tlak 41, 44, 133
 - atom 11, 13, 177, 182, 201, 214, 215, 221
 - atomové jádro 11, 12, 221
 - audiometrie 75, 77, 79
- B**
- beztížný stav 36
 - biokompatibilita 175
 - biomechanika 169, 171, 173, 175
 - blesk 124
 - bod
 - blízký 148, 149
 - vzdálený 148
 - buňka 17, 45, 131, 132
- C**
- centrifugy 32
 - cirkumdukce 174
- Č**
- částice α 179
 - čípky 146, 152
- D**
- defibrilátor 114
 - deformace 61, 169, 170, 171, 172, 173, 175
 - denzitometrie 94
 - deprese 155
 - detekce 191, 193, 199, 202
 - detektory 193, 197, 204, 206, 207
 - dialýza 16
 - diastola 100, 136
 - diatermie 119
 - difuze 16, 98
 - disperzní systém 13
 - doping 42
 - Dopplerův jev 92
 - dozimetr 192, 195
 - dýchání 18, 37, 38, 43, 44, 45, 46, 48, 67, 82, 116, 124, 131, 132, 133, 134, 135, 137, 139, 141, 186
- E**
- elektrody 107, 108, 113, 122, 125, 127, 163, 181, 194, 196
 - elektroencefalogram 127
 - elektroforéza 109
 - elektrokardiogram 127
 - elektroklima 130
 - elektrolyty 102, 104, 108
 - elektromagnetické vlnění 118, 162, 166, 167, 180, 181
 - elektronový obal 11, 12
 - elektrony 11, 12, 13, 52, 101, 156, 177, 180, 181, 182, 183, 192, 193, 197, 198, 204, 213
 - elektrošok 116
 - emise 193, 213, 214, 215, 216

- endoskop 157
 energie 12, 13, 18, 23, 24, 25, 59,
 87, 89, 90, 92, 95, 114, 119, 120,
 124, 131, 137, 138, 141, 145,
 167, 172, 177, 179, 180, 181,
 184, 191, 192, 197, 199, 209,
 210, 213, 214, 215, 217
 erytém 163, 167
- F**
 fotonásobič 197
- G**
 galvanoterapie 107
 gama nůž 210
 Geiger-Müllerova trubice 196
 generátor 87, 113, 183
 gravitační pole 27
- H**
 hladovění 25
 hluk 75, 77, 78, 79
 Hookův zákon 171
 hypoxie 43, 106, 108
- CH**
 chlad 67, 69
 chronaxie 112, 118
- I**
 iluze 146, 147
 impedance 86, 105, 126
 inkubátor 55
 interakce 20
 ionizační komůrka 195
 iontoforéza 108
 ionty 12, 97, 98, 99, 100, 101, 102,
 109, 130, 193, 194, 195, 210
- izolanty 103
- K**
 kardiostimulátor 114, 115
 kesonová nemoc 46
 kolimátor 203
 kolorimetrie 160
 kontrastní látky 206
 koupel 63, 64
 krevní
 – oběh 38, 48, 64, 69, 131, 132,
 133, 134, 135, 137, 138, 139,
 141
 – tlak 131, 133, 134, 135, 137,
 139, 141
 kryoterapie 6, 69
 kvarky 11
- L**
 laser 157, 213, 215, 216, 217, 218,
 219
 látka 13, 14, 19, 49, 53, 54, 70,
 158, 159, 161, 179, 197, 201,
 203, 213
- M**
 magnetická rezonance 221, 223,
 224, 225
 membrány 16, 17, 97, 98, 99, 100,
 104, 105, 106, 122, 131, 161
 měření teploty 61
 mez
 – pevnosti 170
 – pružnosti 170
 mikroskop 155
- N**
 nemoc z ozáření 188, 189, 191

- neutrony 11, 13, 177, 179, 183,
 197, 210
 nukleární magnetická rezonance 8,
 221, 223, 225
- O**
 ochrana 39, 62, 75, 79, 165, 168,
 180, 184, 186, 188
 odstředivá síla 31, 33
 omrzlina 67
 osmóza 17
 osvětlení 146, 147, 153, 154, 155,
 157, 217
 ozařovače 209
- P**
 pevnost 170, 172, 173
 podtlak 41, 47, 54
 pohmat 81, 83
 poklep 81, 83
 pole 12, 13, 27, 49, 104, 105, 110,
 116, 119, 120, 121, 130, 143,
 156, 181, 186, 203, 212, 213,
 214, 221, 222, 223
 poločas přeměny 179, 209
 polovodiče 103
 poslech 81, 82, 83
 potenciál 97, 98, 99, 100
 povrchové napětí 18
 precesní pohyb 222
 přehřátí 55, 60, 72
 přetížení 32, 33, 36, 37, 38, 173
 přetlak 45, 47, 50
 protony 11, 13, 177, 178, 179,
 183, 193, 210, 211, 221, 222,
 223
 proud
 – elektrický 101
- radiofarmakon 201, 204
 radiosenzitivita 185
 radioterapie 207
 rázové vlny 96
 regulace 57
 reobáze 112
 Reynoldsovo číslo 141
- S**
 scintigrafie 202, 204
 scintilátor 197
 sedimentace 27, 28, 29, 33
 skiografie 205
 skiaskopie 205, 206
 snímače 125
 sonografie 88
 spektroskopie 158, 161, 218, 219
 spin 221
 sterilizace 49, 50, 51, 52, 53, 54
 světlo 13, 21, 61, 143, 144, 145,
 146, 153, 155, 157, 158, 159,
 161, 162, 166, 203, 205, 216,
 217
 systola 100, 134, 136

- T**
 teplo 13, 23, 24, 25, 50, 51, 59, 60,
 62, 63, 66, 67, 69, 71, 72, 87, 89,
 95, 119, 120, 122
 termoregulace 57, 58, 64, 72
 tomografie 88, 202, 204, 206, 207,
 212
 tyčinky 87, 146, 152
- U**
 účinek
 – ionizujícího záření 184
 – nepřímý 184
 – přímý 184
 účinky
 – deterministické 188
 – stochastické 8, 188
 ultrazvuk 52, 85, 87, 89, 91, 93,
 94, 95
 úrazy 7, 123
- V**
 vady oka 148
 var 49, 50
 vdech 132, 133
- viskozita 15, 28, 43, 141, 169, 174
 vlhkost 51, 71, 72, 73
 vodiče 101, 103
 výbojky 163, 165, 213, 214
 výdech 132, 133
 výživa 25
- Z**
 záření
 – α 180
 – β 180, 201
 – γ 180, 201
 – infračervené 6, 7, 62, 164, 166,
 168,
 – ionizující 51, 177, 179, 181,
 183, 185, 187, 189, 191, 193,
 195, 197, 199
 – kosmické 183
 – optické 62, 143, 145, 147, 149,
 151, 153, 155, 157, 159, 161,
 163, 165, 167
 – rentgenové 21, 178, 181, 182,
 185, 193, 205
 – ultrafialové 51, 162
 zvuk 75

