

Fyzika ve zdravotnictví

Úvod

V současnosti dochází k neustálému vývoji lékařské techniky, která má nezastupitelný význam pro samotný lidský život.

S některými lékařskými přístroji a jejich základními fyzikálními principy jsou žáci seznámeni již na základní škole. K dalšímu rozvoji informací pak dochází v průběhu studia střední školy. Důležité poznatky z této oblasti často studenti získávají především z vlastních zkušeností, protože každý z nich se s některými životně důležitými přístroji setkal při návštěvě lékaře. Podrobnější informace lze získat z populárně vědeckých knih a časopisů nebo na webových stránkách.

Přístrojů užívaných v lékařství je v současné době nespočetně. Uvedme zde nejznámější lékařské přístroje a metody, z nichž některé pracují na principech odpovídajících základním fyzikální znalostem studentů středních škol.

Zajímavou součástí této kapitoly je stručné zhodnocení znalostí středoškoláků v oblasti medicínské techniky na základě testu, který je zde uveden. Po vyhodnocení testu bylo zřejmé, že studentům jsou známy u některých lékařských přístrojů pouze názvy, nikoliv však základní funkce a fyzikální principy.

V textu budou vysvětleny základní fyzikální principy nejznámějších lékařských přístrojů a metod. Tato část by mohla sloužit např. k dalšímu vzdělávání učitelů a k rozvoji poznatků jedinců, kteří mají o tuto problematiku zájem.

V závěru příspěvku je uveden návrh textu, který by mohl posloužit jako podklad k této problematice pro některý ze speciálních seminářů z fyziky.

1. Poznatky z oblasti medicínské techniky ve SŠ učebnicích a učebnicích pro ZŠ

S některými přístroji užívanými v lékařství a jejich fyzikálními základy jsou žáci seznámeni již na základní škole. Nejpodrobněji je tato oblast fyziky rozebrána v učebnicích vydaných nakladatelstvím Prometheus ([3], [4]). V 8. ročníku se poprvé setkávají s pojmem ultrazvuk [3], a to v kapitole Zvukové jevy. Je zde uveden nejen kmitočet ultrazvuku, ale i jeho rozsáhlé užití, mj. jsou tu zmíněny i léčebné a lékařské účely. S dalšími dvěma důležitými pojmy, užívanými v lékařství (laser a rentgenové záření), jsou žáci seznámeni v 9. ročníku. V kapitole Elektromagnetické vlny a záření [4] je objasněn pojem rentgenové záření. Je zde pojednáno o samotném W.C.Röntgenovi,

jeho vědecké činnosti i Nobelově ceně, která mu byla v roce 1901 udělena. Dále je v přehledné tabulce, společně s ostatními druhy záření, uvedena vlnová délka a užití rentgenového záření. Především autoři stručně zdůraznili užití v lékařské diagnostice. Také poukázali na to, jaký převrat přineslo rentgenové záření do lékařství, kde umožnilo zobrazovat vnitřní orgány. S laserem jsou žáci seznámeni v následující kapitole Zdroje záření [4]. Laser je zde popsán jako přístroj, v němž je energie luminiscenčního prostředí vyzářena naráz v podobě úzkého světelného paprsku. Stejně jako u rentgenového záření je zde uvedeno několik významných příkladů užití, mezi nimiž se vyskytuje i využití v medicíně.

Nyní se podívejme, jak podrobně jsou popsány výše zmiňované přístroje ve středoškolských učebnicích [5], [6]. Na SŠ se studenti setkávají nejprve s rentgenovým zářením [5]. Toto téma je zde zpracované velmi podrobně, avšak chybí důsledněji rozebrána klasická rentgenová diagnostika. Nejprve jsou studentům připomenuty vlastnosti rentgenového záření a jeho rozdělení na měkké a tvrdé. Další část je věnována historii. Je zde pojednáno opět o samotném W.C.Röntgenovi a jeho experimentech, avšak daleko podrobněji než v učebnicích pro ZŠ. Nechybí zde ani známý historicky první rentgenogram, na němž je ruka Röntgenovy ženy s prstenem. Setkáme se také s uvedením praktického využití rentgenového záření. Samostatným celkem je zde Rentgenová diagnostika. Kromě rentgenového záření je zde popsán princip počítačové tomografie (CT). Laseru je v učebnici věnována samostatná kapitola [6]. Studentům jsou v této části vysvětleny pojmy spontánní a stimulovaná emise, absorpce a luminiscence. Na základě těchto jevů je vysvětlen princip laseru. Dále je zde uvedeno několik typů laserů (rubínový, neodymový, helium-neonový, fotodisociační jodový laser atd.). V této kapitole jsou také zmíněny polovodičové lasery a jejich užití. Není zde ale uvedeno, jak rozsáhlé má laser užití v lékařství. O ultrazvuku jsou v učebnici [1] uvedeny pouze velice základní poznatky a zcela chybí zdůraznění využití v medicíně. V kapitole Využití radionuklidů a ochrana před zářením [6] se studenti setkávají pouze s velice stručným nástinem užití radionuklidů v medicíně (např. sledování průtoku krve, zjišťování činnosti štítné žlázy).

S jinými lékařskými přístroji a metodami, jako např. MRI, EKG a řadou dalších, se již v učebnicích nesetkáme. Je zřejmé, že se jedná o pokročilé lékařské techniky, jejichž fyzikální základy výrazně překračují znalosti středoškolské fyziky.

2. Průzkum znalostí SŠ studentů spojených s medicínskou technikou

Jedním z hlavních úkolů této diplomové práce bylo zjistit stav poznatků studentů SŠ v oblasti lékařské techniky. Průzkum byl proveden na čtyřletém a šestiletém gymnázium. Test byl zadán studentům třetího (26 studentů) a čtvrtého (25 studentů) ročníku čtyřletého gymnázia a šestého ročníku (31 studentů) šestiletého gymnázia. Celkem test vyplnilo 82 studentů.

Testové otázky jsou zaměřeny nejenom na znalosti získané při výuce ve škole, ale i na celkový přehled v oblasti lékařské techniky. Účelem tohoto testu nebylo studenty zkoušet, proto byl vyplňován anonymně. Na vypracování měli všichni studenti 20 minut.

2.1. Zadání testu (*V testových otázkách zakroužkujte vždy jednu správnou odpověď*)

1. Co rozumíme pod pojmem medicínská (lékařská) technika?
2. Vyjmenujte alespoň 4 přístroje užívané v lékařství (pro léčbu nebo určení nemoci)
3. Jaké znáte typy laserů?
4. Rentgenové záření bylo objeveno:
 - a/ v 16. století
 - b/ v 18. století
 - c/ v 19. století
 - d/ ve 20. století
5. Na rentgenovém snímku se jeví světleji:
 - a/ kostí
 - b/ tkáně
6. *Vyberte nesprávné tvrzení pro vlastnosti rentgenového záření:*
 - a/ schopnost pronikat látkami
 - b/ působit na fotografickou emulzi
 - c/ vyvolat ionizaci látky, kterou záření prochází
 - d/ jeho vlnová délka leží v intervalu 10^8 až 10^{12} m
7. Ultrazvuk je:
 - a/ mechanické vlnění s frekvencí pod 20 Hz
 - b/ mechanické vlnění s frekvencí nad 20 kHz
 - c/ mechanické vlnění v rozsahu frekvencí 20 Hz až 20 kHz
 - d/ elektromagnetické vlnění s frekvencemi nad 20 kHz
8. Bez EKG se nelze obejít při hodnocení:
 - a/ mozkové funkce
 - b/ tlaku krve
 - c/ srdeční funkce
 - d/ trávicího systému

9. Endoskop slouží k:
a/ vyšetření tělesných dutin přímým pohledem
b/ zobrazení činnosti srdce
c/ měření hustoty kostí
d/ měření tlaku krve
10. *Přiřaďte k jednotlivým lékařským přístrojům správná tvrzení:*
a/ fonendoskop 1/ přístroj k měření krevního tlaku
b/ tonometr 2/ přístroj, který elektrickým výbojem do srdce přeruší arytmií srdečního svalu
c/ kardiostimulátor 3/ přístroj sloužící k poslouchání plic a srdečních ozev
d/ defibrilátor 4/ přístroj, který upravuje činnost srdce
11. Při elektroléčbě se užívají:
a/ pouze střídavé proudy různých frekvencí
b/ pouze stejnosměrné proudy různých frekvencí
c/ střídavá i stejnosměrné proudy různých frekvencí
12. Vysvětlete, co rozumíte pod pojmem magnetoterapie
13. Jaký lékařský přístroj je označen zkratkou CT?
14. Pokuste se napsat, kde se používají přístroje označené MRI (Zobrazení magnetickou rezonancí)
15. Napište jakýkoliv poznatek o použití „Gama nože“

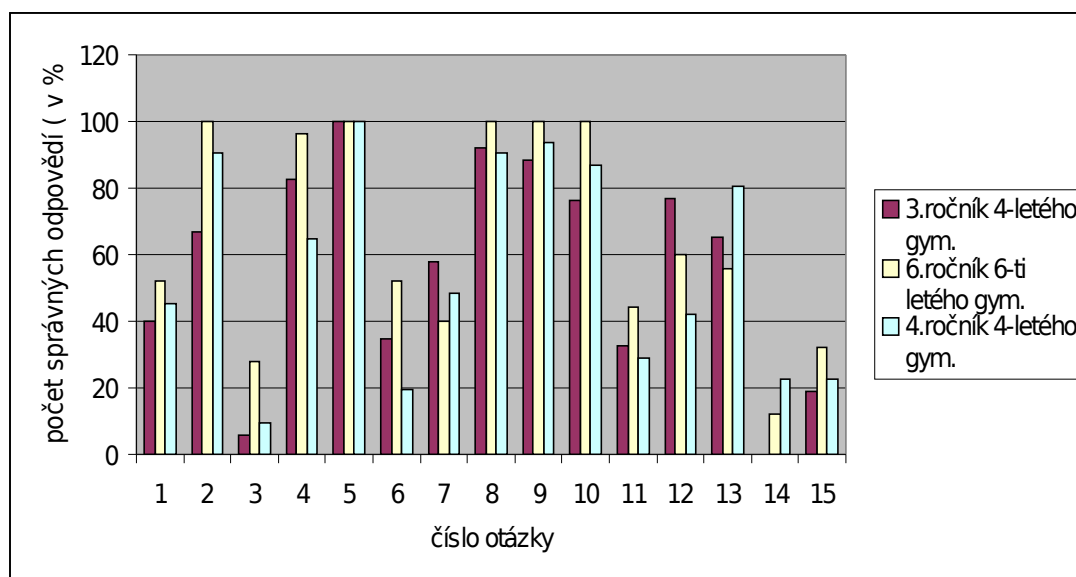
2.2. Vyhodnocení testu

U všech ročníků byl test hodnocen stejným způsobem:

Zcela správná odpověď u otázky č.1 byla ohodnocena 1 bodem, částečná odpověď 0,5 bodu. Za alespoň jeden uvedený typ laseru byl přidělen 1 bod. Za správnou odpověď u otázek č.4, č.5, č.6, č.7, č.8, č.9 a č.11 byl přidělen opět 1 bod. U otázky č.10 dostali studenti za zcela správnou odpověď 1 bod, za jakoukoliv jinou odpověď 0 bodů. Dále pak za správná odpověď u otázky č.12 byla ohodnocena opět jedním bodem. Za jakýkoliv uvedený poznatek u otázky č.13 byl udělen 1 bod. Otázky č.14 a č.15 již byli pro studenty obtížnější. Proto jakýkoliv správný poznatek u daných otázek znamenal pro studenty 1 bod. Maximální bodový zisk, kterého mohli studenti dosáhnout, byl 15 bodů.

Provedme souhrnné vyhodnocení všech tří skupin studentů. V grafu na obr.1 je znázorněno porovnání zastoupení správných odpovědí (v procentech) v jednotlivých otázkách. Průměrné bodové zisky se příliš neliší, avšak z grafu je vidět, že hladiny

správných odpovědí studentů 6. ročníku jsou vesměs nejvyšší. Znalosti studentů 3. a 4. ročníku jsou srovnatelné. Z grafu je zřejmé, že všichni studenti byli seznámeni, buď při výuce nebo v praxi, s rentgenovým snímkem. Studentům také nečinilo potíž určit správnou funkci EKG, endoskopu a ostatní lékařských přístrojů. Zaměříme-li se na poslední otázky, zjistíme, že tam znalosti studentů rapidně poklesly. Proto se v další části práce zaměřím především na tyto oblasti a pokusím se vysvětlit základní principy výše zmiňovaných lékařských přístrojů.



Obr.1. Porovnání zastoupení správných odpovědí (v procentech) v jednotlivých otázkách u tří skupin studentů

3. Fyzika v lékařství

Lékařství se dělí na několik specializovaných oborů. Běžně najdeme ve větší nemocnici pracoviště interní medicíny, chirurgii, pediatrii, gynekologii a porodnictví, neurologii, ortopedii, urologii, ORL, oční lékařství, neurochirurgii, plicní lékařství, kožní lékařství, psychiatrii a řadu dalších. Nejprve se podívejme, s jakými lékařskými přístroji se můžeme setkat v jednotlivých oborech lékařství.

V tabulce 1 jsou uvedeny nejčastěji užívané přístroje a léčebné metody společně s oblastí lékařství, ve které je lze využít. Uvedla jsem zde pouze nejznámější metody a přístroje, jejichž fyzikální základy odpovídají znalostem studentů SŠ. Některé druhy přístrojů se užívají ve více oborech najednou, proto jsou v tabulce pro přehlednost uvedeny u každého oboru, v němž se používají.

Tab.1 Nejběžnější přístroje a léčebné metody používané ve standardní nemocnici

Obor medicíny	Užívané přístroje
Interní medicína	Fonendoskop EKG Echokardiografie Dopplerovská echokardiografie Kardiostimulátor Defibrilátor
Chirurgie	Endoskopické techniky k provádění chirurgických výkonů. Rentgenová diagnostika.
Gynekologie a porodnictví	Ultrazvuk
Neurologie	CT Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI) EMG EEG
Ortopedie	CT Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI) Rentgen Monografie, Scintigrafie
Ušní,nosní a krční lékařství	Otoskop Endoskopická technika Laryngoskop CT MRI
Oční lékařství	Sonografie Laser Brýlová skla
Neurochirurgie	CT MRI Sonografie
Radioterapie (léčba zářením)	Gama zářiče (tzv.kobaltová bomba) Lekselův gama nůž Urychlovače částic (betatron)
Radiologie	CT Skioskopie, skiografie Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI) Mamografie Ultrazvukové vyšetření
Plicní lékařství	CT MRI
Kožní lékařství	Laser Fototerapie (IČ, UV záření)
Onkologie	Radiační terapie CT MRI Ultrazvukové vyšetření
Nukleární medicína	Scintilační kamera PET, SPECT (Positron Emission

	Tomography, Single Photon Emission Computed tomography)
Rehabilitační medicína	Magnetoterapie Laseroterapie Ultrazvuková terapie Fototerapie Elektroléčba

4. Zobrazovací metody v lékařské diagnostice

Moderní éra zobrazovací diagnostiky začala zhruba před 110 lety, roku 1895, objevením neznámých (X) paprsků **W.C.Röntgenem**. Při průchodu těchto paprsků různými vnitřními orgány dochází k jejich rozdílné absorpci, což umožnilo rekonstruovat orientačně vnitřní morfolologii těla pacienta, zejména dobře odlišit tvrdé tkáně (kosti).

Standardní rentgenová diagnostika prošla v průběhu dvacátého století bouřlivým vývojem, vedle velkých úspěchů byly také čím dál více zřejmé její nedostatky. Snímek ze standardního rentgenového přístroje vyžaduje ke své interpretaci zkušeného radiologa. Standardní metodou není možné získat tomografický, lépe řečeno „anatomický“ řez lidským tělem. Dalším, v současné době stále více zřejmým nedostatkem standardní rentgenové diagnostiky, jsou vedlejší účinky rentgenového záření, které pacienta ohrožují.

Z těchto dvou základních problémů v dnešní době existují cesty. První problém byl beze zbytku vyřešen využitím metod **počítačové tomografie (CT)**, které zvýšilo rozlišení, co do hustoty tkání, ale hlavně umožnilo rekonstruovat příčné řezy tělem člověka. Omezení, dokonce i vymizení nežádoucích vedlejších účinků ve smyslu radiační zátěže, bylo dosaženo metodami magnetické rezonance (MR) a ultrazvukové diagnostiky.

4.1. Rentgenové záření

Rentgenové záření je elektromagnetické záření, jehož vlnové délky leží v rozmezí od 10^{-8} m až 10^{-12} m. Vzniká při přeměně energie rychle se pohybujících elektronů, které dopadají na povrch kovové elektrody, na energii elektromagnetického záření. Čím je energie dopadajících elektronů větší, tím kratší je vlnová délka rentgenového záření.

Historie rentgenového záření



Na počátku vzniku rentgenového záření stál německý fyzik **W.C. Röntgen** (1845-1923), jehož objev zachránil postupem času mnoho lidských životů. V roce 1895 objevil při studiu výbojů v plynech neznámý druh záření. Röntgen zkoumal katodové záření, což je proud elektronů urychlených elektrickým polem. Zjistil, že při dopadu elektronů s velkou kinetickou energií na kovovou anodu vzniká záření, které proniká i neprůhlednými předměty. Neznámé záření označil jako „**paprsky X**“ (v anglické literatuře se stále označují jako „X-ray“) a dále zkoumal jeho vlastnosti .

Jedním z nejvýznamnějších Röntgenových experimentů byl pokus, při němž zabalil fotografickou desku do černého papíru a umístil ji do blízkosti výbojové trubice. Po vyvolání desky zjistil, že emulze zčernala, jakoby byla deska rovnoměrně osvětlena. Dále při experimentu na desku položil kovový předmět. V tomto případě se zobrazila světlá plocha ve tvaru obrysu daného předmětu. Tento experiment vedl Röntgena k pokusu vytvořit rentgenový snímek. Jako první objekt pro snímkování zvolil ruku své manželky. Na rentgenogramu je patrný prsten (viz obr. 2.).



Obr. 2 Rentgenový snímek ruky s prstenem

V roce 1901 mu byla za tento objev udělena vůbec první **Nobelova cena za fyziku**. Na rozdíl od řady jiných objevů byly **paprsky X** prakticky okamžitě využity v praxi, především v oblasti medicíny. Zejména se osvědčily v 1. světové válce, kde byla jejich účinnost ověřována na raněných vojácích z fronty. Paprsky X byly později pojmenovány po svém objeviteli **rentgenovými paprsky**, což je běžné označení u nás.

Objev rentgenového záření vzbudil zájem dalších vědců. V roce 1912 vypracoval **Max von Laue** teorii difrakce rentgenového záření při průchodu krystalu, kterou vytvořil na základě obdoby interference světla na optické mřížce. Tento objev se velmi rychle stal

základní metodou studia krystalových struktur. Laueho teorie se také stala přesvědčivým důkazem toho, že rentgenové záření je vlnění. To bylo v roce 1914 oceněno Nobelovou cenou.

Fotografická metoda byla postupně rozvíjena, takže je v současné době možné snímkování vnitřních orgánů a cév za pomoci kontrastních látek, kterými se zkoumané objekty naplní.

Vlastnosti rentgenového záření

Vlnová délka rentgenového záření určuje jeho základní vlastnosti, na kterých je založeno praktické využití rentgenového záření.

Mezi nejdůležitější vlastnosti patří:

- **schopnost pronikat látkami,**
- **působení na fotografickou emulzi,**
- **ionizace látky, kterou záření prochází,**
- **specifický způsob pohlcování v látkách.**

Čím kratší je vlnová délka rentgenového záření, tím lépe záření proniká látkami a má větší ionizační účinky. Rentgenové záření o kratších vlnových délkách (tedy s větší energií podle vztahu $E = h \frac{c}{\lambda}$) je označováno jako „tvrdé“ rentgenové záření. To je využíváno, na rozdíl od „měkkého“ rentgenového záření, které slouží k zobrazování, k léčbě nádorů ozařováním. Tím se zabývá klinický obor radioterapie.

Při průchodu látkou se rentgenové záření pohlcuje a jeho energie se mění ve vnitřní energii látky. Pohlcování záření záleží především na **protonovém (atomovém) čísle Z** chemického prvku v periodické soustavě. Prvky s vyšším atomovým číslem Z pohlcují rentgenové záření více.

Tato vlastnost se využívá především v lékařství. V lidském těle se rentgenové záření pohlcuje 150x více v kostech, které jsou složeny především z fosforečnanu vápenatého, než ve tkáních, složených především z vody. Proto se na rentgenovém snímku jeví kosti světleji než tkáň. Rentgenový snímek lebky je uveden na obr. 3.



Obr. 3 Rentgenový snímek lebky

Brzdné a charakteristické záření

Podle způsobu vzniku RTG záření rozlišujeme tyto dva základní případy:

Prvním druhem je **brzdné záření**. To vzniká jako důsledek zpomalování pohybu elektronů, které velkou rychlostí dopadají na povrch kovu. Změna rychlosti elektronů, bržděním jejich pohybu vzájemným působením s atomy kovu, má za následek vyzařování elektromagnetických vln, jejichž frekvence se spojitě mění. Proto je spektrum brzdného záření spojité.

Druhým, neméně důležitým typem rtg záření je **záření charakteristické**. To souvisí se změnami energie atomu kovu, které ji získaly působením dopadajících elektronů. Spektrum tohoto typu je čárové.

Zdroje rentgenového záření

Klasickým a nejčastěji používaným zdrojem rentgenového záření, užívaným v praxi, je rentgenová trubice, tzv. **rentgenka**. Ta je tvořena evakuovanou baňkou, v níž jsou umístěny dvě elektrody – katoda K a anoda A (viz obr.4).



Obr. 4 Rentgenová lampa

Vysvětleme si nyní základní princip rentgenky. Žhavená katoda (na obrázku vpravo) emituje elektrony, které jsou přitahovány k anodě, přičemž jsou silným elektrickým polem urychlovány na energii (od 20 - 200 keV) danou vysokým napětím mezi elektrodami.

Po dopadu na anodu se elektrony prudce zabrzdí, přičemž se část jejich energie přemění na brzdné elektromagnetické záření – rentgenové záření, které vylétá z trubice ven. Elektrony při každé interakci s anodou ztrácejí část své kinetické energie, kterou získaly pohybem mezi oběma elektrodami. Ztracená energie se přemění na již zmiňované rentgenové záření. Protože energie ztracená při srážkách je různě velká, bude v rentgenovém záření zastoupena celá škála vlnových délek od určité minimální hodnoty λ_{\min} po maximální λ_{\max} . Proto je záření nazýváno **spojité**.

Rentgenové záření produkované rentgenkou má spojité spektrum od energií blízkých nule až k maximální energii dané hodnotou anodového napětí. Kromě rtg záření se spojitým spektrem je vyzařována i část charakteristického rtg záření s čárovým spektrem, jehož energie nezávisí na anodovém napětí, ale je dána materiálem anody. Nejčastěji voleným materiálem pro výrobu anody je wolfram

Rentgenky mají poměrně robustní konstrukci, která je dána dvěma důležitými okolnostmi. Jednak je to značně vysoké napětí dosahující až stovek kV. Druhou velmi důležitou okolností je tepelný ohřev, protože elektrony dopadající vysokou rychlostí na anodu přeměňují pouze malou část své energie na rentgenové záření, převážná většina jejich kinetické energie se přeměňuje na teplo, a proto se anoda elektronky silně zahřívá.

Proto musí mít anoda poměrně masivní konstrukci. Lokálnímu přehřívání daného místa anody, kam dopadají elektrony, lze zabránit dvojím způsobem. Buď rotací nebo chlazením anody (na obr. 4 je to rotační způsob). **Rotace anody** je buzena elektromagneticky

Rentgenky pro velmi vysoké výkony mají pak mají anody **aktivně chlazenou** -uvnitř anody je dutinka, kterou protéká chladicí kapalina (voda).

Jinou možností, jak generovat rtg záření je užití **synchrotronu**. Synchrotron je zařízení na urychlování nabitých částic (elektrony, pozitrony), a to až na rychlosti srovnatelné s rychlostí světla. Rtg záření vzniká při prudké změně směru takto urychlené částice. Záření produkované na synchrotronech je mnohonásobně intenzivnější než záření běžných RTG lamp, avšak jeho nevýhodou je pořizovací cena a náklady na jeho provoz. V Evropě je pouze jediné zařízení tohoto typu.

4.2 Klasická rentgenová diagnostika

Již v únoru r. 1896 zopakovali pracovníci Fyzikálního ústavu pražské univerzity V. Novák a O. Šulc Röntgenovy pokusy a poté provedli snímky pro lékařské účely. Dne 12.1.1897 byla na chirurgické klinice české lékařské fakulty v Praze provedena operace (odstranění spolknutého hřebíku) na základě diagnostiky rentgenem. Snímek pořídil Rudolf Jedlička na přístroji, který k pobavení svých hostů zakoupil majitel hotelu U černého koně v Praze. Jedličkova iniciativa Maydla přesvědčila o užitečnosti této metody a Jedličkovi dovolil, aby z vlastních prostředků zakoupil Röntgenův přístroj pro chirurgickou kliniku v Praze. Téhož roku byl v Hamburku založen Rentgenologický institut a začal vycházet první rentgenologický časopis s názvem Pokroky v oblasti rentgenových paprsků. Roku 1904 začal používat Rudolf Grashey Röntgenův přístroj peroperačně.

RTG přístroj



Obr. 5 Univerzální rentgenový přístroj UNIMAT

Uvedme si nyní hlavní části, z nichž se skládá rentgenový přístroj. Je to **transformátor, usměrňovač, rentgenka, ovládací pult a stojan, vyšetřovací stůl, sekundární (Buckyho) clona a kazeta s radiografickým filmem.** Hlavní funkcí transformátoru je dodávat vysoké napětí, řádově až 100 kV. Další důležitou součástí je usměrňovač, který vytvoří ze střídavého proudu stejnosměrný. Snad nejdůležitější součástí přístroje je rentgenka.

Ovládací pult je většinou umístěn mimo vyšetřovací místnost nebo za ochranným štítem z olovnatého skla. Na něm je umístěna elektronika přístroje s ovládacími prvky a tlačítka sloužící k polohování pacienta.

Sekundární (Buckyho) clona se skládá z rovnoběžných olověných lamel pohlcujících fotony rentgenového záření, které se nepohybují ve směru původního svazku. Tato clona absorbuje 80-90% rozptýleného záření a tím zvyšuje expozici 2x-6x.

Rentgenové fotografické filmy prošly během své existence značnými změnami. Na počátcích expozice trvala až 11 minut a tím výrazně zatěžovala organismus pacienta. V současné době je rentgenový snímek zhotoven za několik milisekund a expozice činí 2% tehdejší radiační zátěže. V dnešní době jsou stále více využívány detektory s prvky CCD, které umožňují digitalizaci snímků a jejich přímé ukládání v PC. K databázi mají zpravidla přístup lékaři v působnosti daného zdravotnického zařízení po zadání přístupového hesla.

Účinky rentgenového záření

Rentgenové záření je na jedné straně pomocníkem lékařů, avšak na straně druhé je škodlivé pro lidský organismus. Proto musejí být při práci s rentgenovými diagnostickými přístroji dodržována velmi přísná pravidla. Jedním z nejdůležitějších je stínění materiály, kterými rentgenové záření nepronikne, např. olověnými plechy. Druhým bezpečnostním opatřením je to, že doba ozařování pacienta musí být co nejkratší. Toho lze dosáhnout hlavně tím, že se na minimum zkracuje doba ozáření při získávání

rentgenového snímku. Je třeba si také uvědomit, že se dávky ozáření v průběhu života sčítají. Proto lékaři předem vždy důkladně zvažují, je-li takovéto vyšetření pro pacienta nezbytné.

4.3. Počítačová tomografie (Computed Tomography - CT)

Pro přesnou diagnostiku nestačil pouze dvojrozměrný frontální snímek pořízený pomocí klasického rentgenového přístroje. Bylo zapotřebí nějakým způsobem získat obraz příčného (tomografického) řezu tělem člověka a případně rovněž trojrozměrný obraz orgánů.

Počítačová tomografie v podstatě kombinuje klasické rentgenové vyšetření s počítačovým systémem, který informace zpracovává.

Kvalitní počítačová tomografie, již podle svého názvu, vznikla konce 60. let 20. století, díky zavedení počítačů do lékařské diagnostiky. Nezávisle na sobě se podařilo **A.M.Cormackovi a G.N.Hounsfieldovi** experimentálně zrekonstruovat tomografický řez reálného objektu. Hounsfield byl také první, kdo rozpoznal převratný význam tohoto objevu pro lékařskou diagnostiku. Roku 1979 byla Cormackovi a Hounsfieldovi za tento převratný objev udělena **Nobelova cena**.

Stavba počítačového tomografu

Vydeme-li z výsledků testu provedeného na SŠ, zjistíme, že studentům je CT známo pod pojmem „tunel“. Objasněme si, co se v „tunelu“ nachází (obr. 6)



Obr. 6 Počítačový tomograf(CT) a pohled dovnitř portálu

V portálu, který tvoří tunel CT, je **rentgenová trubice** (šikmo vpravo dole), která zde slouží jako zdroj rentgenového záření. Na opačné straně rámu je umístěna **soustava detektorů** rentgenového záření, které registrují pokles intenzity záření po průchodu

tělesnými orgány. V CT se k detekci rentgenového záření používají dva základní typy detektorů, a to ionizační a pevnolátkové.

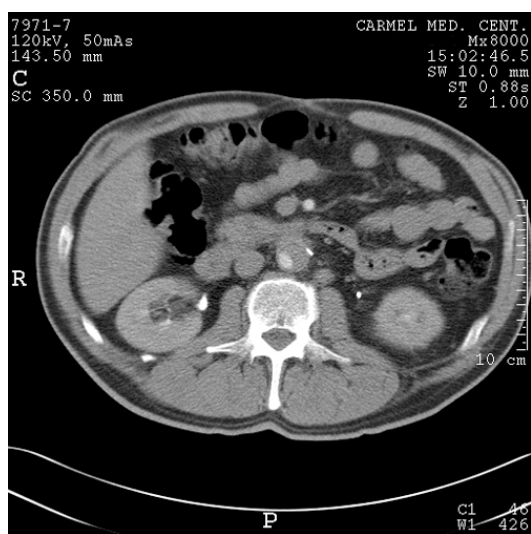
Ionizační detektor reprezentuje xenonová komora (stlačený xenon). V ní jsou umístěny dvě elektrody, anoda a katoda. Na elektrody je přivedeno napětí o hodnotě 500-1000 V. Dopadající rentgenové paprsky se během svého průletu komorou srazí s některým z xenonových atomů a vyrazí z některé z jeho elektronových drah jeden z elektronů. Tím se daný atom xenonu ionizuje, získá pozitivní náboj. Negativně nabitý vyražený elektron, tak i pozitivně nabitý iont xenonu vedou mezi elektrodami proud, který je přímo úměrný intenzitě rentgenového záření.

Druhá konstrukční varianta detektoru představuje užití kombinace **scintilačního krystalu a fotodiody**. Tuto možnost nebudeme podrobně rozebírat, jelikož její princip přesahuje středoškolské učivo.

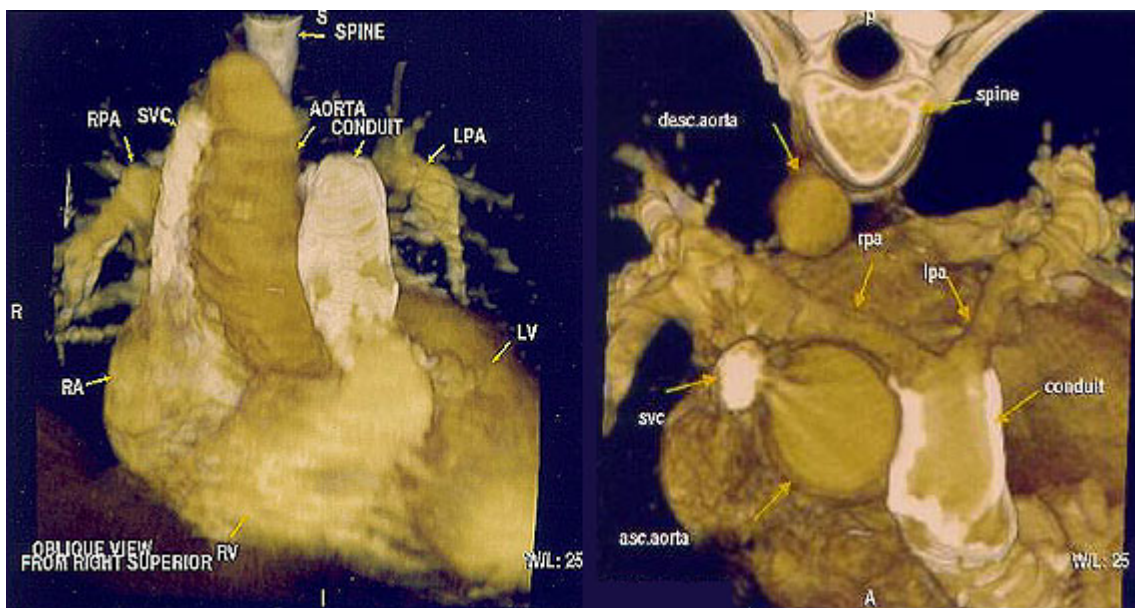
Princip klasické počítačové tomografie

Výpočetní tomograf pořizuje a zpracovává řádově tisíce až desetitisíce rentgenových obrazů získaných z projekcí skrz tělo pacienta. Pacient je zasunut na vyšetřovacím stole do vyšetřovacího tunelu, kde jej po kruhové dráze obíhá zařízení složené z rentgenky a soustavy detektorů a navíc je na stole v tunelu posouván. Reálný anatomický řez tělem pacienta je z detekovaných dat rekonstruován a zobrazen na monitoru přístroje. Jelikož jsou rentgenové paprsky tlumeny jednotlivými tkáněmi různě, umožňuje takto získaný obraz rozlišit jednotlivé tkáně jednu od druhé viz obr. 7a a 7b .

Nevýhodou vyšetření pomocí počítačové tomografie však zůstává, že je pacient vystaven rentgenovému záření.



Obr. 7a 2D (planární) CT obraz



Obr. 7b 3D (trojrozměrná)rekonstrukce CT obrazu

4.4. Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI)

V této části si rozebereme pouze velice zjednodušeně principy metody MRI, jelikož tato problematika přesahuje rámec znalostí středoškolských studentů.

MRI je lékařská diagnostická metoda, která je nezastupitelná při řadě vyšetření (např. onkologických, neurologických a řadě dalších). Tato metoda nemá na rozdíl od počítačové tomografie žádné nežádoucí účinky. K získání obrazu tkání orgánů pacienta se v případě MRI využívá účinku magnetického pole a elektromagnetického záření v oblasti frekvencí radiových vln.

Tato metoda prošla od svého prvního použití v lékařské diagnostice **R. Damadianem** a **P.C. Lauterburem** v sedmdesátých letech bouřlivým vývojem. V roce 2003 byla udělena **Nobelova cena** za přínos v oblasti využití magnetické rezonance **P. Lauterbuovi** a Britovi **P. Mansfieldovi**.

Zařízení pro zobrazení magnetickou rezonancí

Zařízení pro zobrazení magnetickou rezonancí se na první pohled podobá výpočetnímu tomografu, je to opět „tunel“. Avšak tentokrát skrývá něco zcela jiného.

Mozkem celého přístroje je **výkonný počítač**, který řídí všechny procesy během vyšetření a rekonstruuje v reálném čase celé série snímků. Centrální jednotkou je **silný magnet**, který vytváří homogenní magnetické pole. V závislosti na požadované intenzitě pole je možno užít tří typů magnetů, a to permanentních, supravodivých a odporových.

Permanentní magnety jsou vhodné pro přístroje s požadovanou intenzitou magnetického pole do hodnoty 0,3 Tesla. Mají obrovskou hmotnost, ve srovnání s ostatními dvěma typy však nízkou pořizovací cenu. K vyvolání supravodivosti (tj. stavu, kdy elektrický odpor látky klesá téměř na nulu), je třeba extrémně nízké teploty kolem $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$, které lze dosáhnout užitím velice nákladného kapalného helia. Nákladnost zařízení je avšak kompenzována možností pracovat s magnetickým polem v rozmezí hodnot od 0,3 až 2 Tesla. Odporové magnety pracují na elektromagnetickém principu a díky vysoké spotřebě elektrického proudu je jejich provoz značně nákladný. Umožňují pracovat s polem o magnetické indukci do 0,5 Tesla.

Třetí důležitou součástí systému jsou **radiofrekvenční cívky**, které slouží jednak jako antény vysílající elektromagnetický signál a jednak jako nejrůznější modifikátory magnetického pole.

Základní princip MRI

V lidském těle je velké procento vody. **Magnetická rezonance** je schopna měřit, jak se vychylují osy protonů v atomech vodíku v molekulách vody. Proto je tato metoda vhodná pro snímkování tkání a třeba i měkkých částí kloubů, ale zcela nevhodná pro snímkování kostí.

K vysvětlení principu MRI slouží různé kvantové i klasické modely. Ty však v této práci nelze použít, protože jsou zcela nad rámec znalostí studentů středních škol. Pro jednoduchost si představme, že je lidské tělo složeno z malých, chaoticky uspořádaných a různě orientovaných magnetků. Pacient je umístěn v tunelu, ve kterém je ve všech místech magnetické pole o stejné intenzitě. „Magnetky v těle pacienta“ se musí zorientovat stejným směrem. K tomu, aby bylo možné zmapovat lidskou tkáň, je třeba magnetky nějakým způsobem vybudit, vychýlit z jejich polohy. K vybudení „magnetek“ dochází vyzářením radiofrekvenčního impulsu, radiofrekvenční signály pak vysílá další vrstva cívek v přístroji. Po odeznění tohoto impulsu se magnetky v těle vrací do původní polohy určené magnetickým polem v tunelu. Při tomto návratu pak vysílají velmi slabé elektromagnetické signály. Radiofrekvenční cívky se v tuto chvíli stávají radiofrekvenčními anténami a zachytávají signály z těla.

V tunelu, zaplněném magnetickým polem, se periodicky střídá operace:

1. **vysílání signálů**,
2. **vybudení protonů v atomech vodíku** (v našem případě magnetek),
3. **vypnutí radiofrekvenčních cívek** – cívky se stávají anténami,

4. cívky přijímají energii magnetek vracejících se do svých původních poloh.

Tento cyklus trvá zhruba desítky milisekund.

Výstupem ze snímkování je pouhý shluk teček. Nyní přichází na řadu výkonné počítače se speciálními programy, které vytvoří reálný obraz na základě takto změřené hustoty protonů v příslušné tkáni.

Rizika vyšetření pomocí MRI

Jak již bylo na počátku této části uvedeno, metoda magnetické rezonance nemá žádné negativní vedlejší účinky na vyšetřovaného pacienta. Přesto je během vyšetření nutno dodržovat určitá pravidla. V okolí MR-systému se nachází velmi silné magnetické pole, a to u permanentního magnetu neustále a u supravodivého a odporového magnetu po dobu vyšetření. Každý kovový předmět je v magnetickém poli vystaven silám, které jsou úměrné intenzitě tohoto pole. Proto je nutné se před začátkem vyšetření ubezpečit, že pacient nemá v těle žádné kovové předměty (např. kovové protézy). Malé kovové předměty vedou ke znehodnocení diagnostického snímku, větší pak mohou být z těla pacienta působením magnetického pole dokonce i vytrženy.

4.5. Ultrazvuková diagnostika

Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, každá z uvedených zobrazovacích metod měla své nedostatky a vedlejší nežádoucí účinky (např. radiační zátěž apod.). Ultrazvukové zobrazovací metody těmito nedostatky zatíženy nejsou. Drobným nedostatkem je však nižší kvalita získaného obrazového záznamu

Historie ultrazvuku

Ultrazvuku se začalo využívat již v minulém století. Důležitým impulsem k jeho výzkumu byla druhá světová válka, kdy lokalizace ponorek pomocí **sonaru** výrazně přispěla k vítězství spojeneckých velmocí.

Odrazová diagnostická metoda byla zavedena do medicíny roku 1949, kdy byly získány odrazy od cizích těles a žlučových kamenů v těle. Začátkem šedesátých let se ve Velké Británii a Japonsku objevily první ultrazvukové lékařské přístroje pro dvojrozměrné zobrazení. Od padesátých let se začaly objevovat ultrazvukové metody založené na Dopplerově principu, které umožňují zjišťovat směr a rychlost pohybu

struktur odrážejících ultrazvuk. První aplikace sloužily k detekci pohybu srdečního svalu. V poslední době je stále více užíváno ultrazvukové diagnostiky, a to, vzhledem ke své nepatrné rizikivosti, zejména v gynekologii a porodnictví.

Konstrukce přístroje pro ultrazvukovou diagnostiku

Moderní ultrazvukové přístroje jsou technologicky velmi vyvinuté diagnostické systémy, které umožňují změření a zobrazení až třiceti diagnostických snímků za sekundu (obr 8.)



Obr. 8 Pohled na přístroj pro ultrazvukovou diagnostiku

Nejdůležitější částí každého ultrazvukového přístroje je **sonda**. Podle tvaru se rozlišují ultrazvukové sondy na lineární a sondy se sektorovou geometrií.

Lineární sonda je tvořena řadou lineárně uspořádaných piezoelektrických krystalů, které jsou po skupinách elektronicky vybuzeny. Výsledný ultrazvukový snímek má obdélníkový tvar. Výhodou obdélníkové geometrie řezu je zviditelnění oblasti blízké sondě, její nevýhodou je však omezené zorné pole ve větších hloubkách lidského těla. Zmíněnou nevýhodu potlačuje **lineární zakřivená sonda**, jejíž zorné pole je v hloubce lidského těla podstatně širší než zorné pole sondy lineární.



Z potřeby zobrazení oblastí hluboko (15-20 cm) položených v lidském těle byly vyvinuty **sondy se sektorovým tvarem diagnostického řezu**. Nejmodernější ultrazvukové

diagnostické systémy pracují s technologicky velmi náročnou **elektronickou sondou**. Princip této sondy si nebudeme podrobně rozebírat, jelikož tato problematika je již nad rámec znalostí studentů středních škol. Diagnostické snímky pořízené pomocí této sondy jsou vysoce kvalitní a v dnešní době umožňují pořizovat trojrozměrné snímky, viz obr. 9.

Obr. 9 3D snímek tváře lidského plodu

Fyzikální principy diagnostického ultrazvuku

Ultrazvuk je akustické vlnění s frekvenčním spektrem mezi 20 kHz a 1 GHz, tedy s frekvencí nad hranicí slyšitelnosti. K lékařským účelům je vhodné frekvenční pásmo 2 až 30 MHz.

Vysílání ultrazvukového signálu z diagnostické sondy do těla pacienta má za následek šíření podélné tlakové vlny. Při každé interakci vlny s tkáněmi jednotlivých orgánů je část signálu tkání pohlcena, část rozptýlena, a část odražena. Takto zeslabený signál lze po výstupu z pacientova těla změřit a získat tak celkovou informaci o akustických vlastnostech vyšetřovaných tkání. Tato **metoda** se nazývá **transmisní**.

Další metodou, kterou lze k získání informace užít, je **metoda reflexní**, při níž je měřena a zpracovávána ta část ultrazvukového signálu, která je v průběhu interakce s prozářenými tkáněmi odražena zpět k místu svého vzniku, tedy k ultrazvukové sondě. Ta se však užívá výhradně při konstrukci speciálních laboratorních zařízení.

Vznik ultrazvukové vlny

Ultrazvukovou vlnu lze generovat různými způsoby, které mohou užívat mechanického, elektromechanického, optického, termického či piezoelektrického principu přeměny energie. Posledně jmenovaná metoda generace ultrazvukového vlnění je pro nás nejdůležitější, její princip je totiž užit při konstrukci všech sond užívaných v lékařské diagnostice.

Piezoelektrický jev je založen na obousměrné přeměně mechanické deformační energie v energii elektrickou a naopak. Deformuje-li se piezoelektrický krystal, vznikne mezi jeho protilehlými elektrodami elektrické napětí, a naopak, přivede-li se na tyto elektrody krystalu elektrické napětí, krystal se deformuje.

Přivede-li se na piezoelektrický krystal střídavý proud, začne se krystal periodicky deformovat, začne kmitat s frekvencí rovnou frekvenci použitého střídavého proudu, a stane se tím zdrojem ultrazvukového vlnění. Jestliže naopak dopadající ultrazvukové vlnění piezoelektrický krystal rozkmitá, vyvolá tím na jeho protilehlých elektrodách měřitelné střídavé napětí o vlastní frekvenci a amplitudě, piezoelektrický krystal se tak stává detektorem dopadajícího ultrazvukového vlnění.

Technická realizace tohoto jevu spočívá v zabudování jednoho nebo více (i 400) krystalů do ultrazvukové sondy, který slouží současně jako zdroj vyslaných a detektor reflektovaných ultrazvukových impulsů.

Šíření ultrazvukové vlny lidským tělem

Ultrazvuková vlna se v tkáních různých měkkých orgánů lidského těla šíří rychlostí mezi $1450 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (např. tuk) a $1560 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (játra, ledviny) a v kostech rychlostí $3800 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro srovnání si uveďme, že ve vzduchu se ultrazvuková vlna šíří rychlostí zhruba $330 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Narazí-li ultrazvuková vlna o **amplitudě** A_0 při průchodu lidským tělem kolmo na hranici mezi dvěma orgány tvořenými tkáněmi s rozdílnými akustickými impedancemi, přejde větší část vlny do druhého orgánu a menší část vlny, jejíž **amplitudu** označíme A_R se od této hranice odrazí a vrací se zpět ke svému zdroji, k ultrazvukové sondě.

Nedopadá-li ultrazvuková vlna na hranici mezi dvěma orgány s tkáněmi o různé impedanci kolmo, ale pod úhlem α , dochází k jejímu lomu. Ten nepřispívá k diagnosticky využitelné informaci, ale způsobuje jeho nežádoucí deformaci a vede ke vzniku rušivých obrazových artefaktů.

Na závěr si zdůrazněme, že ultrazvuková diagnostika je stále jednou z nejbezpečnějších diagnostických metod užívaných v lékařství.

4.5.1. Echokardiografie

Praktické využití poznatků o průniku ultrazvukových vln prostředím se odrazilo i v diagnostice srdečních onemocnění. Echokardiografie má ve svém názvu slovo echo, což již vystihuje skutečnost, že je její princip založen na snímání zpětně odražených

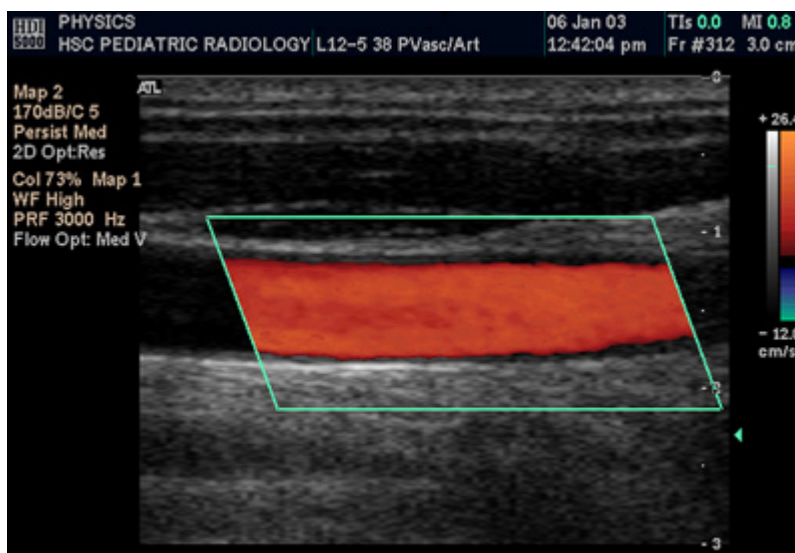
ultrazvukových vln. Echokardiografické přístroje dokáží zobrazit srdce z různých stran. Lze tak získat poměrně přesnou představu o pohybech srdce a funkci chlopní.

4.5.2. Dopplerovská echokardiografie

Dopplerovská echokardiografie je součástí ultrazvukového vyšetření srdce. Již z názvu lze vyčíst, že je tato metoda založena na **Dopplerově jevu**.

Vysvětleme si tento jev na názorném příkladě. Představme si, že stojíme na nástupišti vlakového nádraží. Blíží se k nám pískající lokomotiva. Během jejího přibližování máme dojem, že se tón pískáky postupně zvyšuje, vrcholí v okamžiku, kdy nás lokomotiva míjí, a poté se tón pískáky dostává do nižší a nižší polohy.

Převeďme si nyní tento jev do ultrazvukové diagnostiky. Příslušné ultrazvukové přístroje, založené na Dopplerově principu, dokáží měřit rychlost proudění krve, a tím i zúžení vyšetřované cévy. V tomto případě jsou pohybující se tkáň krevní elementy (červené krvinky, bílé krvinky a destičky), které jsou unášeny v krevním řečišti. Pohybem těchto krevních částic dochází k frekvenčnímu posunu a odražené ultrazvukové vlny mají frekvenci změněnou v závislosti na směru a rychlosti jejich pohybu, viz. Obr. 10. Tímto způsobem lze měřit rychlost proudění krve přes srdeční chlopně. Tato metoda je nebolestivá a diagnosticky cenná.



Obr. 10 Stanovení průtoku krve v karotidě s využitím ultrazvuku dopplerovskou metodou

V další části textu se zaměříme na další dva důležité přístroje, užívané v lékařství, a to Lekselův gama nůž a laser. Rozebereme si jejich fyzikální principy i jejich nezastupitelné funkce v medicíně.

5. Lekselův gama nůž

V testu měli studenti uvést alespoň jeden poznatek o gama noži. Pouze čtvrtina všech dotázaných uvedla, že se zde využívá záření gama. Nejčastější špatnou odpovědí byla domněnka plynoucí ze samotného názvu. Studenti se domnívali, že gama nůž je „nůž“. Již samotný název tohoto přístroje je matoucí, skrývá se pod ním totiž přístroj těžký asi 20 tun, který nemá s nožem ani jiným ostrým nástrojem vůbec nic společného, viz. obr. 11.



Obr. 11 Lekselův gama nůž

Avšak jednu podstatnou vlastnost lze z názvu vyčíst, a to že gama nůž je přístroj, který při své činnosti využívá úzké svazky gama záření. Připomeňme si pouze stručně, co je vlastně **γ -záření**. Je to radioaktivní elektromagnetické záření s vlnovými délkami kratšími než 300 pm. Lze jej zeslabit silnou vrstvou materiálu obsahující jádra těžkých prvků, např. olova. Záření gama se neodchyluje v elektrickém ani magnetickém poli.

Vývoj „gama nože“

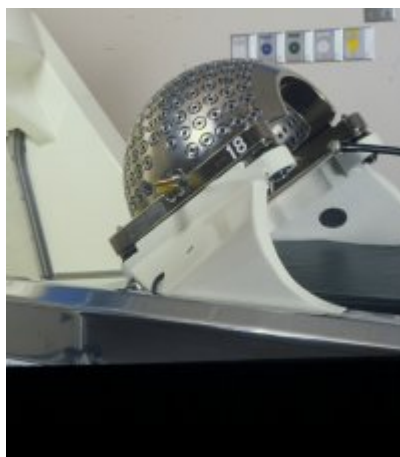
V roce 1949 bylo vytvořeno Leksellovo zařízení (tzv. stereotaktický rám), které umožňovalo precizovat místo, přes které se vedla příslušná terapie. O dva roky později bylo poprvé vyzkoušeno rentgenové záření jako chirurgický nástroj pro otevřené stereotaktické procedury. Tak bylo možné ničit patologické struktury v hloubce mozku. V průběhu 50. a 60. let hledal prof. Lars Leksell optimální zdroj záření. Byly zkoušeny lineární urychlovače a spousta dalších zdrojů, ale ani jeden z nich nevyhovoval daným

podmínkám. V roce 1968 byl poprvé použit ^{60}Co . Postupem času účinek gama nože zpřesnily přístroje umožňující zobrazení, jako např. CT a MRI.

Konstrukce gama nože

Základními částmi přístroje je radiační jednotka, kolimátorová helmice a stereotaktický koordinační rám společně s počítačovým systémem. Rozeberme si nyní tyto části podrobněji.

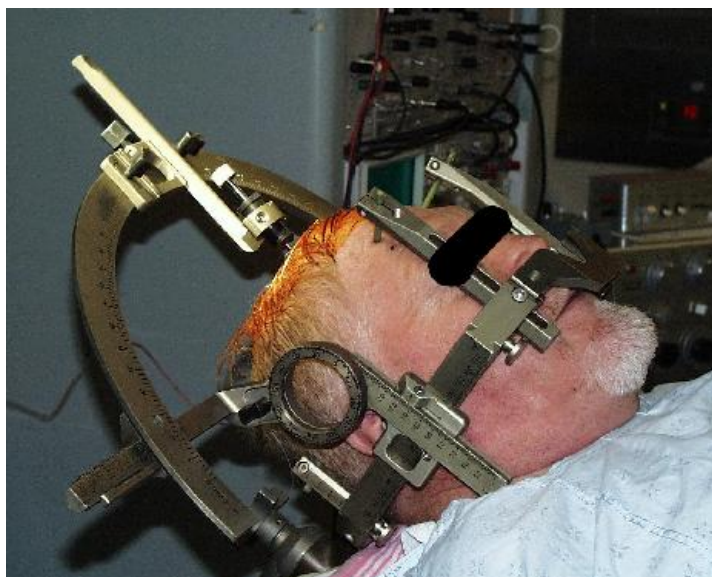
Radiační jednotka obsahuje 201 zdrojů záření ^{60}Co . Každý z 201 kobaltových zdrojů je tvořen sloupcem 11-13 kobaltových disků. Poločas rozpadu ^{60}Co je 5,26 roků. Použité zdroje záření je třeba asi po 10 letech vyměnit, protože by ozařovací časy byly neúměrně dlouhé.



Obr. 12 Kolimátorová helmice Lekselova gama nože

Kolimátorová helmice (viz obr.12) je kovová helmice, která je jakoby provrtána 201 otvory, které jsou umístěny pravidelně po celé její ploše. Tyto otvory slouží jako přístupové cesty paprsků do nitra helmice, kde se nachází ozařovaný objekt, tedy např. nádor v lebeční dutině nemocného. Svazky paprsků se sbíhají do malého cílového objemu tkáně a mimo tento ozařovaný objem je obdržena jen velmi malá dávka záření, což chrání okolní zdravou tkáň. Pro zajímavost si uveďme, že její hmotnost je přibližně 130 kg.

Stereotaktický rám (viz obr. 13) slouží k přesnému zacílení paprsků do konkrétního místa. Pomocí něj lze dosáhnout překřížení svazků paprsků, které jsou vedeny z různých směrů ve zvoleném ohnisku.



Obr. 13 Stereotaktický rám Lekselova gama nože

K radiační jednotce je připojen **operační stůl**, který je opatřen pohyblivým lůžkem, na němž leží pacient, s hlavou umístěnou v kolimátorové helmici. Helmice je upevněna k lůžku podpěrami, v nichž jsou umístěny reproduktory, pomocí nichž lze komunikovat během ozařování s pacientem. Celý gama nůž je ovládán z kontrolního panelu v přilehlé místnosti.

6. Využití laseru v medicíně

V této části nebudeme rozebírat základní principy a druhy laserů, jelikož tato problematika je podrobně popsána ve středoškolských učebnicích (např. [6]). Věnujme se tedy pouze využití v medicíně.

Využití laserového záření v praxi nastalo téměř ihned po uvedení prvního laseru do provozu. V roce 1960 byl sestrojen **rubínový laser** a již o rok později bylo záření tohoto laseru využito k léčení kožních a očních onemocnění. Lékaře přitahovala možnost koncentrace energie optického záření na malé ploše a možnost řezání tkání. Pro všechny tyto vlastnosti získal laser významné postavení v laserové chirurgii.

Výhodou této techniky je nejen možnost bezdotykového ostře ohraničeného řezu tkání, ale i odstranění velmi malých struktur bez poškození okolí a bez případného zanesení infekce do rány.

S rozvojem laserové fyziky a s objevem dalších typů laserových přístrojů, laser dále proniká do mnoha medicínských oborů, např. onkologie, neurochirurgie, stomatologie a řady dalších.

Podrobněji si rozeberme například užití laseru v oftalmologii. Zde se laserového světla užívá při velmi složitých operacích, jakými jsou např. přichycení odchlíplé oční sítnice, odstranění šedého zákalu a zejména úpravy tvaru rohovky pro korekci krátkozrakosti dalekozrakosti. Tyto operace jsou rychlé a méně bolestivé. K očním operacím se dnes využívá celá řada laserů. Nejdříve používaný laser rubínový byl nahrazen laserem **argonovým**, pro některé typy operací se také užívá **vysokovýkonového Nd:YAG pulsního laseru** a pro úpravu očních vad (krátkozrakosti a dalekozrakosti) se uplatnil laser **excimerový**.

Díky rozvoji vláknové optiky a možnosti přenášení laserového záření optickými vlákny našly lasery uplatnění např. i v tzv. angioplastice, kde se pomocí záření provádí zprůchodňování uzavřených cév.

Laser dnes také v některých případech nahrazuje klasickou zubní vrtačku - používá se na bezbolestné odstraňování zubních tkání. Další velkou oblastí je použití fotochemoterapeutických metod založených na možnosti ničení rakovinových buněk optickým zářením - metoda léčení se nazývá **fotodynamická terapie**.

Kromě terapeutických metod nacházejí lasery uplatnění i v diagnostice, kde je laserového záření (malého výkonu) využíváno k vyšetření oka nebo tkání vnitřních orgánů (včasná diagnostika rakovinných nádorů).

7. Lékařské přístroje užívané k vyšetření a úpravě činnosti srdce

V této kapitole si stručně rozebereme základní funkce a principy vyšetření nejčastěji užívaných lékařských přístrojů, a to EKG, kardiostimulátoru a defibrilátoru. Tato část by měla studentům sloužit k rozšíření všeobecných znalostí lékařské techniky.

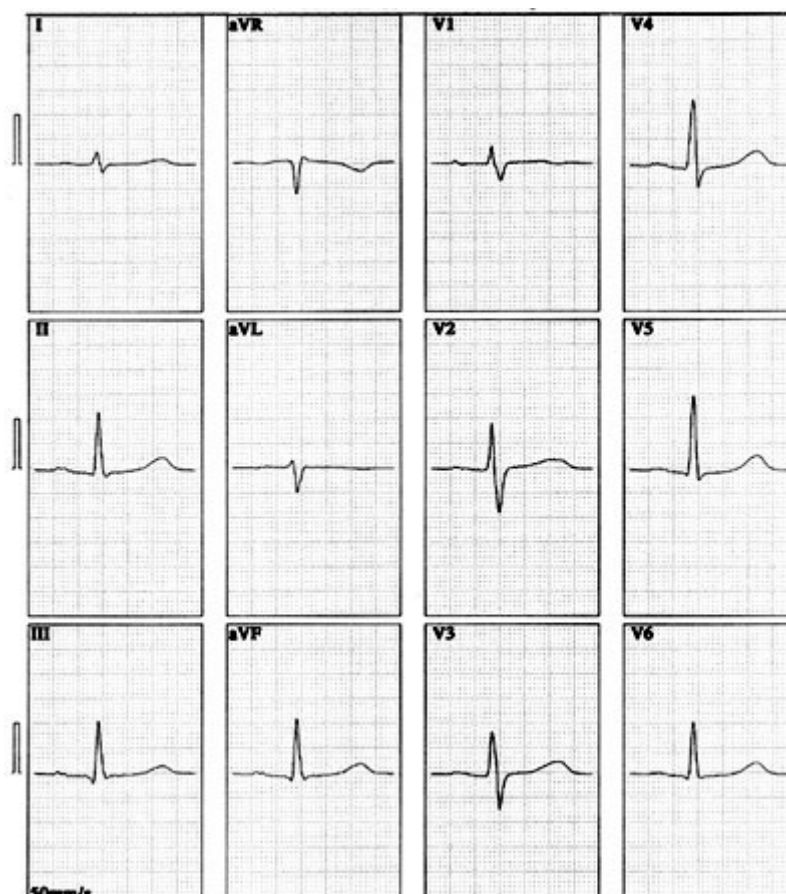
7.1. Elektrokardiografie (EKG)

Elektrokardiografické vyšetření patří mezi základní vyšetření, bez něhož se nelze obejít při hodnocení srdeční funkce. Kvalitní záznam vypovídá velmi přesně o srdečním rytmu, odhalí spolehlivě různé typy arytmií (rychlá či příliš pomalá srdeční činnost) a podává řadu dalších informací.

Elektrokardiograf je vlastně velmi citlivý galvanometr. Cívku galvanometru, která se nachází v magnetickém poli, vychylují elektrické, v tomto případě srdeční proudy. Vysvětleme si nyní **základní princip elektrokardiografie**.

Při činnosti srdečního svalu se šíří elektrické proudy (akční potenciály) od srdce do celého těla. Tělo, které obsahuje až 60% vody, v níž se vyskytují nabitě částice (ionty draslíku, vápníku, hořčíku a řada dalších), je velmi dobrým vodičem proudu. To umožňuje registrovat změny elektrické aktivity srdce pomocí elektrod, které se připevňují pacientovi na kůži. Elektrické změny registrované těmito elektrodami jsou v elektrokardiografu zaznamenávány ve formě křivek (elektrokardiogramu) na papír nebo monitor.

Aby bylo možné EKG nálezy navzájem porovnávat, je třeba, aby všechny snímací elektrody u každého vyšetření byly umístěny na standardních místech povrchu těla pacienta, a to na hrudi a končetinách. U zdravého člověka můžeme pořídit elektrokardiogram, jehož příklad je na obr.14.

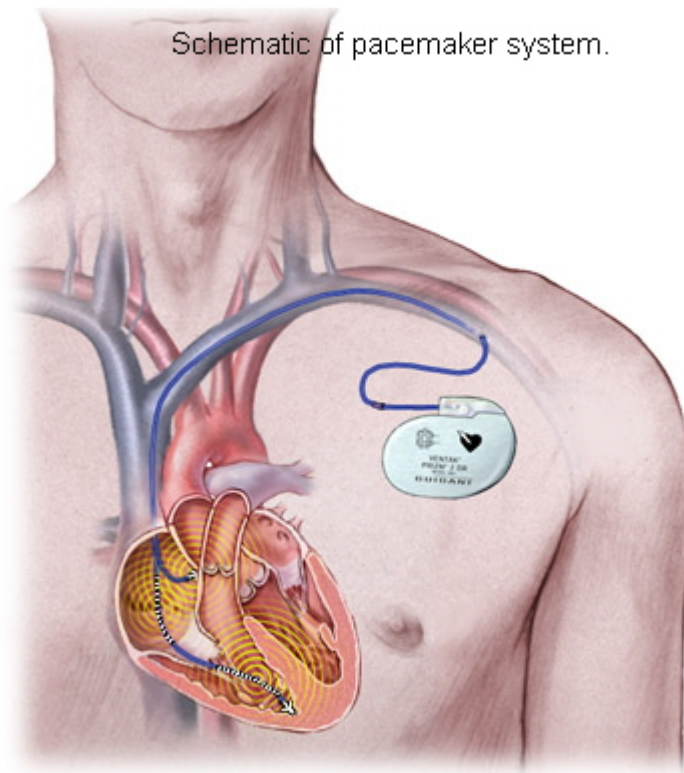


Obr. 14 Záznam ze 12ti svodového EKG u zdravého člověka

Snímkování EKG v několika málo minutách ale nemusí zachytit změny, které se objevují během dne jen sporadicky. Moderní technika si však dokáže poradit i takovýmto problémem. Tím se zabýval již před půl stoletím Holter, po němž je nazvána metoda **Holterova monitorování EKG**. Tato metoda vyžaduje zařízení, které umožňuje po dobu 24 hodin monitorovat EKG signál.

7.2. Kardiostimulátor

Kardiostimulátor je také nazýván anglickým slovem pacemaker, které docela dobře vystihuje jeho funkci. Toto slovo je označením pro toho, kdo udává krok. Ve zdravém srdci vznikají samovolně akční potenciály, tedy elektrické výboje, které jsou impulsem pro jednotlivé srdeční stahy. U celé řady srdečních chorob se tyto impulsy vytvářejí nepravidelně. V těchto případech je třeba nabídnout srdci jiný zdroj. Tím je právě kardiostimulátor (obr. 15), což je zařízení, které vysílá nepatrné elektrické impulsy do srdečního svalu.



Obr. 15 Schematický snímek lokalizace kardiostimulátoru a elektrod vedoucích k síním a komorám v srdci

Konstrukce a princip kardiostimulátoru

Elektronická část kardiostimulátoru je tvořena třemi základními částmi, a to generátorem srdečních impulsů, což je baterie a obvody k snímání aktivity srdce, dále pak stimulačními elektrodami s vodiči a programátorem, který je součástí zařízení, sloužícího k přenosu dat.

Stimulační elektrody tvoří komplet:

1. **vlastní elektroda** (hrot),
2. **propojovací vodiče**,
3. **izolace**,
4. **konektor**.

Požadavky jsou kladeny především na odolnost materiálu k mechanickému namáhání (ohybu) vodiče.

Napájení zdroje je možné provádět dvěma způsoby, a to vysokofrekvenčně z vnějšího zdroje, nebo pomocí baterie v pouzdře. V poslední době se stále rozvíjel požadavek nezávislosti na vnějších zdrojích. Dnešní stimulátory tak užívají Li-I články s životností až 15 let. Svorkové napětí je v tomto případě 2,8 V. Elektronický zdroj

impulsů je pak umístěn v úhledné krabičce, která je nemocnému implantována do podkoží.

7.3. Defibrilátor

Vymeźme si nejprve pojem fibrilace. Nejčastější příčinou zástavy srdce je velmi rychlé a nepravidelné míhání srdečních komor, tzv. **komorová fibrilace**. Tato porucha vede k zhroucení oběhu krve a ztrátě vědomí. Tuto nebezpečnou arytmií lze zrušit během okamžiku pomocí velmi silného elektrického impulsu, který chaotickou elektrickou aktivitu srdce zastaví. Poté se srdce může rozběhnout svým přirozeným rytmem. K zastavení fibrilace se užívá přístroj, nazvaný **defibrilátor**, obr. 16.



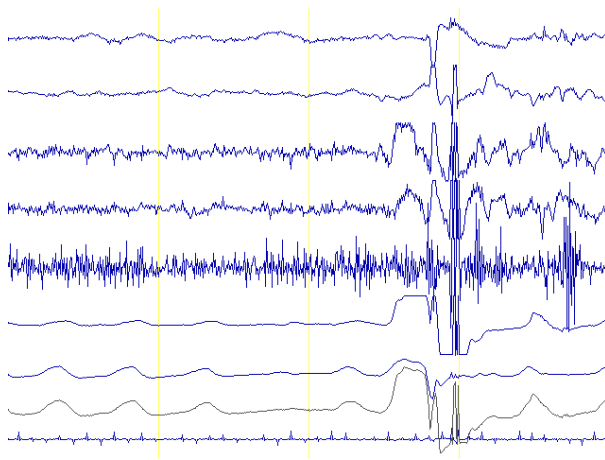
Obr. 16 Příruční defibrilátor

Defibrilátor je obvykle přenosný, skládá ze zdroje elektrického napětí, obrazovky, na které se zobrazuje srdeční rytmus a z dvou oválných elektrod s izolovanými držadly, které se přikládají na hrudník. K zlepšení kontaktu s kůží se tyto elektrody potírají gelem. Těmito elektrodami se snímá z povrchu těla ekg signál k určení druhu arytmiie, současně mezi nimi proběhne po aktivaci defibrilátoru výboj. Defibrilátor mohou obsluhovat pouze lékaři. Tímto přístrojem jsou vybaveny vozy rychlé záchrané služby, je též k dispozici na příjmových ambulancích nemocnic a jednotkách intenzivní péče.

8. Elektroencefalografie (EEG)

EEG je vyšetřovací metoda, která slouží ke sledování činnosti mozku. Užívá se v situacích, kdy se předpokládá jiná než normální činnost mozku, a to především po mozkové příhodě, otřesu a úrazech mozku a řadě dalších.

Elektroencefalograf je přístroj, který se skládá ze snímacích elektrod a procesoru. Na rozdíl od CT vyšetření, při kterém se mozek zobrazí tak, jak skutečně vypadá, elektroencefalograf zapisuje křivku na papír. Tato křivka pak zachycuje aktuální mozkovou činnost, obr. 17a.



a)

b)

Obr. 17 EEG záznam mozkové aktivity

Nyní si objasníme na jakém principu EEG pracuje.

Přístroj snímá elektrické potenciály pomocí elektrod připevněných na povrch hlavy, obr. 17b. Tyto potenciály vznikají při činnosti mozku. Informace po zesílení zpracovává a zapisuje křivku na papír nebo obrazovku. Zpravidla se současně zobrazuje i křivka EKG. To znamená, že je současně sledována i činnost srdce. Vzniklé EEG -

křivky mají charakteristický vzhled. Jinou křivku zobrazí přístroj ve spánku a při denní aktivitě.

Aktivita mozku v bdělém stavu a ve spánku má určitou frekvenci vln. Při změnách v mozkové tkáni dochází i k charakteristickým změnám obrazu křivky. Na základě změn v určitých oblastech dané polohou elektrod má lékař možnost lokalizovat místo onemocnění. Vyšetření patří k nenáročným a velmi významným testům činnosti mozku.

9. Elektromyografie (EMG)

Elektromyografie patří mezi vyšetřovací techniky, které napomáhají lékařům hodnotit stav pohybového systému. K vlastnímu vyšetření se užívá přístroj zvaný **elektromyograf**. Ten je opatřen elektrodami, zesilovačem, procesorem a obrazovkou.

Při EMG vyšetření se měří rychlost vedení vzruchu ve stimulovaném nervu a velikost elektrické odpovědi na stimulace ve svalu. Jednoduše řečeno, přístroj zjišťuje, jak rychle vedou nervy vzruch do svalu. Výsledkem vyšetření je pak EMG křivka. Pro EMG vyšetření jsou užívány dvě techniky, a to **konduktivní** a **jehlová technika**.

Konduktivní technika se provádí za pomoci stimulační a snímací elektrody. Vyšetření mohou zjistit např. poruchu vedení nervem. Naměřené hodnoty pak mohou ukázat poškození vyšetřovaného nervu např. úrazem, tlakem či toxickými látkami.

Při této technice je stimulační elektroda připojena na zdroj elektrických pulsů a snímací elektroda na záznamové a zobrazovací zařízení. Prakticky to znamená, že lékař připevní na tělo pacienta dvě povrchové elektrody. Jednou ze dvou elektrod se příslušný nerv stimuluje velmi malým elektrickým impulsem. Stimulace vyvolá zášub ve svalu zásobeném stimulovaným nervem. Snímací elektroda je obvykle povrchová elektroda, která je připevněna na kůži. Zaznamenává změny elektrického potenciálu ve svalu. Ty se přenášejí do procesoru a zpracovávají ve výslednou EMG křivku.

Při **jehlové technice** se jedna elektroda, která je tenčí než běžná injekční jehla, zanoří přímo do svalu. Změnou polohy jehly ve svalu se zjišťuje její optimální poloha pro záznam. Další postup je již stejný. Tento typ vyšetření je přesnější než předcházející.

10. Metody nukleární medicíny

Nukleární medicína je lékařským oborem, který se zabývá použitím **radiofarmak** (látek, jejichž součástí jsou radionuklidy) pro diagnostické a terapeutické účely. Radiofarmaka jsou podávány nejčastěji injekčně do žíly.

Stručná historie NM

Historické počátky nukleární medicíny se datují zhruba do 50. let minulého století. V současné době jsou klinická pracoviště nukleární medicíny v každé větší nemocnici.

Objev a rozvoj NM byl umožněn řadou objevů v atomové a jaderné fyzice, především objevem rentgenového záření (1895) a umělé radioaktivity (30. léta 20. stol.). Mezníkem nukleární medicíny byla léčba nádoru štítné žlázy radioaktivním jodem u pacienta v roce 1946. Obrovský rozvoj začal v 50. letech, kdy pomocí jodu byla studována funkce štítné žlázy a prováděna léčba jejího zvětšení. Sedmdesátá léta pak přinesla vizualizaci jiných orgánů, např. jater a sleziny a lokalizaci mozkových nádorů. Dále pak v osmdesátých letech byly metody nukleární medicíny použity pro diagnostiku srdečních onemocnění.

Metody nukleární medicíny

Nukleární medicína začala v 50. letech 20. století užívat speciální zařízení zvané „**Gama kamera**“. Jak již bylo zmíněno, vyšetření metodami nukleární medicíny jsou založena na aplikaci radiofarmaka. **Radiofarmaka** mají krátký poločas rozpadu a jejich aktivita rychle poklesne na zanedbatelnou úroveň. Radionuklidy jsou vycytány orgány těla a emitují gama záření, které je detekováno gama kamerou.

Gama kamera (obr. 18) se skládá ze **scintilačního detektoru** (např. krystal jodidu sodného aktivovaný thaliem), vyhodnocovacího zařízení a záznamového zařízení.



Obr. 18 Rotační Gama kamera

V detektoru je tenký scintilační krystal NaI(Tl), tj. krystal jodidu sodného aktivovaný thaliem, o tloušťce 9,5 mm. Ke krystalu je pak připojen systém fotonásobičů (u novějších přístrojů více než 50). Před krystalem je umístěn kolimátor, kterým fotony

gama záření procházejí. U scintilačních kamer se používají různé typy kolimátorů zhotovených z olova. Kolimátory se rozlišují podle počtu otvorů, podle energie záření gama radionuklidů a podle řady dalších vlastností.

K moderním scintilačním kamerám se připojuje počítač, který řídí sběr dat, jejich uchování, zpracování a zobrazování.

Jako **radioaktivní substance** se používá Technecium (Tc) nebo látky, nacházející se v přirozené formě v lidském těle (např. I).

Je-li zdroj ionizujícího záření mimo tělo pacienta, pak je v současné době nejužívanějším zdrojem **lineární urychlovač**. Ve vakuové trubici je elektron urychlen přepólováním cívek a poté narazí na wolframovou desku, přičemž se uvolní fotony brzdného gama záření (podobně jako v rentgence). Vycházející svazek fotonů lze libovolně upravovat filtry a kolimátory. Pokud není zařazena wolframová deska, uvolňují se přímo urychlené elektrony (elektronový svazek).

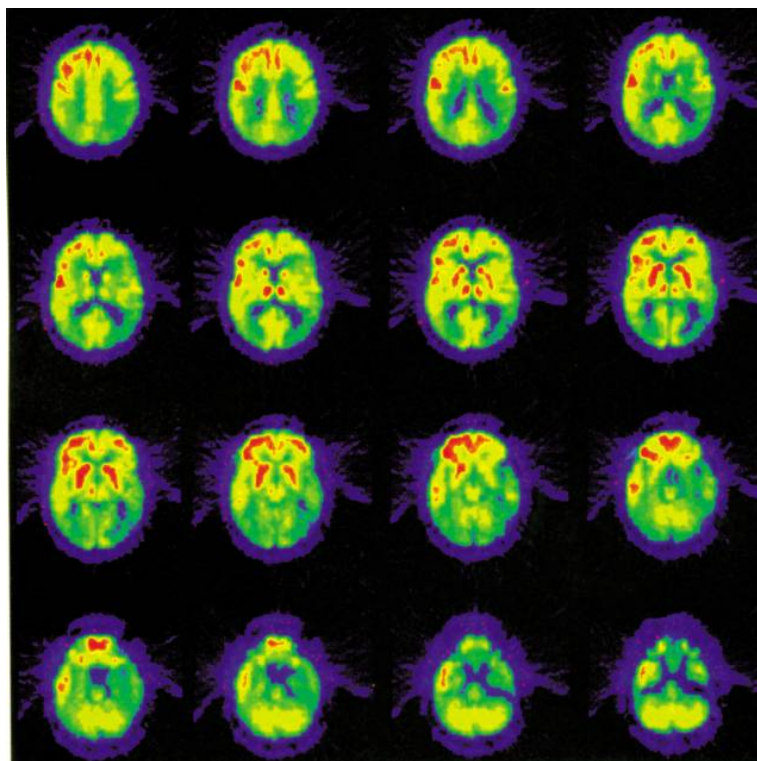
Dalším zdrojem jsou **radionuklidové ozařovače**. Nejpoužívanějším radionuklidem je ^{60}Co , uložen ve stínícím pouzdře z wolframu a olova (lidově je zvaný "**kobaltová bomba**"). Kobalt-60 emituje gama záření (fotony). Vycházející svazek záření lze také dále upravovat filtry a kolimátory. Kobaltové zdroje (201 zdrojů) má i Leksellův gama nůž (viz. kap.5).

10.1. Pozitronová emisní tomografie (Positron Emission Tomography - PET)

PET je jednou z nejnovějších metod nukleární medicíny. Umožňuje pořizování dat z řezů orgánů těla a jejich rekonstrukci, podobně jako CT. PET však přináší specifická data, která vypovídají o funkci orgánů. PET zobrazení pracuje s izotopy, při jejichž přeměně dochází k vytváření pozitronů (rozpad $^{+}\beta$). Připomeňme si, že pozitron je částice, která je shodná s elektronem, až na jeho polaritu. **Elektron** je částice nesoucí záporný náboj, **pozitrony** jsou částice kladné. Když se srazí elektron a pozitron, dojde k anihilaci, tj. k jejich zániku, a přitom se uvolní dva fotony gama záření. Toto záření je vyzařováno z těla pacienta a průběžně je detekována a počítačově vyhodnocována poloha zdroje gama záření (obr. 19). Z této informace pak počítač vyhodnocuje snímky řezů nebo obrazy vyšetřovaných orgánů. Protože pozitronovými zářiči jsou biogenní prvky (např. uhlík, vodík, kyslík aj.), je tato zobrazovací technika schopna zobrazit rozložení dějů, které charakterizují buněčné procesy. Pomocí této metody lze např. lokalizovat místa

spotřeby glukózy v těla pacienta. Toho lze využít při průkazu nádorů a jejich metastáz vzhledem k tomu, že v těchto tkáních je velmi intenzivní kumulace glukózy.

Hlavní bránícím faktorem rozšíření této metody v naší republice je vysoká cena PET kamer i radiofarmak.



Obr. 19 Aktivita mozku snímaná metodou PET

10.2. Jednofotonová emisní tomografie (Single Photon Emission Tomography - SPECT)

Slovo „jednofotonová“ v názvu znamená, že se tento postup provádí pomocí zářičů gama běžně používaných pro klasické zobrazování pomocí scintilační kamery. Slovo „emisní“ označuje fakt, že se registruje záření gama emitované radioaktivní látkou nacházející se v těle pacienta, čímž se SPECT odlišuje od CT, při níž systém detektorů registruje rentgenové záření z rentgenky po jeho průchodu tělem.

Moderní **přístroje pro SPECT** vyšetření využívají většinou dva nebo tři detektory. Při samotném vyšetření se pak detektory otáčejí kolem těla pacienta buď po malých úhlech nebo plynule a získané obrazy se ukládají do počítače. Z velkého počtu obrazů se pak rekonstruuje trojrozměrný obraz distribuce radioaktivní látky ve

vyšetřované oblasti. Systémy SPECT mohou pracovat nejen v tomografickém režimu, ale lze pomocí nich provádět i klasická planární vyšetření. Metoda SPECT je levnější než PET, proto je dostupná ve všech větších nemocnicích.

10.3. Terapeutické aplikace v nukleární medicíně

Nedílnou součástí nukleární medicíny jsou i terapeutické aplikace, při nichž se využívají radionuklidy, které emitují záření β , tzn. elektrony. Střední dolet částic tohoto záření v měkkých tkáních u nejčastěji užívaného radionuklidu ^{131}I (izotop jódu) je zhruba 0,5 mm. Intenzita ozáření tkání je tak mimo cílový orgán velice nízká. Terapie pomocí tohoto radionuklidu se podává u pacientů se zvýšenou funkcí štítné žlázy. Dalšími vhodnými indikacemi pro nukleárně medicínskou terapii je terapie bolesti při mnohočetných metastázách ve skeletu a terapie některých kloubních postižení.

Do metod nukleární medicíny lze zařadit také Lekselův gamanůž (viz. kap.5).

Radiační riziko, spojené s diagnostickými výkony nukleární medicíny, je obdobné jako např. při vyšetření pomocí rentgenového záření, jelikož většina radiofarmak užívá zářiče, které mají nejenom krátký poločas rozpadu, ale navíc se tato radiofarmaka velmi rychle vylučují z těla močí.

11. Endoskopie

Endoskopie je vyšetřovací metoda, která umožňuje lékařům přímé prohlédnutí vnitřních dutin a dutých orgánů. Přístroj užívaný při této metodě se nazývá **endoskop** (obr. 20).



Obr. 20 Flexibilní (ohybný) endoskop

Endoskop se do dutin zavádí přirozenými otvory, např. ústy, močovou trubicí, řitním otvorem apod. nebo otvory pro tento účel uměle vytvořenými. V současné době se jako zdroje světla používají halogenové nebo xenonové zdroje o výkonu 150W.

Pomocí endoskopu se provádí řada vyšetření, konkrétně lze hovořit o **gastroskopii**-vyšetření žaludku, **kolonoskopii**-vyšetření tlustého střeva, **laparoskopii**-vyšetření břišní dutiny a orgánů v ní uložených a řadě dalších.

Endoskopická zařízení kromě „světelného a zobrazovacího kanálu“, tvořeného optickými vlákny, obsahují „pracovní kanál“, kterým je možné provádět operační zákrok.

Budoucnost endoskopie

Lze předpokládat, že budoucnost endoskopie bude ovlivněna postupným vývojem již existujících principů. Především se endoskopy budou zřejmě stále miniaturizovat a obraz bude ještě zřetelnější a zorné pole širší. Další očekávanou změnou, která byla již úspěšně ověřena je robotizace endoskopických výkonů. Robotizace dovedená k dokonalosti by znamenala, že by lékař specialista ovládal přístroj v sedě ve vedlejší místnosti. Při troše fantazie si pak můžeme představit, že chirurgické výkony se budou provádět z centra, přičemž pacient bude umístěn na opačné straně zeměkoule.

12. Rehabilitační a fyzikální medicína

Ze samotného názvu rehabilitace, kde „habilis“ znamená schopný a „re“ znamená znovu, vyplývá, že se jedná o obor, který se snaží vrátit člověku co nejvíce tělesných a duševních funkcí.

Fyzikální terapie

U nemocných je prováděna celková rehabilitační léčba, která je zajišťována formou tělesné výchovy. Velmi často je také doplňována širokou škálou fyzikální terapie. Podívejme se nyní jak fyzika přispívá k jednotlivým terapeutickým postupům v rehabilitaci.

12.1. Magnetoterapie

Magnetoterapie je přirozená a pro organismus šetrná forma fyzikální terapie. Působením pulzního magnetického pole dochází k ovlivňování tkání lidského těla na

buněčné úrovni, což může vést k potlačení, případně vymizení některých zdravotních potíží.

Magnetoterapie je nejstarší formou fyzikální terapie. Již Etruskové poznali léčebnou sílu kamene nazývaného magnetovec. Asi před 100 lety byly přihlášeny první patenty pro přístroje magnetické terapie. Aparatury ale byly nevhodné pro praktické nasazení, přestože podávaly velmi dobré medicínské výsledky.

Princip a užití magnetoterapie

Pulzní magnetická pole indukují slabé elektrické proudy ve tkáni. To znamená, že jde o určitý druh elektroléčebné procedury, která má hlavní výhody v tom, že není možné lokální poškození elektrickým proudem, jako u přímých kontaktních elektroléčebných metod. Magnetické pole prostupuje danou tkání rovnoměrně, tzn. každou buňkou. Ionty, které jsou obsaženy v buňkách, jsou magneticky ovlivnitelné, což způsobuje aktivizaci každé buňky. Je známo, že při různých onemocněních se mění povrchové potenciály buněk v organismu oproti normálním hodnotám. Dochází tak k zvyšování propustnosti mezibuněčných membrán a tím k zvýšenému prokrvování, okysličování a lepšímu odvádění zplodin v exponované tkáni.

Použití magnetoterapie v důsledku jejího širokého působení na lidský organismus je z lékařského hlediska velmi rozsáhlé. Magnetoterapie se s úspěchem používá ve sportovní medicíně, interní medicíně, urologii, gynekologii, ortopedii, pediatrii, dermatologii, chirurgii, neurologii, očním lékařství a v řadě dalších lékařských oborech..

12.2. Elektroléčba

Základ elektroléčby položil sám **Luigi Galvani**. Každý z nás si vzpomene na Galvaniho pokus s žabími stehýnky, kdy dráždil jejich nervosvalový aparát galvanickým (stejnosemárným) proudem. Již ve starém Egyptě použili k léčbě částečně ochrnutých končetin speciální druh elektroléčby, a to výboje rejnoka elektrického.

Dnes se v elektroléčbě používají proudy stejnosměrné i střídavé o různých frekvencích. Velikost proudu se nastavuje tak, aby pacientovi nepůsobila nepříjemné pocity.

13. Návrh začlenění dané problematiky do jednotlivých partií SŠ učiva

Tato kapitola poskytuje návod jak problematiku fyziky užitě v medicíně začlenit do některé z forem výuky na gymnáziích, případně jak rozšířit stávající probíranou látku.

Vzhledem k rozvržení učiva ve SŠ učebnicích je třeba jednotlivé celky rozdělit.

Přístroje užívající **rentgenové záření**.

Samotné rentgenové záření je zpracováno v učebnici optiky ([5]). Historie vzniku a vlastnosti rentgenového záření jsou zde dostatečně propracovány. V samostatné kapitole „Rentgenová diagnostika“, část týkající se klasické rentgenové diagnostiky v podstatě zcela chybí. S ní by měli být studenti seznámeni, jelikož je to jedna z nejdůležitějších lékařských metod. Kapitulu Rentgenová diagnostika by mohla být doplněna o klasickou rentgenovou diagnostiku.

Návrh textu:

Klasická rentgenová diagnostika je stále často užívanou diagnostickou metodou. Metoda se označuje jako „skiaskopie“, „skiografie“. Přístroj sloužící ke klasické rentgenové diagnostice se nazývá **rentgen**, jehož hlavními částmi jsou:

- transformátor (dodává napětí řádově až 100 kV),
- usměrňovač (vytvoří ze střídavého proudu stejnosměrný),
- rentgenka (zdroj rtg záření),
- sekundární clona (absorbuje rozptýlené rtg záření),
- rentgenové fotografické filmy
- ovládací pult.

Při snímkování pomocí rentgenu se rentgenové záření, vycházející z rentgenky, šíří do okolí. Fotony o nižší energii jsou již absorbovány ve stěně rentgenky nebo v primární cloně, vyrobené např. z hliníkového plechu. Svazek záření je dále vymezen pomocí posuvných clon, díky nimž vznikne úzký směřovaný svazek. Rentgenové paprsky pak procházejí tělem pacienta, kde dochází k jejich absorpci nebo rozptylu. Následně projdou sekundární clonou. Na fotografickém filmu je tvořen obraz.

Problematika CT je v kapitole Rentgenová diagnostika probrána, vzhledem k SŠ učivu, dostatečně. K této kapitole bych již nic nedopila.

Do SŠ učebnice Elektřina a magnetismus, za kapitoly věnující se magnetickému poli, by bylo možné zařadit kapitolu „**Zobrazení magnetickou rezonancí (MRI)**“.

Návrh textu:

MRI je lékařská diagnostická metoda, nezastupitelná při řadě lékařských vyšetření (např. onkologických, neurologických). Tato metoda nemá žádné nežádoucí účinky. K získání obrazu tkání orgánů pacienta se v případě MRI využívá účinku magnetického pole a elektromagnetického záření v oblasti frekvencí radiových vln.

Poprvé byla tato metoda užitá v lékařské diagnostice v 70. letech. V roce 2003 byla udělena **Nobelova cena** za přínos v oblasti využití magnetické rezonance **P. Lauterbuovi a P. Mansfieldovi**.

Zařízení pro zobrazení magnetickou rezonancí na první pohled připomíná „tunel“. Mozkem celého přístroje je **výkonný počítač**, který řídí všechny procesy během vyšetření a rekonstruuje v reálném čase celé série snímků. Centrální jednotkou je **silný magnet**, který vytváří homogenní magnetické pole. V závislosti na požadované intenzitě pole je možno užít různých typů magnetů. Třetí důležitou součástí systému jsou **radiofrekvenční cívky**, které slouží jednak jako antény vysílající elektromagnetický signál a jednak jako nejrůznější modifikátory magnetického pole.

I když tato metoda nemá žádné vedlejší účinky, je třeba při vyšetření dodržovat přísná pravidla. V okolí přístroje se nachází velmi silné magnetické pole. Každý kovový předmět je v magnetickém poli vystaven silám, které jsou úměrné intenzitě tohoto pole. Proto je nutné se před začátkem vyšetření ubezpečit, že pacient nemá v těle žádné kovové předměty (např. kovové protézy). Malé kovové předměty vedou ke znehodnocení diagnostického snímku, větší pak mohou být z těla pacienta působením magnetického pole dokonce i vytrženy.

Pro doplnění této partie učiva:

Magnetické pole se v lékařství užívá nejen pro diagnostické účely, ale i k rehabilitaci. Terapeutická metoda, užívající magnetické pole se nazývá **magnetoterapie**, která je hojně užívána ve sportovní medicíně, očním lékařství a řadě dalších lékařských oborů. Její princip je založen na prostupování magnetického pole tkáněmi. Dochází tak k zvýšenému prokrvování, okysličování a lepšímu odvádění zplodin v exponované tkáni.

Přejdeme nyní k problematice týkající se **ultrazvuku**. Tato část by měla být doplněna o partie zabývající se ultrazvukovou diagnostikou.

Návrh textu:

Ultrazvuková diagnostika

Ultrazvuku se začalo užívat ve 30. letech 20. stol., a to nejprve k technickým účelům. Během druhé světové války došlo k jeho dalšímu vývoji, a to díky sonaru, sloužícímu k lokalizaci ponorek. V roce 1949 byl ultrazvuk zaveden do medicíny. V poslední době je stále více užíváno, především díky nepatrné rizikovosti ultrazvukové diagnostiky, zejména v gynekologii a porodnictví. K lékařským účelům je vhodné frekvenční pásmo 2 až 30 MHz.

Moderní ultrazvukové přístroje jsou technologicky vysoce vyvinuté. Nejdůležitější částí ultrazvukového přístroje je **sonda**, která je u nejmodernějších diagnostických systémů elektronická. Z diagnostické sondy je pak vysílán signál do těla pacienta, který má za následek šíření podélné tlakové vlny. Při každé interakci této vlny s orgány je část signálu pohlcena, část rozptýlena a část odražena. Takto zeslabený signál lze po výstupu z těla změřit a získat tak informaci o akustických vlastnostech vyšetřovaných tkání.

Generace (vznik) ultrazvukové vlny

Ultrazvukovou vlnu lze generovat různými způsoby, které mohou užívat mechanického, elektromechanického, optického, termického či piezoelektrického principu přeměny energie. Posledně jmenovaná metoda generace ultrazvukového vlnění je z hlediska lékařské diagnostiky nejdůležitější.

Piezoelektrický jev je založen na obousměrné přeměně mechanické deformační energie v energii elektrickou a naopak. Technická realizace tohoto jevu spočívá v zabudování jednoho nebo více (i 400) krystalů do ultrazvukové sondy, který slouží současně jako zdroj vyslaných a detektor reflektovaných ultrazvukových impulsů.

Ultrazvuková vlna se v tkáních různých měkkých orgánů lidského těla šíří rychlostí mezi $1450 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (např. tuk) a $1560 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (játra, ledviny) a v kostech rychlostí $3800 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro srovnání si uveďme, že ve vzduchu se ultrazvuková vlna šíří rychlostí zhruba $330 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Kapitolu „Ultrazvuková diagnostika“ je možné doplnit zmínkou bych o echokardiografii a Dopplerovskou echokardiografií:

Praktické využití poznatků o průniku ultrazvukových vln prostředím se odrazilo i v diagnostice srdečních onemocnění. Nejznámější vyšetřovací metodou je **echokardiografie**. Již podle názvu, obsahujícího slovo „echo“ lze zjistit, že princip této metody je založen na snímání zpětně odražených ultrazvukových vln. Díky této metodě lze získat přesnou představu o pohybech srdce a funkci chlopní.

Další metodou, která je součástí vyšetření srdce je **Dopplerovská echokardiografie**, založená na Dopplerově jevu. Vysvětleme si tento jev na názorném příkladě. Představme si, že stojíme na nástupišti vlakového nádraží. Blíží se k nám pískající lokomotiva. Během jejího přibližování máme dojem, že se tón pískály postupně zvyšuje, vrcholí v okamžiku, kdy nás lokomotiva míjí, a poté se tón pískály dostává do nižší a nižší polohy. Převedme si nyní tento jev do ultrazvukové diagnostiky. Příslušné ultrazvukové přístroje, založené na Dopplerově principu, dokáží měřit rychlost proudění krve.

Příslušné ultrazvukové přístroje, založené na Dopplerově principu, dokáží měřit rychlost proudění krve.

Dalším přístrojem, který by měl být v SŠ učebnicích alespoň zmíněn, je **Lekselův gama nůž**.

Tuto problematiku by bylo vhodné začlenit do kapitoly „Využití radionuklidů“ (viz [6]). V této části je již uvedeno, že radionuklidy lze v medicíně využít k diagnostickým účelům, nebo také k léčení zhoubných nádorů.

Na tuto zmínku lze navázat takto:

Přístroj, užívaný zejména k léčbě nádorů mozku, se nazývá **Lekselův gama nůž**. Již samotný název tohoto přístroje je matoucí, skrývá se pod ním totiž přístroj těžký asi 20 tun, který nemá s nožem ani jiným ostrým nástrojem vůbec nic společného. Avšak jednu podstatnou vlastnost lze z názvu vyčíst, a to že gama nůž je přístroj, který při své činnosti využívá úzké svazky **gama záření**.

Jako zdroj záření se užívá izotop prvku ^{60}Co , který byl pro tyto účely využit již roku 1968. Základní částí přístroje je tzv. **kolimátorová helmice**, která je jakoby provrtána celkem 201 otvory, které jsou v pravidelném rozestupu umístěny po celé její ploše a slouží jako přístupové cesty paprsků do nitra helmice, kde se nachází ozařovaný

objekt a **stereotaktický rám**, který slouží k velice přesnému zacílení paprsků do konkrétní struktury, spolu s počítačovým systémem. Celý gama nůž je ovládán z kontrolního panelu v přilehlé místnosti.

V důsledku ozáření nádorového ložiska dojde k buněčné smrti nádorové tkáně.

Přejdeme k dalšímu přístroji užívanému v lékařství. Tím je **laser**.

V SŠ učebnici [6] jsou v kapitole „Laser“ velmi podrobně rozebrány pojmy jako spontánní a stimulovaná emise, nekoherentní elektromagnetické záření, absorpce a luminiscence. Dále je zde pojednáno o historii laseru a základních principech. Dále jsou tu uvedeny různé typy laserů. Jako první je zdůrazněn laser rubínový, dále pak neodymový, helium-neonový, fotořisovací jodový laser a lasery polovodičové.

Tuto kapitolu by bylo vhodné doplnit z pohledu lékařské fyziky několika větami, týkajícími se využití laseru v medicíně:

V lékařství byl jako první užit, již v roce 1961, laser rubínový, a to k léčbě očních a kožních onemocnění. Ten byl později nahrazen laserem argonovým a excimerovým. Výhodou laserové chirurgie je nejen možnost bezdotykového ostře ohraničeného řezu tkání, ale i odstranění velmi malých struktur bez poškození okolí. V lékařství našel laser uplatnění i v řadě dalších medicínských oborů, např. onkologii, neurochirurgii, stomatologii, kde nahrazuje klasickou zubní vrtačku, ale i v terapii, kde je užíván jako zdroj světla pro fototerapii. Po aplikaci laserového záření dochází ke zvýšení prokrvování těla pacienta.

Zaměříme se na **přístroje sloužící k vyšetření a úpravě funkce srdce**.

Tato problematika se nabízí k zařazení do učebnice Elektřina a magnetismus, přičemž by bylo možné navázat na téma galvanometru.

Návrh na doplnění textu:

Velmi citlivým galvanometrem je přístroj, užívaný v lékařství, a to **elektrokardiograf**, který slouží k vyšetření srdce. Cívku galvanometru, která se nachází v magnetickém poli, vychylují elektrické, v tomto případě slabé srdeční proudy. Pomocí elektrokardiografu lze zaznamenávat křivku, která sleduje činnost srdce.

Dalšími dvěma lékařskými přístroji, upravujícími činnost srdce, jsou **kardiostimulátor**, což je zařízení, které vysílá nepatrné elektrické impulsy do srdečního

svalu a podporuje srdeční akci, a **defibrilátor**, který na základě elektrického výboje přeruší aritmii srdce.

Endoskopie, vzhledem ke konstrukci endoskopů, se nabízí zařadit do učebnice Optika, za kapitolu Snímací a projekční přístroje.

Návrh textu:

Endoskopie je vyšetřovací metoda, která umožňuje lékařům přímé prohlédnutí vnitřních dutin a dutých orgánů. Přístroj užívaný při této metodě se nazývá **endoskop**. Jako zdroje světla se používají halogenové nebo xenonové zdroje o výkonu 150W.

Podle použitých principů lze endoskopy rozdělit do tří skupin, a to na endoskopická zrcátka, tubusové endoskopy a flexibilní endoskopy.

Endoskopická zrcátka mají velmi široké použití a lze je podle jejich funkce rozdělit do několika skupin, např. laryngoskopické zrcátko, což je plošné zrcátko kulatého tvaru, sloužící k vyšetření hrtanu a hlasivek, dále pak ušní zrcátko, které má tvar kovové nálevky, sloužící k vyšetření bubínku a řadu dalších.

Tubusový endoskop je obvykle tubus s optickým systémem tvořeným klasickými čočkami a osvětlením.

Flexibilní endoskop je tvořen potřebnou optikou, ovladači zahnutí ohebného konce, dále pak světlovody.

V současné době stále dochází ke stálému vývoji konstrukce endoskopů, jejímž cílem je jejich miniaturizace a robotizace.

Posledním, nezařazeným druhem terapie, je **elektroléčba**.

Tuto problematiku lze zařadit do učebnice Elektřina a magnetismus, jako doplnění k užití stejnosměrných a střídavých proudů.

K doplnění stačí: „Stejnoseměrné a střídavé proudy o různých frekvencích se užívají také k rehabilitaci, která se nazývá elektroléčba. Velikost proudu se nastavuje tak, aby pacientovi nepůsobila nepříjemné pocity“.

Literatura

- [1] Svoboda, J. a kol.: Přehled středoškolské fyziky, 3. vyd., Praha, Prometheus 1998
- [2] Kala, M.; Kubínek, R.: Nemocnice aneb Rukověť zvědavého pacienta, Olomouc, Rubico
- [3] Kolářová, R.; Bohuněk, J.: Fyzika pro 8. ročník ZŠ, Praha, Prometheus 1999
- [4] Kolářová, R. a kol.: Fyzika pro 9. ročník ZŠ, Praha, Prometheus 2003
- [5] Lepil, O.: Fyzika pro gymnázia – Optika, 3. vyd., Praha, Prometheus 2003
- [6] Štoll, I.: Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvětla, 3. vyd., Praha, Prometheus 2002
- [7] Lepil, O.; Šedivý, P.: Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus, 5. vyd., Praha, Prometheus 2000
- [8] Veletrh nápadů učitelů fyziky VI, sborník z konference, Olomouc, UP 2001
- [9] Zuna, I.; Poušek, L.: Úvod do zobrazovacích metod v lékařské diagnostice, Praha, Vydavatelství ČVUT, 2000
- [10] Navrátil, L.; Rosina, J.: Lékařská biofyzika, Praha, Manus 2000
- [11] Mysliveček, M.; Hušák, V.; Koranda, P.: Nukleární medicína I., Olomouc, UP 2000
- [12] Liščák, R.; Vladyka, V.; Novotný, J.; Šubrt, O.; Šimonová, G.: Radiochirurgie pomocí Lesellova gama nože, Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie, 57/90, 1994
- [13] Čech, E. a kol.: Ultrazvuk v lékařské diagnostice a terapii, Avicenum, Praha, 1982
- [14] Kolářová, H.; Ditrichová, D.: Laserové záření v medicíně, Olomouc, UP 1996
- [15] Hrazdára, I.; Mornstein, V.: Lékařská biofyzika a přístrojová technika, Brno, Neptun 2001
- [16] Grunner, O.: Elektrická a magnetická pole v léčbě, Tišnov, SURSUM 1996