

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar

Kísérleti Fizikai Tanszék

SZAKDOLGOZAT

**Orvos terápiai és diagnosztikai eszközök fizikai
alapjainak tanítása középiskolában**

Sáli Ágnes

V. matematika-fizika szakos hallgató

Témavezető: Dr. Papp Györgyné

egyetemi docens

Szeged, 2005

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	4
1. A gyógyítás történetéből.....	5
2. A fizika és az orvostudomány kapcsolata.....	7
3. Alapvető diagnosztikai eljárások.....	8
3.1. Hőmérés.....	8
3.2. A pulzus mérése.....	8
3.3. Vérnyomásmérés.....	9
3.3.1. Higanys (Riva-Rocci-féle) manométer.....	10
3.3.2. Aneroid (Recklinghausen-féle) manométer.....	11
3.3.3. Modern félautomata és automata manométerek.....	11
3.3.4. Oszcillometriás módszeren alapuló manométerek.....	12
3.3.5. Ujjpletizmográfias módszer.....	12
3.3.6. A vérnyomásmérés új módszere - a folyamatos, 24 órás vérnyomás-monitorozás.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.4. Endoszkópia.....	13
3.5. Elektrokardiográfia-EKG.....	14
3.5.1. Az EKG működésének alapjai.....	15
3.5.2. Érdekes: EKG-val és GPS-szel felvértett speciális mobiltelefon... Hiba! A könyvjelző nem létezik.	
3.6. Elektroencefalográfia-EEG.....	18
4. Alapvető terápiás eszközök.....	20
4.1. Egy természetes gyógymód-a mofetta.....	20
4.2. Kontaktlencse.....	21
4.2.1. A kontaktlencsék rövid története.....	22
4.2.2. Kontaktlencsetípusok.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
4.2.3. A lencsék paraméterei.....	24
4.3. Lézer.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
4.3.1. Lézer alkalmazása a szemészetben.....	27
4.4. Mesterséges szívritmus szabályzó - pacemaker.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5. Képző eljárások.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.1. Röntgenvizsgálat.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.

5.1.1. A röntgensugárzás felfedezése	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.1.2. A röntgensugárzás előállítása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.1.3. Röntgensugárzás által keltett hatások, tulajdonságok ..	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.1.4. Röntgendiagnosztika	39
5.2. Komputertomográfia-CT	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.3. Ultrahang	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.3.1. Az ultrahang történetének rövid áttekintése	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.3.2. Az ultrahang előállítása	43
5.3.3. Az ultrahang alkalmazásai.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.3.4. Miben különbözik a 3D ultrahang a hagyományos ultrahang vizsgálatától?	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.4. Mágneses rezonancia képalkotás (Magnetic Resonance Imaging - MRI)	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.4.1. Nobel-díj az MRI terén végzett kutatási eredményekért.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.4.2. Az MR berendezés.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.4.3. Az MRI képalkotása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.4.4. Az MR vizsgálat	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.4.5. Az MRI orvosi alkalmazásának speciális esete a sugárterápia	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.5. Pozitron-emissziós tomográfia - PET.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.5.1. A Pozitron Emissziós Tomográfia alkalmazási lehetőségei.	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
5.6. A vizuális kiváltott potenciálok (VEP) vizsgálata ..	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
6. Alkalmazási lehetőségek a fizikatanításban	65
6.1. Kísérletek.....	65
6.2. Fizikusok szerepe az orvostudományban.....	71
6.3. Módszertani ajánlások.....	77
Zárógondolatok.....	78
Irodalomjegyzék.....	79

Bevezetés

A fizika a középiskolás diákok körében nem a legnépszerűbb tantárgy, mivel nem köti le figyelmüket, nem találják érdekesnek. Ez a tény nem magának a fizika tantárgynak az oka, hanem annak tanítási módjának. A jelenlegi fizikatanítás súlyos problémái közé tartozik a kevés óraszám, a fizikasertárok gyér, elavult felszereltsége, melyek következménye, hogy egyre kevesebb kísérletet lehet bemutatni a tanórákon. Az elméleti tényeket, információkat nehezen kapcsolják össze a tanulók a mindennapos problémákkal. Dolgozatom célja volt egy olyan tanári segédanyag létrehozása, mely bizonyos fizikai jelenségek, törvényszerűségek színesebb tanítását teszi lehetővé. Véleményem szerint a fizika alkalmazott területei nagyban segítik megérteni az elméletet.

Mivel középiskolás koromban érdeklődtem az orvostudomány iránt, és a fizika, illetve a matematika mellett a biológia is felkeltette figyelmemet, ezt a tudományt választottam dolgozatom fő témájának. A teljesség igénye nélkül kiválasztottam az orvostudományban leggyakrabban alkalmazott diagnosztikai és terápiás eljárások, illetve eszközök közül néhányat, melyek bemutatása segítségével alapvető fizikai jelenségek bevezethetők, taníthatók.

Megkérdeztem két fizikust, akik az orvostudomány szolgálatában állnak, hogy mi a véleményük a témával kapcsolatban.

A Játsszunk fizikát! fizikaverseny egyik feladata adott ötletet kísérletem megvalósításához, mely feladat megoldását két általános iskolás diák által benyújtott pályázattal mutatok be.

Tanári segédanyag mellett ajánlom dolgozatom elolvasását mindenkinek, aki felvilágosítást szeretne kapni az egészségügyi vizsgálatok, eljárások fizikai alapjairól.

1. A gyógyítás történetéből

Vonzó gondolatnak látszik, hogy a gyógyítás már az ősemberrel megkezdődött. Csakhogy a gyógyítás régebbi, mint az ember. Már az állatvilágban is találhatunk ilyen törekvéseket. A nagymajmok kihúzzák a testükbe fúródott nyilat vagy tüskét. Egymás bundájából eltávolítják az élősködőket. A kutyák bélhurut esetén keserű füveket esznek. A hangyák és egyéb társas életet folytató rovarok magukkal hurcolják a sebesülteket. Az állat gyógyító tevékenysége azonban nem tudatos, hanem egyszerű reflex. A tudatos és kölcsönös gyógyítás az ember sajátossága.

A kőkorszakból származó maradványcsontokon gyakoriak a sérülések. Az összecsontosodás alapján megállapítható, hogy a sérültek egy része meggyógyult. Ez csak akkor következhetett be, ha társai megteremtették az élet fenntartásához szükséges feltételeket. Az ápolás valamely primitív formája tehát az emberiség őskorában is létezhetett.

A gyógyászat története tapasztalatok megszerzésével kezdődött. Az ember a tűzről megtudta, hogy melegít, de ha hozzáér, akkor éget. Észrevette, hogy a tűz mellett megérlelődnek és kifakadnak fájdalmas kelevényei. Ismereteit később már tudatosan hasznosította. A tűz mellé húzódott és melegítette lüktető, kínzó duzzanatát. Megkönnyebbült, ha megnyílt a tályog, ezért utánozta a tapasztalt jelenséget, és kőpengével vagy csontszilánkkal utat nyitott a gennyesedésnek. Az ember ekkor győzte le először a betegséget. Megízlelte a környezetében található növényeket, bogyókat, a fák kérgét. Az egyik növényfajta mély álmat hozott, a másiktól megszűnt lázas borzongása. Így indult útjára az orvostan.

Leleteink birtokában abban sem kételkedhetünk, hogy az emberiség őskorában is végeztek aktív gyógyítást. E. G. Smith óegyiptomi praedinasztikus sírban talált sínezett törést. A sérülés ellátása technikailag olyan tökéletes, hogy több évszázados, sőt évezredek tapasztalatára következtethetünk. Az aktív sebészeti tevékenység további bizonyítéka az őskorban végzett koponyalékelés.



1. ábra Koponyalékelés a kővezkorszakból (zengővárkonyi lelet, pécsi Janus Pannonius Múzeum)

A képen megfigyelhető, hogy a csontsebzés szélei nem gyógyultak össze, hanem a koponyacsontok mindhárom rétege felismerhető; a trepanatiót (koponyalékelés) tehát a halál után végezték.

Az eddigiek az orvostudomány legősibb szakaszába, a primitív empiriás gyógyítás (görög, *empeiria*: tapasztalat) körébe tartoznak.

Az ember a természettel szemben ekkor még teljesen védtelen volt. Megismerte a természet jelenségeit és tünetényeit, azokra magyarázatot keresett. Hatalmas szellemlényeket képzelt el. Ezt a szakaszt nevezzük az animizmus korának (latin, *anima*: szellem, lélek).

A szellemlényeket önálló akarattal ruházta fel. A betegség szenvedéssel jár, sokszor halállal végződik; teljesen érthető tehát, ha az a gonosz démonokkal (görög, *daimon*: szellem, istenség, végzet) került kapcsolatba. Ezzel megkezdődött a gyógyítás történetének második szakasza, a mágikus korszak. (akkád, *emga*: dicsőséges; görög, *mageia*: varázslat, magosz: bűvész, álomfejtő). A betegség természetfeletti hite és ezzel együtt a mágikus gyógy mód súlyos visszaesést jelentett az orvostan történetében. Az ókori kultúrák gyógyászatának közös vonása, hogy a tünetet a betegséggel azonosították. Évszázadok múltak el, míg az orvostan felismeri, hogy nem a tünetek, hanem a betegséget kiváltó ok kezelése vezet gyógyuláshoz.

Az emberi értelem mindinkább tisztázta az ép és a beteg élet jellegzetességeit, a kórfolyamatok lényegét, és mind hatásosabb módszerekkel küzdött a betegségek ellen. Így alakult ki az egykori empirikus, majd mágikus gyógyászat helyén a mai orvostudomány.

[1]

2. A fizika és az orvostudomány kapcsolata

A fizika és orvostudomány kölcsönhatásait vizsgálva legáltalánosabban azt mondhatnánk, hogy az orvostudomány a fizika „szolgáló leánya” (*ancilla physicae*), aki a fizika alkalmazott ágától, a technikától újabb és újabb eszközök kidolgozását várja. A fizika inkább alaptudomány jellegű, az orvostudomány pedig alkalmazott. A fizika felkínál lehetőségeket, elméleteket, módszereket, eszközöket és a biológiai-orvostudomány keresi, hogy mire lehetne azokat felhasználni. Az orvostudomány megoldatlan problémáival inspirálja a fizikai megoldások kidolgozását. Ezt a kölcsönhatás típusát híres személyek példái demonstrálják: Röntgen felfedezte az X-sugarakat, nyomában Becquerel az U-sugarakat. Az utóbbiak vizsgálata során a Curie-házaspár felfedezte a radioaktivitást, s előállította a tiszta sugárforrást, a rádiumkloridot. Mme Curie a fémrádium kinyerésének eljárását is kidolgozta, de tevékenyen részt vett a Curie-terápia kialakításában is. Az első világháborúban megszervezte a francia egészségügy röntgen-hálózatát, maga is röntgenkocsival járva a katonai kórházakat.

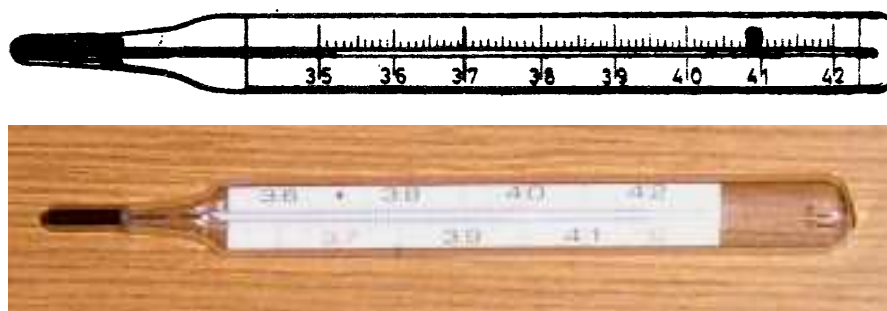
Kevésbé ismert a kapcsolatoknak az a formája, amelyben az orvostudomány felismerései jelentős fizikai felfedezésekhez vezettek. Kopernikusz ismert és keresett orvos volt, Galilei szintén medikusi tanulmányokkal kezdte. Egy gyakorló orvos, Black tette a hőtant egzakt tudománnyá a fajhő, a hőmennyiség és a hőkapacitás fogalmainak megalkotásával és mérésével. Robert Mayer hajóorvos mondta ki a hő és munka energia átalakulásának törvényét azon tapasztalat alapján, hogy Jáva szigetén eret vágva néhány emberen, a vénás vér színét majdnem olyan élénk pirosnak találta, mint az artériásét. Következtetése szerint meleg éghajlaton nem éget annyit a szervezet, nem szükséges annyi hőt termelnie, mint hideg éghajlaton. Galvani anatómia professzor rézkampó és vaslemez közt rángó békacombokkal végzett kísérleteket, melyek hatására Volta megalkotta a galvánelemet, egy állandó elektromos áramforrást, melynek segítségével az elektromosság alaptörvényeit felfedezhették. E néhány fizikatörténeti tény mellett még számos példát lehetne hozni az orvostudomány és a fizika kapcsolatára. A sort tovább nem folytatva, a fizika orvostudományban felhasznált diagnosztikai és terápiás eszközökben való alkalmazására mutatok be néhány példát. [2]

3. Alapvető diagnosztikai eljárások

Az orvosok tesztek és műszeres vizsgálatok sokaságát használják a pontos és gyors kórisme felállítása érdekében. A legtöbb diagnosztikus eljárás alig jár veszéllyel, de a rizikó növekszik, minél bonyolultabb a vizsgálati eljárás és minél súlyosabb a fennálló betegség. Az egyszerűbb diagnosztikai vizsgálatok közül néhányat ismertetek részletesebben:

3.1. Hőmérőzés

Normális emberi testhőmérsékletnek a $36,4^{\circ}\text{C}$ - $37,2^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékletet tekintjük. A testhőmérséklet megállapítása egyszerű és fontos módszer. Hőmérőzésre orvosi maximum hőmérőt használunk. Ez egy zárt kapilláris üvegcső, melynek kiöblösödő vége higanyt tartalmaz. A kapilláriscső a tartály előtt összeszűkül, ami megakadályozza, hogy a csőbe jutó higany visszafolyjon a tartályba. Így hőmérőzés után a higanyoszlop mindaddig azt az értéket mutatja, amelyre felmelegedése és kitágulása után jutott, amíg vissza nem rázzuk a tartályba. A kapilláris cső mögött tizedfokra beosztott skála van, melyen a testhőmérsékletet 35°C és 42°C között lehet leolvasni. A kapilláriscsövet, a higanytartályt és a skálalapot közös üvegcső zárja magába. [3]

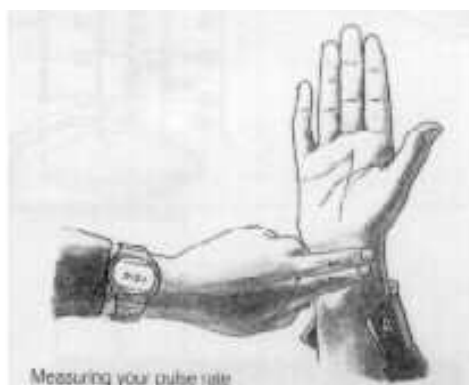


2. ábra Orvosi maximum hőmérő

3.2. A pulzus mérése

A pulzus (érverés, érlökés) az ütőereken tapintható lüktetés. A pulzushullámot egy-egy szívösszehúzóadás alkalmával a bal kamrából az aortába kilökött vérmennyiség hozza létre. Egészséges ember pulzusa a szívverésével egyező számú és periodikus. A pulzus a

beteg állapotának egyik legfontosabb jellemzője, általában tükrözi a szív munkáját, az erek állapotát, a vérnyomást. A pulzusszám az egy perc alatti lüktetések számát jelenti. A felnőtt egészséges ember átlagos percenkénti pulzusszáma 72. A pulzushullámot csontos alapon futó artérián lehet jól tapintani. A pulzust másodpercmutatós órával egy percig számoljuk. Fizikaórán bemutatható a pulzus mérésének az a formája, amikor egy vékony üveglapot (fedőlemezt) erősítünk ragasztószalaggal a nyaki verőér fölé, és azt kis teljesítményű lézertárcsával megvilágítjuk. A visszavert fénysugár az ernyőn felnagyítva mutatja az ér lüktető mozgását, így könnyebben számolható a kitérésekből a vizsgált személy pulzusa.[3]



3. ábra A pulzus mérése

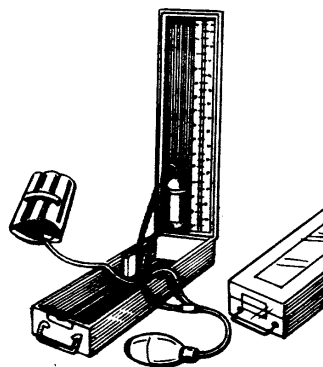
3.3. Vérnyomásmérés

A vérnyomás az a nyomás, amivel az erekben áramló vér az artéria falát nyomja. Magas vérnyomás: 140/90 Hgmm feletti érték. Alacsony vérnyomás: ennek fennállása esetén a vérnyomáscsökkenés olyan mértékű, hogy szédülést, ájulást okoz. Minél kevesebb vért pumpál a szív, annál alacsonyabb lesz a vérnyomás. Amennyiben az erek kitágulnak, a vérnyomás szintén leesik. Ingadozó vérnyomásról akkor beszélünk, ha a vérnyomás a normális és a magas, vagy éppen az alacsony és magas értékek között mozog.

A vérnyomás érzékelők a nyakban és a mellkasban folyamatosan észlelik a vérnyomás alakulását. Ha például a vérerek kitágulnak - gondoljunk például a nyári hőségre -, a szív frekvenciája megnő és az ütések erősödnek. A vérnyomás mérését közvetett módszerrel szokták végezni, amely azon alapul, hogy az érfal rugalmas, tehát megfelelő külső erővel összeszorítható, így egy adott érszakaszon a véráramlás megszüntethető. Minden vérnyomásmérő eszköz alapvetően öt fő részből áll, közülük az

érszakaszt az ún. mandzsetta szorítja el, ami egy szövetzsákban elhelyezkedő, felfújható gumipárna. A mandzsettába pumpált levegő nyomása az izmok és a kötőszövetek közvetítésével fejt ki hatását az érfalra, és az eret a csonthoz szorítva állítja meg a véráramlását. A vérnyomásmérők legelterjedtebb fajtái a következők:

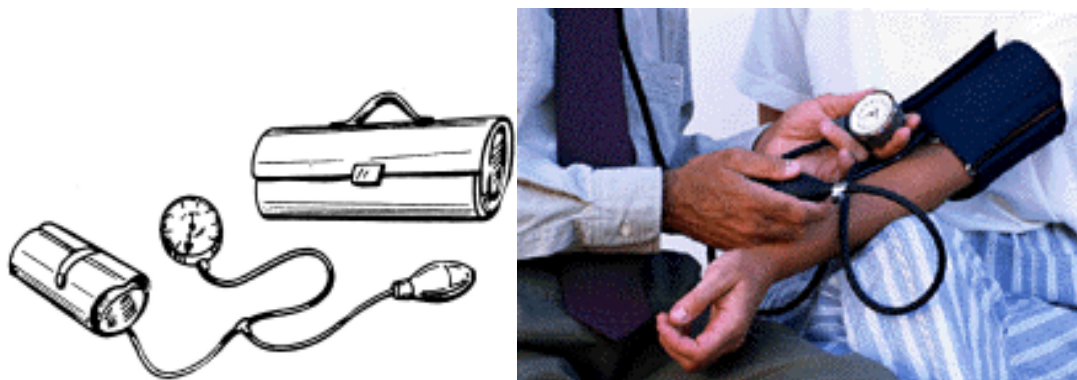
3.3.1. Higanyos (Riva-Rocci-féle) manométer



4. ábra Higanyos vérnyomásmérő

A legrégebb óta alkalmazott mérési technika, ahol a zárt üvegcsőben higany helyezkedik el. A rendszert a legpontosabbnak tartják, és gyakran más eszközök vagy vérnyomásmérő rendszerek kalibrálására használják. 1 Hgmm-es osztályozással a skálát 0 és 300 Hgmm között jelölik. A manométert mindig függőlegesen kell tartani, mert különben torz értékeket kapunk. A mérés folyamán a vérnyomásmérő pumpájával a mandzsettát felpumpáljuk oly módon, hogy a higanyoszlopot kb. 150-160 Hgmm-es értékre visszük fel, majd lassan engedjük lefelé menni. A fonendoszkópot a könyökhajlatban kitapintott verőérre helyezzük. Amikor az első pulzushullámot (koppanó hang) észleljük, akkor kell leolvasni a skálán a higanyoszlop magasságát. Ez az érték fejezi ki számunkra (összehúzódáskor) a systolés vérnyomásértéket. A hangot egy darabig folyamatosan halljuk a szív ritmusának megfelelően. Majd a hang hirtelen megszűnik, ez jelzi a vérnyomás (elernyedéskor) diastolés értékét.

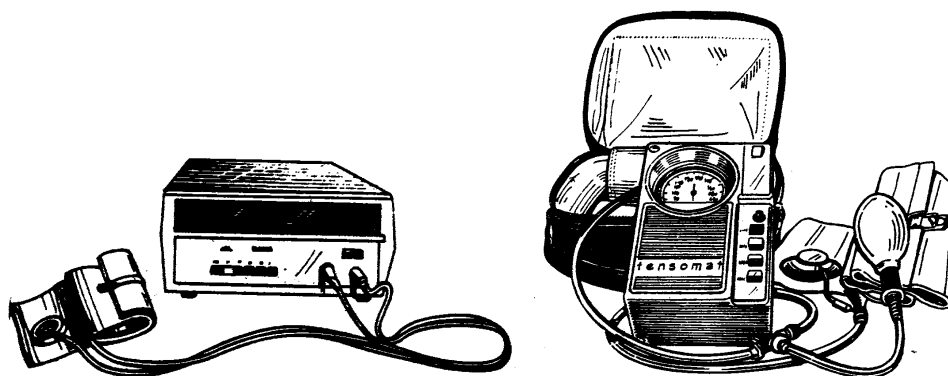
3.3.2. Aneroid (Recklinghausen-féle) manométer



5. ábra Aneroid vérnyomásmérő

A rendszer alapvetően hasonlít a higanyos rendszerhez. Olyan nyomást kell élnünk, hogy a kar ereiben a véráramlást megszüntessük. A továbbiakban hasonló eljárást alkalmazunk, mint a higanyal töltött rendszer esetében. Figyeljük fonendoszkóppal a könyökhajlat artériás verőérben az érhangot és észleljük a systolés és diastolés nyomásértéket jelző hangokat, illetve azok eltűnését. A manométer skáláján az értékeket egyszerűen leolvassuk.

3.3.3. Modern félautomata és automata manométerek

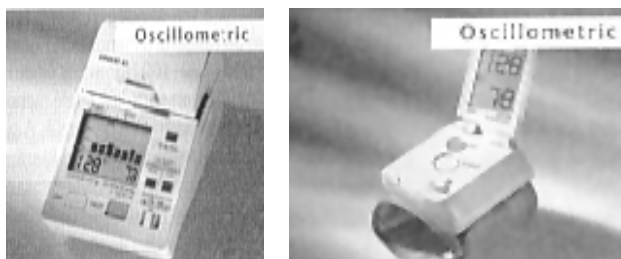


6. ábra Automata vérnyomásmérő; hordozható, telepes, félautomata vérnyomásmérő

A rendszerek alapelve teljesen hasonló az aneroidhoz, azonban a hangok észlelése automatikus és a kijelzés LCD-panelen azonnal numerikus formában jelenik meg. A vérnyomásértékek mellett a pulzusszámot is azonnal mutatja. A rendszerek fejlettségi fokától függően a mandzsetták felfújása lehet hagyományos (gumiballonnal), de lehetséges automatikusan gombnyomásra akkumulátor vagy elemek felhasználásával. A

mérés technikája alapulhat az érhangok detektálásán (piezoelektromos felvevő), de lehetséges Doppler-technikával (ultrahang) az áramlás észlelése révén.

3.3.4. Oszcillometriás módszeren alapuló manométerek



7. ábra Csuklón mérő vérnyomásmérők

Ebben a rendszerben az artériáról a mandzsettára terjedő oszcillációt érzékelik, megállapítják a systolés és középnyomást, majd kiszámítják a diastolés nyomást. A mérés lehetséges a csuklóra helyezett mandzsettával is.

3.3.5. Ujjpletizmográfias módszer



8. ábra Ujjon mérő vérnyomásmérő

A betegek otthonában történő mérések számának növelése érdekében fejlesztették ki a nyolcvanas évek elején ezeket a rendszereket, melyekben a volumenváltozásokból adódó pulzushullám segítségével határozzák meg a vérnyomásértékeket. Otthoni mérésre nagyon elterjedtek ezek a műszerek a használat egyszerűsége és a kis méret miatt. A kéz ujjaira helyezhető mérő a vérvolumen-, illetve áramlásváltozás alapján méri a vérnyomást.

3.3.6. A vérnyomásmérés új módszere - a folyamatos, 24 órás vérnyomás-monitorozás

A nap bármely időpontjában végzett egyszeri, vagy többszöri vérnyomásmérés helyett napi vérnyomásprofil mérésére törekszik a módszer azáltal, hogy nappal és éjjel

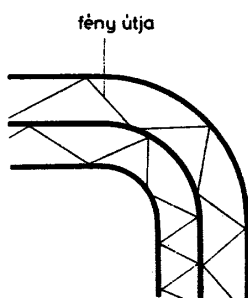
előre meghatározott időpontokban rendszeres vérnyomásmérést végez. A napi vérnyomásmérések száma mindig meghaladja az ötvenet. [3], [4], [5]

3.4. Endoszkópia

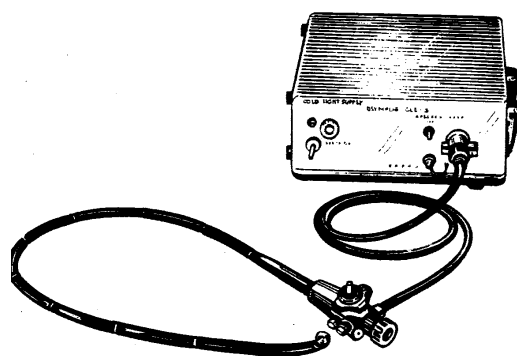
Az endoszkóp egy vékony, fényforrással ellátott hajlékony cső, melyet a testnyílásokon bevezetve, betekintheünk az üreges szervekbe vagy a testüregekbe (has, mellkas).

Az endoszkópiának számos fajtája használatos diagnosztikai célokra, ilyenek például: bronchoszkópia (hörgőtükrözés), cisztoszkópia (hólyagtükrözés), gasztroszkópia (gyomortükrözés), laparoszkópia (hastükrözés), kolonoszkópia (végbéltükrözés), kolposzkópia (hüvely- és méhnyaktükrözés), laringoszkópia (gége vizsgálata), stb.

A vizsgálatok elvégzéséhez megfelelő eszköz szükséges. Régebben minden tükrözéses vizsgálatot egyenes, csőszerű, merev eszközzel végeztek, mégpedig azon alapvető fizikai törvényszerűség miatt, hogy a fény csak egyenes irányban terjed, a fényt pedig egy tükör vetítette a vizsgálandó területre. Ma egyre elterjedtebben használjuk a hajlítható (száloptikás) endoszkópokat (ún. fiberoszkópok). Ezek a műszerek forradalmasították a tükrözéses vizsgálatokat, mivel a beteg és a vizsgáló számára egyaránt egyszerűbbé, elviselhetőbbé tették azokat. Ahhoz, hogy hajlítható eszközt lehessen tükrözéshez használni, a fényt az egyenes haladási iránytól el kell téríteni. Ezt oldja meg a száloptika. Lényege, hogy igen vékony üvegszálba annak végén bejut a fény, s az üvegszál belső felszínén a fényvisszaverődés törvényei szerint egyik oldalról a másikra verődve halad tovább, követve az üvegszál hajlékony útját anélkül, hogy eközben a fényerő jelentősen csökkenne. Ilyen üvegszálkötegből áll össze az ún. fényvezető kábel, mely külső fényforrásból továbbítja a fényt a vizsgálandó terület megvilágításához, valamint a képvezető kábel, melyen a vizsgált terület képe a vizsgálandó személyhez jut. [3]



9. ábra A száloptika vázlata



10. ábra Száloptikás endoszkóp fényforrással

3.5. Elektrokardiográfia-EKG

Az elektrokardiográfia alapját Willem Einthoven holland kutatóorvos vetette meg 1903-ban. Einthovent fiatalon, 25 éves korában a Leideni Egyetem élettani intézetének professzorává nevezték ki 1885-ben. Kezdetben a látás és légzés élettanával foglalkozott, majd figyelmét felkeltette a húros galvanométer, melynek segítségével sikerült olyan készüléket kifejleszteni, ami a lehetővé tette az elektrokardiogram precíz rögzítését. A húros galvanométer rendkívül érzékeny műszer, melynek leírását 1901-ben tette közzé. Az elkövetkező években számos kutató használta a műszert. Einthoven 1902-1903-ban publikálta eredményeit, és részletesen leírta az emberről készített első EKG jellemző elemeit. A rendszert 1908-ban standardizálták, vagyis meghatározták az EKG-elektrodok elhelyezését a betegeken, hiszen csak ilyen feltételek mellett lehet összehasonlítható és értékelhető felvételeket készíteni. Száz évvel ezelőtt tette közzé tudományos közleményében nagy jelentőségű felfedezését, a szív működés vizsgálatára emberen készített első EKG-regisztrátumot. Annak ellenére, hogy önmagáról azt mondta, ő csak egy egyszerű közönséges professzor, 1924-ben munkásságának elismeréseként megkapta az élettani és orvosi Nobel-díjat. 1927-ben, rosszindulatú betegségben halt meg. Ez a híres, de szerény orvos-kutató meghatározó szerepet játszott a szívgyógyászat fejlődésének történetében.

Ma már elképzelhetetlen EKG-vizsgálat nélkül a kardiológia területén végzett bármilyen kutatás, vagy a betegek gyógykezelése. Az első EKG-felvétel elkészítése óta eltelt száz év alatt számos olyan fontos megfigyelést végeztek, aminek tisztázása az EKG-vizsgálat módszerének és persze ennek továbbfejlesztett technikájának köszönhető. Einthoven olyan műszert fejlesztett ki és alkalmazott sikeresen emberen, amely alkalmas

arra, hogy az emberi szív működés során keletkezett elektromos áram változásának jeleit rögzítse. A szívizomzat összehúzódása, munkavégzése során bioelektromos áram keletkezik, ami a szív ciklus minden fázisának eseményeit mutatja: jelzi az ingerképződését, az úgynevezett szinuszcsozóban, terjedését a pitvarok, majd a kamrák felé, ami az izomzat ritmikus összehúzódásával tartja fenn az életet adó vérkeringést. A kritikusan lelassult szív ingerképzési zavarának pótlására alkalmas beültethető szív ingerlő készülékeket alkalmaznak (pacemakerek), de ma már az életveszélyes és kórosan felgyorsult ritmuszavarok (kamra fibrilláció) életmentő kezelésére beültethető defibrillátorok állnak rendelkezésre. Mindezek a korszerű kezelési módszerek, a készülékek működése lényegében Einthoven megfigyelésén alapszanak. [6]

3.5.1. Az EKG működésének alapjai

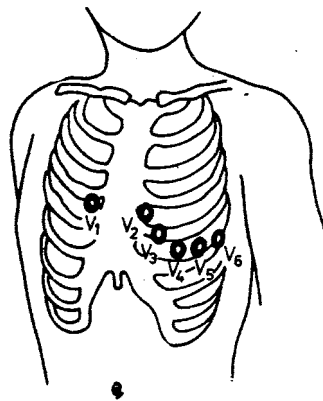
Ez a diagnosztikai eszköz a szív elektromos aktivitását figyeli, a szív működését vezérlő elektromos impulzusokat regisztrálja, papírra vagy képernyőre vetíti. A kivizsgálást, amely a kardiológiai vizsgálatok alapja, teljesen veszélytelen és fájdalomtalan, általában fekvő helyzetben végzik.



11. ábra EKG-vizsgálat ragasztott elektródák alkalmazásával, vérnyomásméréssel kiegészítve

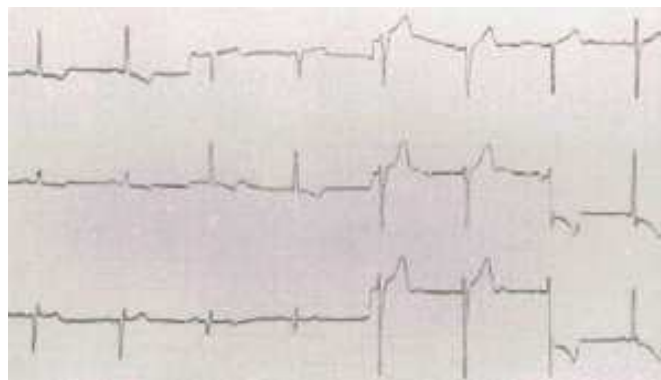
A mellkasra, a két karra és az egyik lábszárra gondosan megnedvesített elektródákat (apró, fém érintkezőket) helyeznek, melyeket vagy úgy ragasztanak fel, vagy rövid övvel erősítik a végtaghoz, vagy vákuum segítségével tartják a szükséges helyen. Ezek az elektródák minden egyes szív működés alatt mérik az elektromos tevékenység nagyságát és irányát. Az elektródák dróttal kapcsolódnak a géphez. Az általuk felfogott impulzusokat (a szívben végbemenő elektromos változásokat) a velük összeköttetésben lévő elektrokardiográf nevű készülék felerősít és mindegyik elektródán megjelenő feszültségeket vonalakként rögzít mozgó milliméterpapíron. A vizsgálatot fizikai

terheléssel (pl. kerékpározással, futószalaggal, gyógyszeresen) is össze lehet kapcsolni (terheléses EKG-vizsgálat). A terheléses vizsgálatot összeköthetjük izotópeljárásokkal, szívultrahangos vizsgálattal is. A kivizsgálás célja a különböző szívbetegségekkel járó elektromos rendellenességek észlelése. Segítségével az orvos a szív minden egyes ütését beindító ingerképző rendszerét, az ingervezető rendszerét, a szív működés frekvenciáját és ritmusát vizsgálja. Minden görbe a szív elektromos működésének egy speciális „nézetét” jeleníti meg; ezeket a nézeteket nevezzük elvezetéseknek.



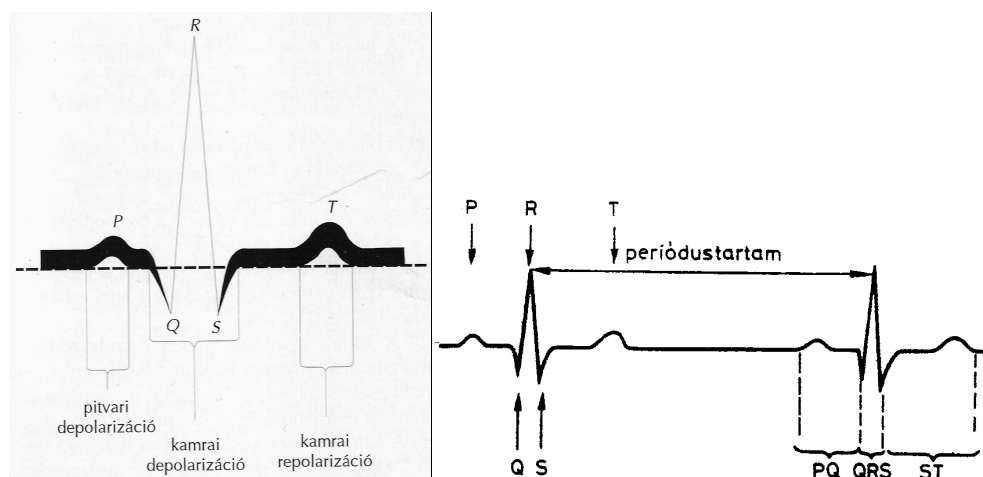
12. ábra A mellkasi EKG-elvezetések típusos helyei

Az EKG során 12 elvezetéses EKG-görbe készül. A különböző elvezetések között mért potenciálkülönbségek eltérnek egymástól, és módot adnak arra, hogy a szívben bekövetkező elektromos jelenségeket különböző helyzetből tanulmányozzák. A normális rajzolattól való eltérés szívbetegségre utal. Nagyon sok alapvető élettani, elektrofiziológiai ismeretre van szükség ahhoz, hogy ez a ma már nélkülözhetetlen rutinvizsgálat közérthetővé váljék. Amikor megnézünk egy EKG-t, a változatosan lefutó görbékben ne keressük magának a szívverésnek a közvetlen képét.



13. ábra Elektrokardiogram (részlet)

Mit jelentenek az EKG-görbe egyes kilengései? Egy normális EKG-görbe esetén az elektrokardiogrammon maximumok és minimumok jelentkeznek, amelyeket hullámoknak vagy kilengéseknek neveznek. Az egyes hullámok jelölése betűkkel (P, Q, R, S, T) történik.



14. ábra Az EKG-görbe szakaszai

Ezen hullámok nagysága mV-ban leolvasható potenciálkülönbséget jelent, az időbeli lefutásuk pedig ms-ban mérhető. A P hullám közvetlenül megelőzi a pitvar összehúzódását, vagyis a szinuszcsoóból a pitvarizomzatra terjedő ingerületnek felel meg. A következő kilengés, az ún. QRS-komplexus akkor következik be, amikor a kamra munkaizomzatának aktiválódása megkezdődött. Az ST-szakasz alatt a kamraizomzat depolarizált állapotban van. Más elvezetésekben természetesen eltérően alakul az EKG-görbe, hiszen az elektródok elhelyezése döntően befolyásolja az észlelt erőtváltozást. A szív állapotában, működésében, vérellátásában bekövetkező minden változás azonnal befolyásolja a szív elektromos jelenségeit, amit az EKG-n észlelni lehet. Kórházban vizsgált, ápolat betegeknél gyakran 24 órán át vagy még hosszabb időn keresztül folyamatosan regisztrálják, és számítógépben tárolják az EKG-t. Ezt Holter-monitorozásnak nevezik. A szív műszeres vizsgálatát még számos módszer segíti, s a diagnosztikai eljárások gyors ütemben fejlődnek. [4], [7], [8], [9], [10], [11]

3.5.2. Érdekeség: EKG-val és GPS-szel felvértezett speciális mobiltelefon

Egy, a németországi Mannheimben székelő cég legújabb modellje az első olyan mobiltelefon, melynek segítségével háromcsatornás EKG vizsgálatot lehet készíteni, és

ami legalább ilyen fontos, a vizsgálat eredményeit automatikusan el lehet küldeni az orvosi rendelőkbe. Az integrált EKG elektródái a mobiltelefon hátlapján kaptak helyet, a készülékkel pedig oly módon lehet EKG vizsgálatot folytatni, hogy a páciensek egyszerűen a csupasz mellkasukra helyezik a telefont. A vizsgálat végeztével a különleges mobiltelefon teljesen automatikusan elküldi a mért adatokat a céghez, ahol azok feldolgozásra kerülnek, végül a szakorvosok vetik alá őket alapos elemzésnek. Amennyiben a vizsgálati eredmények arra okot adnak, a cég munkatársai azonnal mentőt küldenek a gyengélkedő páciensekért. Ebben az esetben jut egyébként fontos szerephez az integrált GPS, vagyis globális helymeghatározó modulja, melynek segítségével a központban könnyedén megállapítható a telefontulajdonosok aktuális tartózkodási helye. [12]

3.6. Elektroencefalográfia-EEG

Az EKG-hoz hasonlóan az agykéreg potenciálváltozásai is elvezethetők a fejtető bőrfelületéről. Ez az EEG, ami ma már világszerte elterjedt rutin módszer. Ébren lévő állatok agyának elektromos aktivitását már a 19. században leírták. Hans Berger német pszichiáter elemezte először ezeket a jeleket. Tőle származik az elektroencefalogram kifejezés is. A különböző agyi funkcionális állapotok jellegzetes EEG-görbéje ma már jól ismert.



15. ábra Az elektródák helyének kijelölése

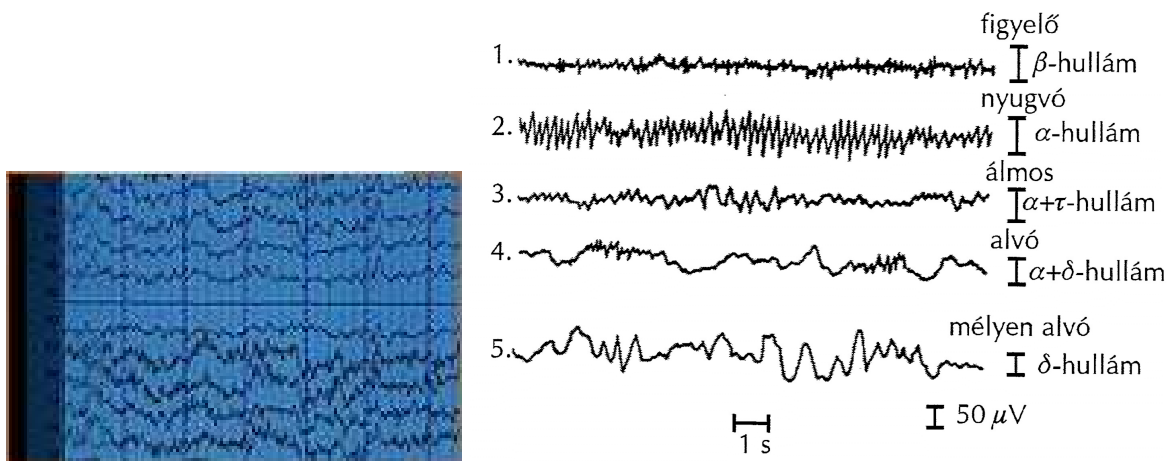


16. ábra Az elektródák felhelyezése



17. ábra Az elektródok összeköttetésben állnak az elektroencefalográf nevű készülékkel, amely vonalak formájában rögzíti a jeleket a milliméterpapíron és a monitoron

A vizsgálat során az elektródokat az ember fejbőrére helyezik, és regisztrálják az agyvelő elektróda alatti területeinek elektromos jeleit. Ismerjük az ébrenlét alfa- és béta-hullámait, az elalvás és a mély alvás teta- és delta-hullámait, valamint az ún. paradox- (álomlátási) szakasz újbóli béta-görbéit. Ugyancsak jól ismertek a kóros agyi folyamatok bizonyos csoportjának nem normális EEG-görbéi is. Az élő agy folyamatosan, ébren és alvásban egyaránt gerjeszti az egész élet folyamán az ún. „spontán” EEG-hullámokat. Az agy elektromos tevékenységét rögzítő görbe (elektroencefalogram) segítségével megállapítható, fennáll-e valamilyen rendellenesség az agyban. Az idegsejtek működésük során parányi elektromos jeleket bocsátanak ki, amelyek rendszerét a betegségek észrevehetően megváltoztatják. A jeleket a fejbőrhez erősített elektródok érzékelik. Az elektródok összeköttetésben állnak az elektroencefalográf nevű készülékkel, amely vonalak formájában rögzíti a jeleket a milliméterpapíron. Az eljárás fájdalommentes és veszélytelen.



18. ábra Elektroencefalogram; EEG-görbék

Az EEG-térképpel rokon módszer a magnetoencefalográfia (MEG), amely az agyvelő mágneses aktivitását regisztrálja. A mérést mágneses terektől teljesen izolált helyiségben, igen alacsony hőmérsékleten működő mágneses detektorok alkalmazásával

végzik. A MEG előnye, hogy mély agyi struktúrák mágneses hullámait is felfogja, de még nem kellően kipróbált, igen költséges technika. Magyarországon még nem honosodott meg. [13], [14]

4. Alapvető terápiás eszközök

A gyógyítás történetéből című fejezetben ismertettem, hogy a gyógyítás és az ápolás már az emberiség őskorában is létezett. Korán felismerték őseink a természet gyógyító szerepét, mint például a gyógyvizek, gyógynövények jótékony hatásait. A természetes gyógymódok közül a mofettát ismertetem, mivel ez a jelenség kevésbé ismert.

4.1. Egy természetes gyógymód-a mofetta

A geológusok mofettának nevezik a sok szén-dioxidot tartalmazó, viszonylag alacsony hőfokú vulkáni kigőzölgést. Magyarországon a 93-95 térfogatszázalékos szén-dioxid tartalmú gázt szárazfürdő (mofetta) formájában használják a gyógyászatban. A száraz mofetták CO₂ gázt, a nedves mofetták szénsavas vizet, savanyúvizet szolgáltatnak. Az Egészségügyi Minisztérium Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatósága 14/1999. (EüK. 15.) határozata alapján a Mátraderesckén található, a talajból természetes módon feláramló gázforrás gázát gyógygázzá minősítette. A település Heves megyében, a Mátra északi lábánál fekszik, Budapeستől 120 km-re. A község területén átfutó vulkáni törésvonal mentén kb. 60 éve szivárog a föld mélyéből a szén-dioxid gáz. Ez a hazánkban egyedülálló természeti jelenség 93-95 tf %-os szén-dioxidot és radont tartalmaz, mely 1000 méter mélységből 400 liter/óra intenzitással tör a felszínre. Az emberek régtől fogva fürdőszerűen használják a szén-dioxid gázt, annak kellemes melegítő, és bizonyos betegségi állapotoknál gyógyító hatása miatt. A gázfürdő Magyarországon egyedülálló, Európában pedig ritkaságszámba megy, bár maga a terápia széles körben ismert. A bőrön átdiffundáló gáz a szövetekbe kerülve, specifikus értágító hatást fejt ki. Ez a hatás a bőr- és bőr alatti kötőszövetekben, és a belső szervekben is megnyilvánul. Jellemző a fürdőt követő kipirulás, fej és nyak izzadása, a légzés mélyülése, a vérnyomás csökkenése és a kezelést követő aluszékonyság. Ezen hatások miatt, a gyógygáz kiválóan alkalmas a szív- és perifériás verőérbetegségben (alsó végtagi érszűkületben) szenvedők kezelésére, de jó a magas vérnyomásra, a cukorbetegség érszövődményeire, érműtétek utáni állapotok

kezelésére, illetve csontritkulás esetén. A radon egy nemesgáz, mely a földkéregben bárhol előforduló rádiumból keletkezik. Szintén a bőrön keresztül jut be a szervezetbe és már 20 perces fürdőzési idő után, a jó vérellátási területeken szétoszlik. Fájdalomcsillapító hatása úgy alakul ki, hogy a szervezet saját endorfin termelését stimulálja. A hatás késleltetett, a kúraszerű kezelés végén, sőt inkább azután a legerősebb. A radon fokozza a sejtek anyagcseréjét, a szabad gyökfogók termelődését. A kisdózisú sugárzás hatására a sugárkárosodással szemben természetesen is meglévő védőmechanizmusok aktivizálódnak. Az immunrendszer működése fokozódik, a limfocytaszám emelkedik, és a DNS újraképződik. Az ivarmirigyek működésére és pajzsmirigy anyagcserére is jó hatású. A húgysav kiválasztás nő, a vérnyomás csökken. [15], [16]

4.2. Kontaktlencse

A látás összetett folyamat, jelenti a fényérzékelést, az alaklátást, a színlátást, a mélységi látást, a látott tárgyak felismerését és azok felidézésének képességét. A látás során tehát fizikai, élettani és pszichés folyamatok játszódnak le. A látási folyamatban az első tényező a szem - mint ingerfelvevő rendszer - hibátlan működése. A látászavarok nagyon különbözőek, de az egyes szembetegségekre, szemészeti állapotokra nagyon jellemzőek. A leggyakoribbak a fénytörési hibák és az alkalmazkodás gyengesége. A szem fénytörési hibáiból eredő homályos látást különböző optikai eszközökkel (szemüveg, távcsőszemüveg, kontaktlencse) lehet korrigálni.

A látás lehet tökéletes, rövidlátó (myopia), távollátó (hypermetropia) vagy astigmatiás (belső tengelyferdülés). Nyilvánvalóan a tökéletes fénytörésű szem nem igényel látáskorrekciót, kivéve 40-50 éves kortól, amikor az úgynevezett időskori látásromlás (presbyopia) jelentkezik, és olvasószemüvegre van szükség az apró, közeli dolgok felismeréséhez. A rövidlátás nagyon gyakori fénytörési hiba, gyakran örökletes jelleget mutat. A rövidlátók közelre nagyon jól látnak, de a távoli tárgyakat elmosódottan érzékelik. Ennek oka lehet a szaruhártya nagyfokú görbülete (túl domború), vagy a szemgolyó tengelye túl hosszú. A távollátás oka az, hogy a szaruhártya görbülete túl kicsi, felszíne túl lapos, vagy a szemgolyó tengelye túl rövid. Mindezek következtében a fénysugarak a retina síkja mögé fókuszálódnak. A távollátók közelre és távolra egyaránt homályosan látnak. Az astigmatia nagyon gyakori látáshiba. A szaruhártya alakja inkább egy rögbilabdára hasonlít, és két fő görbülete van. Az egyik domborúbb, a másik laposabb. Ez

egyszerűen azt jelenti, hogy a beavatkozás során egy görbület helyett két görbületet kell kezelni egyidejűleg, hogy a látóhártyán egy pontban gyűljenek össze a fénysugarak. Életünk delén mindenki szeme - mindegy hogy egészséges, rövidlátó, vagy bármilyen más fénytörési hibával rendelkezik - presbyoppá válik. Ez azt jelenti, hogy szemünk alkalmazkodó képessége jelentősen csökken. A közeli és a távoli tárgyak éleslátásához más-más dioptriájú szemüvegre, lencsére van szükségünk.

A kontaktlencse - amelyet közvetlenül a szemgolyó elülső felszínére helyeznek - népszerűségének magyarázata az, hogy teljesebb látásélességet biztosít (még nagy dioptriák esetében is), mint a szemüveg. Kontaktlencse esetében nem érvényesül a szemüveglencsék széli torzító hatása, és a szemfenéken keletkező kép nagyságát sem befolyásolja, így a két szem közötti jelentős dioptriakülönbség is korrigálható vele. Viselése közben nem jelentkezik a szemüvegkeret látóteret szűkítő hatása, nem párasodik be, gyakorlatilag láthatatlan.

4.2.1. A kontaktlencsék rövid története

Az optika és a látás alapelveinek helyes megfogalmazásával, mely Leonardo da Vinci idejében (15-16. században) történt, megjelentek az első elméletek a látás kontaktlencsével való korrigálásáról. Az első, a szemfelszínnel közvetlenül érintkező lencsék ötlete a 18. század végén született meg. Thomas Young angol fizikus és orvos egy 5 mm-es, vízzel megtöltött és egyik oldalán lencsében végződő fémtubussal korrigálta saját látáshibáját (asztigmatizációját). A 19. század második felében dolgozták ki az első kontaktlencse készítési és használati eljárásokat. Kezdetben az egyetlen anyag, amelyből lencsét készítettek, az üveg volt. Mivel a lencsét fűvásos technikával készítették, optikájuk sokszor nem volt tökéletes, az illesztés pedig nehézségeket okozott. A következő időszakot a kontaktlencsék történetében a szemgolyóról közvetlenül vett lenyomat alapján készített forma felhasználásának módszere jellemezte. Egy idő után figyelembe vették a szemgolyó torzulásainak jellemzőit is. Az üvegből készült lencsék kemények, nagyon törékenyek és sérülékenyek voltak, egyben veszélyesek a szem számára. Áttörést jelentett a lencsék készítésében a „szerves üveg”, azaz metil-polimetakrilán, majd a 1960-as évek elejétől a forradalmi anyag, a hidrogél alkalmazása. A hidrogél az az alapanyag, amelyből ma kényelmes, biztonságos, olcsóbb és a különböző látáshibákhoz jobban alkalmazható lencsét készítenek. Száraz állapotban a szerves üveg tulajdonságaival rendelkezik, nedvesen pedig lággyá és rugalmas válik. Az új anyag feltalálásával egy időben sikerült a

kontaktlencse-ápolószerek minőségét is javítani. Jelenleg az új generációs, lágy, vékony lencsék légáteresztők, nem váltanak ki allergiát, nem izgatják a szemet, nem okoznak benne idegentest-érzetet. Különböző látáshibákat lehet velük korrigálni, beleértve az asztigmatizmust is, sőt, mi több, előfordul, hogy kizárólag kozmetikai okok miatt, pl. a szivárványhártya színének megváltoztatása céljából használják.



19. ábra Kontaktlencse helyes felhelyezése és tárolása

4.2.2. Kontaktlencsetípusok

A kontaktlencsét típusokra és kategóriákra lehet osztani tulajdonságaik alapján. A legfontosabb azonban két kritérium: rendeltetés, valamint a viselési mód.

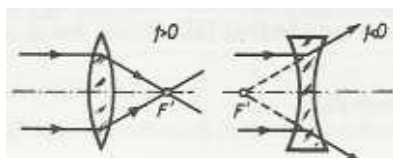
- **korrekciós lencsék:** különböző látáshibák javítására szolgálnak, veleszületett és szerzett hibák esetén egyaránt. Lehetnek egynapos, heti, kétheti, havi, háromhavi valamint évi viselésűek, a 2000. év újdonsága a folyamatosan 30 napig éjjel is viselhető lencsék.
- **gyógylencsék:** gyógyszerhordozóként vagy kötésként alkalmazzák őket a szaruhártya különböző megbetegedései vagy sérülései esetén, pl. a külső hatások elleni védelemként.
- **kozmetikai lencsék:** mindenekelőtt a szivárványhártya színének megváltoztatására használják, de sok esetben alkalmazzák a szem külső része hibáinak fedésére, pl. látható hályog takarására, szivárványhártya „újraalkotására”, a pupilla „szűkítésére”, stb.

A korrekciós lencsék típusai:

- **szférikus lencsék:** távollátás vagy rövidlátás korrekciójára.
- **tórikus lencsék:** asztigmatia (mely gyakran társul a rövidlátáshoz vagy a távollátáshoz, tovább rontva a látásélességet) korrekciójára.
- **progresszív:** a presbiópia korrekciójához.

4.2.3. A lencsék paraméterei

A lágy lencsék többnyire hidrogélből készülnek és vízzel telített zselé formájúak. A lágy lencsék víztartalma 38 %-74 % között van. Ez fontos adat, mivel bizonyos fokig utal az anyagon átengedett oxigén mennyiségére is. A kontaktlencse által a szemhez továbbított oxigén mennyiségét befolyásolja a lencse vastagsága is. Minél magasabb a lencse víztartalma és minél vékonyabb anyagú, annál több oxigén jut a szaruhártyához. Másrészt viszont minél nagyobb az anyag víztartalma, annál sérülékenyebb. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a lencse nem lehet túl vékony, mert meg kell, hogy őrizze alakját a felhelyezés során. Mindkét paraméter, a lencsék víztartalma és vastagsága, optimális kell, hogy legyen, hogy a lencse mind egészségügyi, mind kényelmi szempontoknak megfeleljen a viselés során. Az oxigénmennyiség, amely a kontaktlencsén átjut, nagyon lényeges, mivel a szaruhártya nem rendelkezik erezzel, vagyis a légkörből kell oxigént hasznosítania, amikor a szem nyitva van, illetve a felső szemhéj véredényeiből, amikor a szem zárva van. Zárt szemek esetén az oxigénmennyiség leesik kb. 1/3-ára a nyitott szemhez képest. Ezért nem ajánlott az alvás a hagyományos lencsékben, amelyek nem biztosítanak a szaruhártya számára megfelelő mennyiségű oxigént. Az optikai erő a lencsék alapvető paramétereitől függ.



20. ábra Lencsék fókusz távolsága gyűjtőlencse esetén pozitív, szórólencse esetén negatív

$D=1/f$ a lencse törőerőssége, ahol f a lencse fókusz távolsága, a törőerősség mértékegysége a dioptria. Azok, akik $\pm 4,0$ D-nál erősebb szemüveget hordanak, általában kissé más erősségű kontaktlencsét kell, hogy viseljenek. Ez a szemüveg lencséje és a szem (10-16 mm), valamint a kontaktlencse és a szem (0 mm) közötti távolság különbségéből adódik. A távollátóknak (pluszos dioptriák) magasabb dioptriaszámú kontaktlencsére van szükségük, mint amilyen a szemüveg erőssége, a rövidlátóknak (minuszos dioptriák) pedig alacsonyabb dioptriaszámúra. Tórikus lencsék esetén az asztigmia korrekációjához hozzáadják a cylinder erejét és tengelyét. Az asztigmat korigáló tórikus lencsék különböző erővel rendelkeznek a lencse egymásra merőleges két tengelyében. Az egyik az ún. szférikus erő, a szférikus erő és a másik tengely közötti különbség pedig cilindrikus

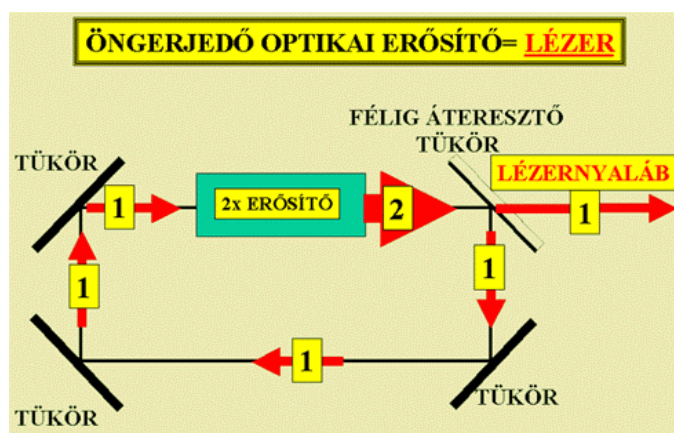
erő. Egy újabb paraméter, ami a tórikus lencsét jellemzi, a cylinder tengelye, amely meghatározza a szférikus erő geometriai elhelyezését. Minden cilindres (tórikus) lencsét két módon lehet jellemezni - pozitív és negatív cylinderrel. Így például a $-4,5/-2,5 \times 180^\circ$ vagy $-7,0/+2,5 \times 90^\circ$ egyértelmű meghatározás és ugyanazt a lencsét jellemzi. A következő nagyon fontos paraméter a bázisgörbület sugara. Ez az érték a belső felület geometriájáról ad tájékoztatást, amelynek révén a lencse a szaruhártya felületével érintkezik. Nagyon lényeges, hogy ez a két felület megfelelően illeszkedjen egymáshoz. A lencse viszonylag szabadon kell, hogy mozogjon, szinte „ússzon” a szem felszínén. A túl szűk lencse lehetetlenné teszi a könny áramlását a lencse és a szaruhártya között. A megfelelő könnyáramlás azért fontos, mert így öblítődik ki a lencse alól minden esetleges szennyeződés és a leváló hámsejtek. A túl tág lencse túlságos mértékben mozog a szemben, ezért mindenképp kényelmetlen érzést okoz, valamint instabil képet minden egyes pislogáskor.

A lencsék nagy részét, főleg azokat, amelyeket naponta kell a szemre helyezni, levenni és ápolni, speciális, enyhe színezéssel látták el. Ennek a színezésnek nincs hatása a látott képre vagy a szem színére, sokat segít azonban a lencsék megtalálásakor a tároló dobozban, valamint a felhelyezéskor és levételkor. Az UV-sugárzásra kivételesen érzékeny szemű pácienseknek ajánlják azokat a lencsét, amelyek speciális UV-szűrőt tartalmaznak. Ezek az UV sugárzásnak kb. 95%-át kiszűrik. [4], [17]

4.3. Lézer

A lézer szó az angol LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation- fényerősítés kényszerített fénykibocsátás útján) betűszóból származik. A szó egy eszközcsalád működési elvét jelenti. Tapasztalataink szerint a fénynyalábok valamilyen közegen keresztülhaladva általában gyengülnek. 1917-ben azonban Einstein elméleti megfontolások alapján megjósolta, hogy létezik egy jelenség, a kényszerített emisszió, amely lehetővé teszi fénynyalábok erősítését is. Helyezzünk el képzeletben egy kétszeres erősítési tényezővel rendelkező optikai erősítőt egy négy tükörből álló ún. rezonátorba. Tételezzük fel, hogy valahonnan egy egységnyi intenzitású fénynyaláb esik az erősítő bemenetére. Az erősítőn való áthaladás során a nyaláb intenzitása két egységnyire nő. A félig áteresztő tükrön keresztül egy egységnyi intenzitású nyaláb kiszivárog a rezonátorból, míg a nyaláb másik része a három tükrőről visszaverődve ismét az erősítő

bemenetére jut. Így az egész folyamat újra kezdődhet és folytatódhat, aminek eredményeképpen a rezonátorból folytonosan egy fénynyaláb - a lézernyaláb - lép ki.



21. ábra Lézernyaláb előállítás

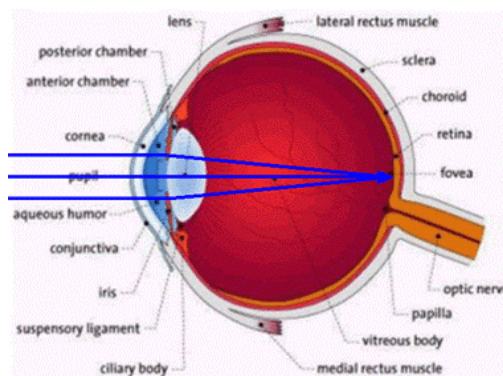
A kényszerített emisszió során keletkező erősödő fénynek négy alaptulajdonsága van: terjedési iránya, hullámhossza, rezgési fázisa és rezgési síkja azonos az erősítőbe belépő nyalábéval. Az eredmény egy tökéletesen rendezett nyaláb, amelyet koherens nyalábnak is szoktak nevezni. A koherens nyaláb széttartása rendkívül kicsi - például egy megfelelő optikával a Földtől 380 ezer km-re lévő Holdra juttatott lézernyaláb átmérője mindössze 50 m lesz. A koherens nyaláb másik kedvező tulajdonsága, hogy a lézer energiája egy megfelelő lencsével nagyon kis foltra (kb. egy tízmilliomod mm^2 -re) fókuszálható le.

Sokfajta lézer létezik. Ezek egymástól fizikai méretben, teljesítményben, a sugárzás hullámhosszában, előállítási költségekben lényegesen különböznek egymástól. A lézerek orvosi alkalmazásainak se szeri, se száma. Biológiai, orvosi felhasználás szempontjából az egyik legfontosabb tényező az élő szövetnek a fény hullámhosszától függő abszorpciója. Sok biológiai fontos molekula (fehérjék, aminosavak, nukleinsavak stb.) az optikai, a közeli infravörös és ultraibolya színek tartományban rendelkezik abszorpciós maximummal, így elsősorban az ezekben a tartományokban működő lézerek orvosi alkalmazása jelentős. Mivel az élő szövet optikailag heterogén, az egyes szövetelemek a monokromatikus sugárzás hatására különbözőképp érzékenyek. Színük szerint a szövetek a színek eltérő helyein abszorbeálódnak, és azonos teljesítmény esetén nagyobb biológiai hatás azon a frekvencián várható, amely a szövet abszorpciós sávjával egybeesik. Ezért egy adott lézer szelektív biológiai hatást vált ki. Erek vágására például zöld fényt kibocsátó argonlézer alkalmazható (gyomorvérzés esetén; szemészetben a levált retina

visszaragasztása stb.). A sok vizet tartalmazó szövetek vágására az infravörös fényt kibocsátó CO₂-lézert alkalmazzák (gégeműtétek). Ezek a műtétek vértelenek, hiszen a nagy hőhatás miatt a vágás után azonnal összehegednek a szövetek. A lézerefény ezekben az esetekben a kést helyettesíti. A lézerefényt fényvezető üvegszál segítségével vezetik a megfelelő helyre. Sokszor használják a lézert sebgyógyítási célokra. A sebre lézerefényt sugároznak, melynek hatására hamarabb begyógyul. Sok esetben ugyanezt a hatást polarizált fehér fényvel is elérni lehet.

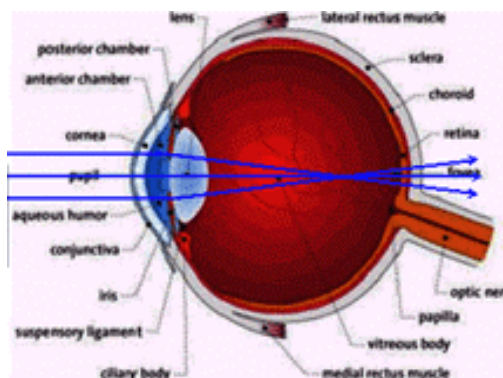
4.3.1. Lézer alkalmazása a szemészetben

Az egészséges, jól látó szem optikai komponensei (szaruhártya, szemlencse) a párhuzamos fénysugarakat pontosan a fényérzékeny ideghártyára fókuszálják, így az ideghártyán egy tökéletesen éles kép jelenik meg.



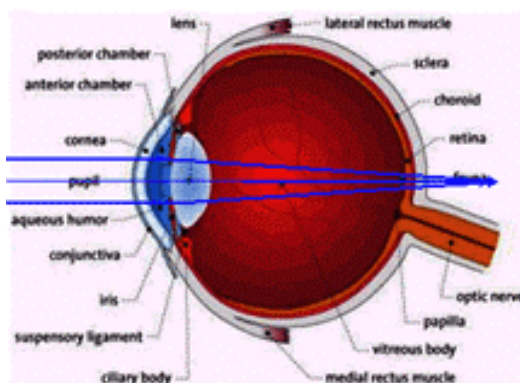
22. ábra Egészséges szem képalkotása

A rövidlátó szem szaruhártyája túlságosan görbült, törőképesége a kelleténél nagyobb, így a párhuzamos nyalábot az ideghártya elé fókuszálja, ezért az ideghártyán homályos kép jelenik meg, amit a szem tulajdonosa úgy észlel, hogy nem lát élesen.



23. ábra Rövidlátó szem képalkotása

A távollátó szem szaruhártyája ezzel szemben a szükségesnél laposabb, ezért törőképessége a kelleténél kisebb, így a párhuzamos nyalábot az ideghártya mögé fókuszálja, ezért az ideghártyán homályos kép jelenik meg, azaz a szem tulajdonosa ebben az esetben sem lát élesen. A rövidlátás és a távollátás korrigálására szóró-, illetve gyűjtőlencsét alkalmaznak szemüveg vagy kontaktlencse formájában.

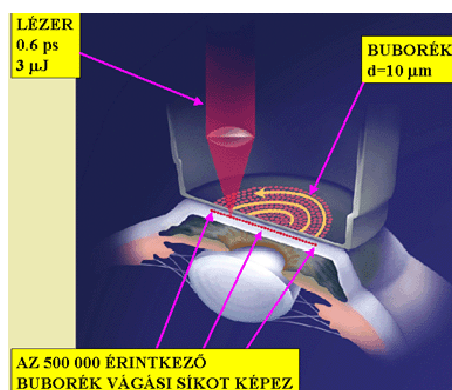


24. ábra Távollátó szem képalkotása

A lézeres szemkezelés a szaruhártya görbületének csökkentésével vagy növelésével javítja a látáshibákat, ezzel a fénysugarak fókuszusa a látóhártya síkjába kerül, mint az az egészséges szemek esetében tapasztalható. A lézert a rövidlátás, távollátás, valamint az astigmia kezelésére lehet alkalmazni. A lézerkezelés a rövidlátást a szaruhártya görbületének csökkentésével kezeli, a fókuszot hátrafelé a látóhártya síkjába tolja el. A távollátást a szaruhártya görbületének növelésével kezeli, a fókuszpontot a retina síkjába hozza előre. A lézeres szemkezelések nem képesek a presbyopia kezelésére. Ennek ellenére presbyop emberek is élvezhetik a lézerkezelés előnyeit, ha távolra is viselnek szemüveget. A beavatkozás után csak közeli korrekciót kell viselniük. Az első lépésben egy mikrokeratomnak nevezett késsel a szaruhártyából egy 0,15 mm vastagságú lebenyt alakítanak ki. Második lépésben a lebenyt felhajtják, és egy ún. excimer lézer segítségével a szükséges korrekciónak megfelelő alakú és vastagságú lencsét marnak ki a szaruhártyából. Ezek után a lebenyt visszahajtják, amely rövid idő alatt visszatapad és rögzül. A műtét eredményeképpen a szaruhártya görbülete éppen megfelelő lesz, biztosítva az éles, homálymentes optikai leképezést. Az eljárást olyan tökélyre fejlesztették, hogy a szem törőképességének hibája általában már a műtét másnapján kisebb, mint fél dioptria. Az eljárás kritikus mozzanata a lebeny vágása. (A kb. fél milliméter vastag szaruhártyából egy papír vékonyságú, tökéletesen párhuzamos, síma felületű lebenyt kell kivágni egy

gyaluhoz hasonló, rezgő nyelv motorizált késsel. Ehhez tökéletes eszközre és biztos kezű orvosra van szükség.)

Juhász Tibor, Szegeden végzett fizikus ötlete alapján egy USA-beli vállalkozás egy új lézer alapú lebenyvágó eszközt fejlesztett ki, melynek működési elve a következő: Egy 0,6 ps időtartamú lézerimpulzust egy tökéletes lencserendszer segítségével lefókuszálnak a szaruhártya felülete alá 0,15 mm mélységbe. Ennek hatására a szaruhártyában egy mikrorobbanás jön létre, amely egy kb. egy század milliméter átmérőjű buborékot hoz létre a szaruhártyában. A lézer másodpercenként tízezer impulzust bocsát ki. Egy precíziós számítógép-vezérelt tükörrendszer a lézernyalábot spirális alakban úgy pásztázza, hogy az 1 perc alatt több mint félmillió, egymással szorosan érintkező buborékot hoz létre, ami végeredményben egy a szaruhártya felületével párhuzamos vágási síkot eredményez. [4], [18], [19]

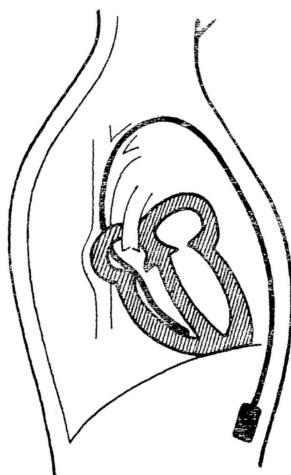


25. ábra Új lézeres lebenyvágó eszköz működési elve

4.4. Mesterséges szívritmus szabályzó - pacemaker

A régi hiedelmek a szívet felruházták a lélek és az érzelmek hordozójának szerepével. Nyelvünkben is sok kifejezés utal erre. A valóság azonban egyszerű és prózai: nincs más dolga, mint keringésben tartani a vért. E nélkül viszont életünk elképzelhetetlen. A szív fő tömegét a szívizomszövet képezi, melyen belül található a szív négy ürege, a két pitvar és a két kamra; ezeket jobb és bal pitvarnak, jobb és bal kamrának nevezik. Az emberi szív részei külön-külön ritmus szerint is ingerületbe kerülhetnek. Ha az ingerületvezetésben zavar támad a pitvarok és a kamrák között, a pitvarok gyorsabban, a kamrák lassabban dobbannak. Ha a kamrai ritmus túl lassú a keringés fenntartásához, akkor pacemaker beültetésével vezérlik a szívet, amely 60-70/perc gyakorisággal ad

elektromos impulzust. Az áramforrást néhány évente cserélni kell. Ma már elterjedtebbek az ún. készenléti pacemakerek, amelyek működése függ a szív frekvenciájától; csak akkor lépnek működésbe, ha arra szükség van. [14], [20]



26. ábra Pacemaker elhelyezkedése a testben

5. Képkalkotó eljárások

Az élő rendszereket jellemző életfolyamatok struktúrához kötöttek. A struktúra meghatározott komponenseihez igen gyakran részfunkciókat lehet rendelni, de ezek a funkcionális összetevők sem léteznek csak igen jól definiált szerkezeti felépítés mellett. Alapvető szerkezeti változások nem ritkán azzal a következménnyel járnak együtt, hogy a rendszer nem képes a funkcióját ellátni. A megváltozott funkció ugyanakkor szerkezeti változásokat is előidézhet. A funkció és a struktúra közötti igen szoros kapcsolat magyarázza, hogy az élő rendszerek tanulmányozása esetén (például humán diagnosztikai vizsgálatok körében) igen nagy jelentősége van a szerkezetvizsgáló módszereknek. A szerkezetet analizáló eljárások között kiterjedten alkalmaznak egy sor olyan módszert, amely a vizsgált objektumról egy úgynevezett „képet” állít elő. A legáltalánosabb értelemben a kép fogalma úgy definiálható, mint a rendszer valamilyen (fizikai, kémiai, vagy egyéb) sajátosságának a helyfüggése, illetve ennek a helyfüggésnek a megjelenítése.

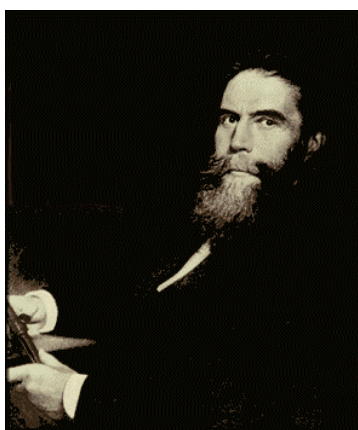
A korai képkalkotó eljárások között kiemelkedő jelentőségű és ma is alapvető jelentőséggel bír a hagyományos röntgen technika. Ebben az esetben a szöveteknek a sugárzást elnyelő (vagy gyengítő) képessége az a fizikai tulajdonság, amely a technikával tanulmányozható. A módszerrel a vizsgált biológiai rendszernek (illetve a helyfüggő sugárzásgyengítő képességnek) csak a vetületi képe állítható elő. A technika tökéletlenségeire utal, hogy az ilyen kép semmilyen információt nem hordoz a strukturális

elemeknek a vetítés irányában történő lokalizációjára, valamint a struktúrának a vetítési irányban mérhető dimenzióira vonatkozóan. [21]

5.1. Röntgenvizsgálat

5.1.1. A röntgensugárzás felfedezése

Az 1895. év nagy változást hozott a fizika fejlődésében. A 19. század legvégén és a 20. század elején kevés dolog hozta annyira lázba az emberiséget, mint a röntgensugárzás. A sugárzás felfedezése már napirenden volt, mégis mindenkit meglepett. A felfedezést gyors alkalmazás is követte, de akkoriban még kevesen gondoltak arra, hogy a nagyszerű új találmánynak súlyos veszélyei is vannak.



27. ábra Wilhelm Conrad Röntgen, Deutsches Röntgen Museum

Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) évtizedes kísérletező munkája során ismeretlen sugarakat fedezett fel. Gépészmérnöki tanulmányai befejezése után fordult a kísérleti fizika felé. Mindig egyszerű kísérletekkel foglalkozott, melyekkel nagyon pontos eredményeket ért el. Harmincnégy éves korában a giesseni kísérleti fizika tanszék élére került, ahol fontos felfedezését tette. Röntgen 1895. november 8-án este a laborjában egy Lenard-féle katódsugárcsővel kísérletezett. A katódsugárcsővet fekete kartonnal takarta le, hogy a kisülés fényei ne zavarják. Annak ellenére, hogy a készülékből semmiféle látható fény nem érhetett el a közelben elhelyezett fluoreszkálásra képes kis ernyőt, az mégis élénken fényelt. Az ernyő fénylése megszűnt, amint a katódsugárcsővet kikapcsolta, és ismét megfigyelhető volt a cső bekapcsolását követően. A sugárzás 1,5 - 2 méter távolságból is fénylésre tudta kényszeríteni az ernyőt, tehát nem lehetett katódsugárzás,

mert azt néhány centiméternyi levegő elnyeli. Kimutatta azt is, hogy a cső egy meghatározott részéből egyenes vonalban lép ki a sugárzás, és az a bárium-platinóciániddal bevont ernyőn felfogható. Megvizsgálta áthatolóképességét, elnyelődését, és elkészítette az első röntgenfelvételeket. 50 napi intenzív munka után a helyi egyetem nyomdájában elkészült kis dolgozata a rejtélyes X-sugarakról.

A felfedezés bejelentését követően természetesen többen rájöttek arra, hogy hasonló jelenséget már ők is láttak. Ilyen volt Goldstein, Thomson, Lenard vagy az amerikai Goodspeed, aki már korábban a sugárzás nyomát is lefényképezte. Arra a közismert jelenségre is meglett a magyarázat, hogy miért nem szabad a fotólemezeket a katódsugárcső közelében tárolni. Röntgen felfedezését követően valóságos sugárzási láz tört ki.

Az új sugárzás legérdekesebb tulajdonsága rendkívüli áthatolóképessége volt. A felfedezést követő napokban Röntgen megállapította, hogy papíron, üvegen, fán és az ember lágyszövetein a sugárzás áthatol, a csontok és a vékony fémlémezek részben, az ólom és más vastagabb fémek teljesen elnyelik. A fotólemezen is feketedést okoz erősségének függvényében, így megszülethettek az első röntgenfelvételek, amelyek sorát Röntgen feleségének kézfelvétele nyitotta meg.



28. ábra Berta Röntgen kezéről készült kép

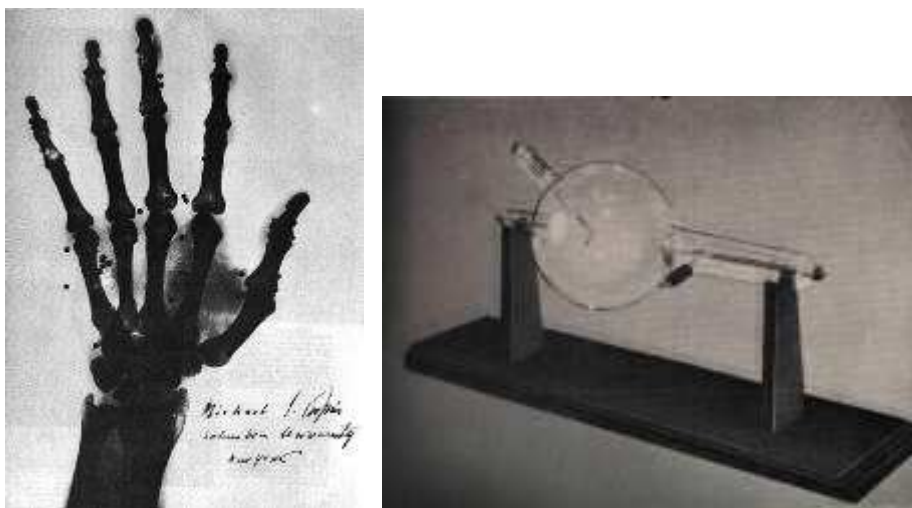
1895. december 28.-án jelent meg Röntgen első ismertetése az általa felfedezett sugárzásról. Rövid dolgozatát Európa vezető tudósainak is megküldte újévi jókívánságai mellé, és az mindenhol óriási lelkesedést váltott ki. Akinek lehetősége volt rá, maga is megkísérelt saját röntgenképet készíteni. Így történt ez a pesten is. Az első hazai tudósítás a röntgensugárzásról 1896 januárjában jelent meg a Természettudományi Közlönyben. Ebben Wartha Vince (1844-1914), a Műegyetem tanára, a bécsi Die Presse alapján közli a felfedezés hírét, valamint annak Boltzmann- féle kommentálását, aki egyrészt javasolja az

új sugárzás elnevezését a felfedezőjéről, másfelől a sugárzást az éter longitudinális rezgéseinek vélte, akárcsak Röntgen. A cikk igazi szenzációja az volt, hogy a végén már közölte a bemutatott felvételt Eötvös Loránd kezéről. A felvételt egyébként Klupathy Jenő (1861-1931) készítette, aki ekkor a miniszterré kinevezett Eötvöst helyettesítette a Kísérleti Fizika Tanszéken. Klupathy január 16-án a Fizikai Intézet nagyelőadójában is beszámolt a Röntgen-kísérletekről.



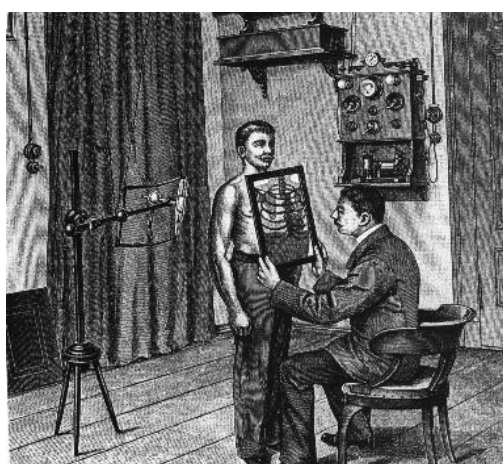
29. ábra Eötvös Loránd kezéről készült röntgenkép

A vidékiek sem maradtak el a pestiek mögött. Honor István a szegedi főreál fizika szertárában január 18-án készített először felvételt. Nem sokkal maradt el tőle Gothard Jenő (1857-1909), a Szombathely melletti Herényben magáncsillagdat is fönntartó tudományoknak élő földbirtokos, aki a csillagászati vizsgálatához rendelt spektralfotográfiai csöveit alkalmazta a sugarak előállítására. A hazai kezdeményezések gyorsaságát jelzi az is, hogy például a párizsi akademikusok csak január 20-án ismerkedtek meg az új sugárfajtával Poincare jóvoltából. Még maga Röntgen is csak január 23-án tartott először nyilvános előadást. A pozsonyi Klatt Virgil (1850-1935), Lenard tanára, a fotolumineszcencia neves szakértője látta el „pozsonyi foszforral” a hazai tudósokat. A hazai tudósok sorából külön ki kell emelni Károly József Iréneuszt (1854-1919), a nagyváradi fizikatanárt, aki nem kis erőfeszítéssel 1896 végére iskolájában, a premontrei gimnáziumban az ország első röntgen-laboratóriumát állította fel, majd hamarosan a gyógyászati alkalmazásait is bevezette. Ő már egyébként az 1900-1901-es tanévben drótnélküli távirót is tudott készíteni.



30. ábra Egy orvosi röntgenfelvétel az elsők közül; a legrégebbi röntgengső

Röntgen bejelentését követően néhány héttel egy amerikai kórházában egy törött kezet már röntgensugarak segítségével illesztettek össze. A bemutatott felvételen egy vadászbaleset sörétjeit látjuk a kézfejszövetekben. A képet Michel Pupin professzor készítette 1896 januárjában a Columbia Egyetemen. A kép tehát csak néhány héttel a sugárzás felfedezését követően készült. Jelentősége mindenki számára nyilvánvaló, így az orvosok hamar felismerték a röntgenfelvételek fontosságát. 1898-ban jelent meg a hordozható röntgenkészülék a hadseregben, ilyen kísérte már a brit csapatokat a szudáni dervisek lázadását leverő hadjáratba.



31. ábra Mellkasröntgen a századelőn

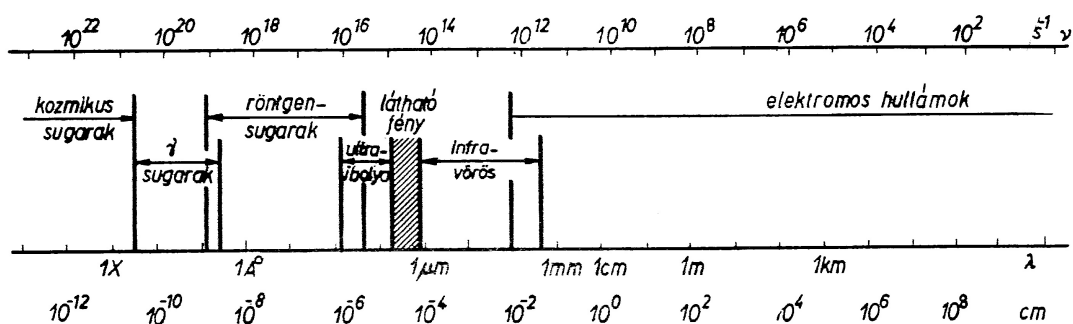
Az orvos fluoreszkáló ernyőn nézi a páciens mellkasát, akinek háta mögött található a röntgengső. Mindketten veszélyes mértékű röntgensugárzásnak vannak kitéve. A röntgensugárzás veszélyeit korán felismerték. Élettani hatása a radioaktív

gamma-sugárzással azonos. A röntgensugárzás első áldozata állítólag az amerikai Grubbe volt, akinek egy Crookes-csővet gyártó üzeme volt. Ő 1896 elején szorult orvosi kezelésre, mert bal kezén a sugárzás következtében kihullott a szőr, a bőre kiszáradt és berepedezett, a körmök elsatnyultak. A sugárzás okozta bőrgyulladás a század első éveiben világszerte az orvosok gyakori betegsége lett, ugyanis ekkoriban még rendszeresen benyúltak a sugárzás útjába a felvételek készítése során. A „röntgenkéz” néven ismert tünet együttesnek gyakran voltak súlyosabb következményei. A bőr alatti erek károsodása és a minduntalan kifeléyesedés miatt gyakran vált szükségessé az ujjak amputálása is. Gyakran alakult ki bőrrák is. A sugárzás által kiváltott bőrrákot Frieben német orvos 1902-ben írta le először. Több mint 400 röntgenorvosról tudunk, akinek halála a sugárzás okozta bőrráknak tulajdonítható. Emlékükre a hamburgi Szent György Kórház parkjában egy emlékművet állítottak fel. Az emlékművön 18 magyar orvos neve is olvasható.

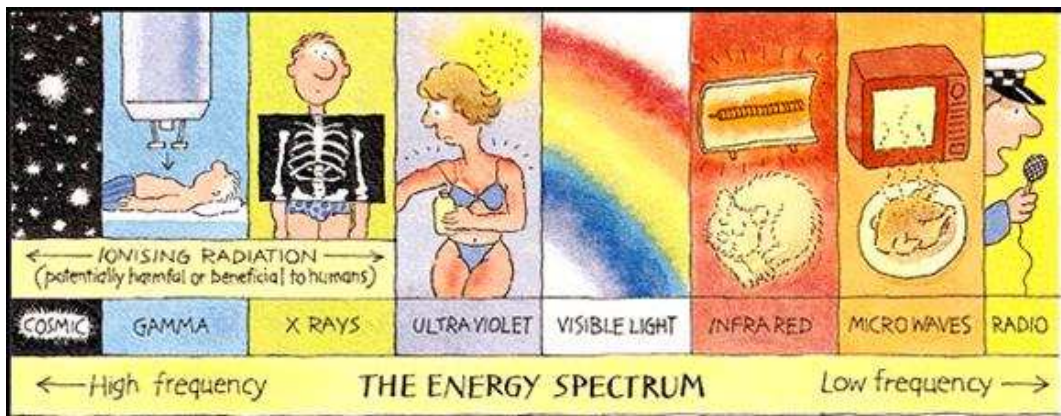
A röntgensugárzás széleskörű elterjedésében nagy szerepet játszott Röntgen előrelátó, önzetlen elhatározása. Óriási vagyonokat ajánlottak fel neki, hogy szabadalmaztassa felfedezését, de ő ezt makacsul megtagadta. Röntgen előre látta, hogy felfedezése számos tudományos és gyakorlati területen olyan felmérhetetlen előre lépést jelent az emberiség számára, amit semmivel sem szabad korlátozni. [22]

5.1.2. A röntgensugárzás előállítása

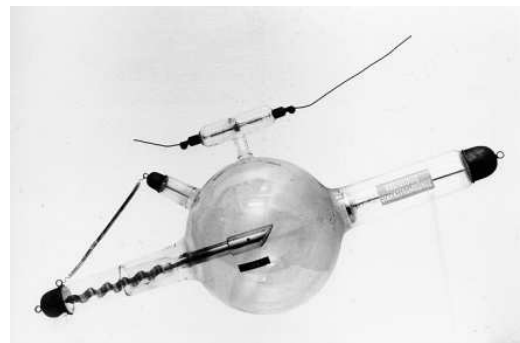
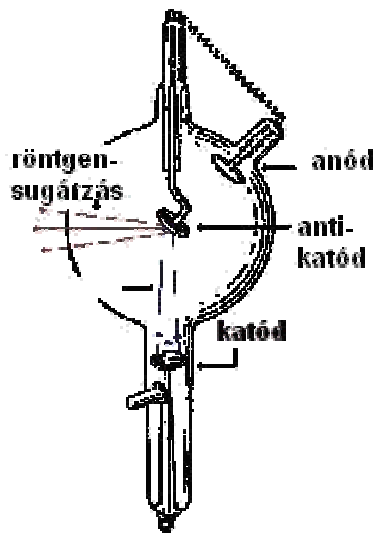
Az X-sugárzás vagy röntgensugárzás elektromágneses hullámjelenség, melynek hullámhossza közel tízezerszer rövidebb a látható fénynél. Megfigyelhetők bizonyos radioaktív folyamatok során, de röntgensugarak keletkeznek gyors elektronok valamilyen anyagban való lefékeződésekor is. A hullámhosszmérések szerint az eddig ismert röntgenszínkép-tartomány kb. 0,16 Å-től 660 Å-ig terjed. ($10\text{Å}=10^{-9}\text{m}=1\text{nm}$). [17]



32. ábra Az elektromágneses színkép és egyes tartományai



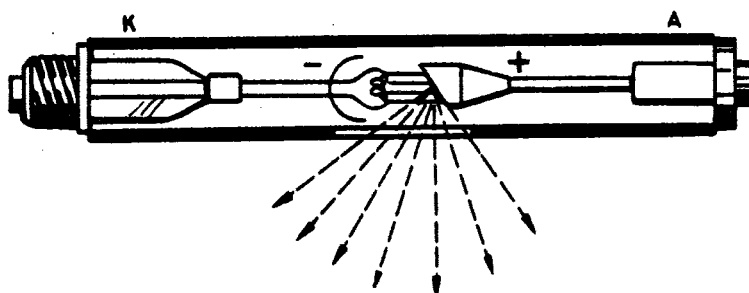
33. ábra Az elektromágneses színek egy fajta ábrázolása



34. ábra Gáztöltésű röntgenső

A legkorábbi időkben a röntgensugárzás a katódsugárcső üvegfalából lépett ki. Hatásosabbnak bizonyult azonban az, ha a sugárzást egy fém antikatóddal váltják ki. A körülbelül 0,1 Pa nyomású gázt tartalmazó csőben a nagyfeszültséggel felgyorsított elektronok az antikatódnak ütközve keltik a sugárzást. Az elektronok energiájának mintegy 99,9 %-a az ütközéskor hővé alakul át, az antikatód erősen felmelegszik. A röntgensövek hatásfoka tehát rendkívül alacsony. Röntgensugarak előállítására régebben gáztöltésű röntgensövet használtak, melyben a nyomás kb. 10^{-3} Hgmm nagyságrendű volt. A röntgensövek sugárzását az erősséggel és a keménységgel jellemezték. Az erősség a kisugárzott összes energiával volt kapcsolatban, a keménység pedig az áthatoló képességgel. A fotonhipotézis elfogadásáig a sugárzás erősségének és keménységének a problémáját nem tudták megérteni. A kisnyomású gázra azért van szükség, hogy a

katódból kilépő gyenge elektronnyaláb ütközéses ionizáció révén a gázból további elektronokat váltson ki, amik az antikatódba ütközve intenzívebb röntgensugárzást váltanak ki. Az ütközés révén azonban az elektronok energiája lecsökken, így kisebb áthatolóképességű, kevésbé „kemény” röntgensugárzás keletkezik. Idővel azonban az üveg és a fém abszorpciója miatt a gáz mennyisége csökken a csőben, így a sugárzás intenzitása is csökken, míg keménysége nő. Ezért a gázt idővel pótolni kell. A gáztöltésű csövek másik nagy hátránya az volt, hogy csak a sugárzás erősségét lehetett szabályozni, keménységét nem.



35. ábra Izzókatódos röntgenső vázlatos rajza (A: anód; K: katód)

A modern röntgensövekben az elektronnyalábot izzókatóddal állítják elő, hogy a nyaláb intenzitása könnyen változtatható legyen és a gáznyomás is jóval kisebb (10^{-6} Hgmm). Az izzókatódos röntgensövek megjelenésével a gáztöltésű csövek teljesen eltűntek. Az izzókatódos csőben szinte tökéletes vákuum van, és mint neve is mutatja, az elektronokat egy izzított fémkatód szolgáltatja. Ezeknél a katód fűtőáramának változtatásával a sugárzás erőssége, az anód-katód feszültséggel a keménysége változatható. Az erősség és a keménység különválására csak a fotonhipotézis elfogadásával lehetett magyarázatot találni. A sugárzás erőssége a nyalábban lévő fotonok számával arányos, a keménysége az egyes fotonok energiájával (frekvenciájával). A röntgensugárzás tehát a fotonhipotézis egyik fontos támasza volt. Az elektronnyaláb gyorsítása 10^4 - 10^6 V változtatható feszültséggel történik. Az elektronok energiájuk nagy részét (95-99 %) az antikatódnak mechanikai energia formájában adják át, amitől az felmelegszik, csak a fennmaradó 1-5 % jelentkezik a röntgensugárzás elektromágneses energiájaként. Ezért az antikatód nagy tömegű, a hőt jól vezető, nehezen olvadó fém (pl. W), esetleg vízhűtésű. A nagyobb rendszámú, nehezebb fémből készült antikatód esetén nő annak valószínűsége, hogy az elektronok energiája röntgensugárzássá alakuljon. Nagyenergiájú elektronforrás lehet egy bétabomló radioaktív preparátum is (pl. ^{90}Sr). Ha

egy ilyen preparátumot nehézfém dobozba csomagolunk, a doboz anyagában lefékeződő bétarészecskék miatt az így csomagolt preparátum röntgensugárforrásként működik. Ezt elkerülendő, a bétabomló anyagokat kisrendszámú, könnyű anyagokba (plexiüveg, alumínium) csomagoljuk. [23]

5.1.3. Röntgensugárzás által keltett hatások, tulajdonságok

A szem számára láthatatlan röntgensugarak jól látható fluoreszcenciát idéznek elő néhány anyagon (cinkszulfid, báriumplatinocianid, stb.). A fényhez hasonlóan megfeketítik a fényérzékeny lemezt, fémfelületen fényelektromos hatást keltenek, a gázokat ionizálják. A röntgenfelvételek készítésének alapja a röntgensugárzás különböző mértékű elnyelődése. Általános szabályként azt állapították meg, hogy a sugárzás különböző anyagokon való áthaladáskor annál jobban gyengül, minél nagyobb az anyagban levő elemek atomsúlya, és minél nagyobb az anyag sűrűsége. Vegyületeknél a gyengítő hatás az egyes elemek hatásaiból összegződik. Ezért van az, hogy a víz és szerves anyagok, - amik főként a H, C, O, N könnyű elemeket tartalmazzák, - alig nyelik el a sugárzást, de a fémek és a csontok (P és Ca tartalmuk miatt) erősen. Még erősebb az ólom (Pb) elnyelő hatása. Kemény vagy lágy sugárzásról beszélünk annak függvényében, hogy az elektronnalábot nagy, illetve kisebb feszültséggel gyorsítottuk. A sugárzás természetének megismerési folyamatában igen fontosak egyéb tulajdonságok is, mint pl. hogy külső elektromos és mágneses térrel irányuk nem változtatható meg, ellentétben az elektromosan töltött részecskenyalábok viselkedésével, vagy hogy tükörről nem verődnek vissza, lencsével nem fókuszálhatók, mint a látható fény. A röntgensugarak kísérleti tanulmányozásához szükséges azok érzékelése (detektálása), intenzitásának pontos mérése. Az intenzitást a felületegységen időegység alatt átszállított energiával mérjük. A környezetnek való energiaátadás különféle jelenségekhez vezet. Ezek teljes mérése gyakorlati nehézségbe ütközik. Mivel a sugárzás detektálására bármely általa kiváltott hatás felhasználható, ezek közül kiválasztva a legalkalmasabbat, azt az intenzitás mértékéül fogadjuk el. Erre felhasználható például a fényképezőlemez feketedése, a fényelektromos áram erőssége, vagy adott térfogatú gázban levő ionok száma. [23]

5.1.4. Röntgendiagnosztika

A röntgensugaraknak sajátos fizikai és élettani tulajdonságaik vannak, melyek alkalmassá teszi őket számos betegség felismerésére és néhány betegség (pl. rosszindulatú daganatok) gyógyítására.

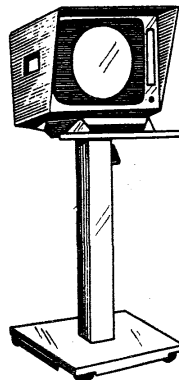
A röntgendiagnosztika a röntgensugárzás következő tulajdonságain alapszik:

- minden testen áthatol, így az emberi szöveteken is,
- bizonyos anyagokon fluoreszcenciát hoz létre,
- fényérzékeny anyaggal bevont lemezen (filmen) a fényhez hasonlóan fotokémiai hatást fejt ki.

Az emberi szervezetben a legtöbb sugarat a légtartó tüdő engedi át, ezért a röntgenernyőn ezt látjuk a legvilágosabbnak. Utána következnek a parenchymás szervek és a folyadékok. Nagy mésztartalmuk miatt a csontok engedik át a legkevesebb sugarat. Ernyőn ezek látszanak a legsötétebbnek, filmen pedig természetesen a legvilágosabbnak. A tüdő, továbbá a parenchymás szervek is sugáráteresztő szervek, a csontok pedig sugárfogók (sugárelnyelők). Ilyen sugárfogó anyagok azok az ún. kontrasztanyagok is, melyeket bizonyos röntgenvizsgálatokhoz használunk, és azok az eszközök is, amelyek a sugárvédelmet szolgálják. Bizonyos esetekben csupán levegőt használnak kontrasztanyagként ezt a módszert leggyakrabban az idegyógyászati gyakorlatban alkalmazzák, amikor az agykamrába juttatnak be levegőt. Minél nagyobb a test rétegvastagsága, annál kevesebb sugár hatol át rajta. A röntgensugarak egy része elnyelődik a szervezetben és élettani, fizikai, kémiai elváltozásokat hoz létre a sejtekben.

Az egyszerű röntgenkészülék röntgensőből, kapcsolóasztalból és nagyfeszültségű transzformátorból áll. A röntgenvizsgálat a leggyakoribb orvosi vizsgálóeljárások egyike, bár némely területen ma már a kevésbé veszélyes módszerek helyettesítik, elsősorban ultrahang. A röntgendiagnosztika módszerei: átvilágítás és felvétel.

Átvilágítás: a röntgensőben keletkezett sugár áthatol a szerveken, és a fluoreszkáló anyaggal bevont röntgenernyőre jut. Ezen fluoreszcenciát vált ki, és egy síkban láthatóvá válik rajta a szervek képe, árnyéka, aszerint, hogy mennyi sugarat engedtek át, illetve nyeltek el. A fluoreszkáló fény csak sötétben látható kielégítően, ezért az átvilágítást elsötétített helyiségben végzik. Az átvilágításkor keletkezett képet fel lehet erősíteni. A képerősítő előnye, hogy kisebb sugármennyiség elegendő a kép keletkezéséhez, és világos helyiségben is látható. A képerősítőn keletkezett képet egy másik helyiségbe lehet továbbítani, ahol már sugárveszély nélkül lehet vizsgálni.



36. ábra A röntgen-képerősítő ernyője

Felvétel: a betegen áthaladó röntgensugár fényérzékeny anyaggal bevont filmre esik, és azon fotokémiai reakciót hoz létre, ahol sok sugár érte a filmet, ott feketébb, ahol kevés, ott világosabb folt keletkezik. Ez a kép negatívja annak, amit az ernyőn látunk.

Rétegfelvétel: leggyakrabban a mellkas vizsgálatánál alkalmazzák, de egyéb szervek vizsgálatában is gyakran jó kiegészítő módszer. Lényege, hogy az átnézeti felvétellel szemben csak a kívánt rétegmélység látható élesen, az előtte és mögötte lévő szervrészek vagy szervek képe elmosódott. Ezt úgy érik el, hogy vizsgálat közben a sugárat kibocsátó röntgenső és a film egymással ellentétes irányban mozognak úgy, hogy a kívánt mélységen áthaladó sugár az elmozduló filmen mozgás közben is mindig ugyanazon helyre jusson.

Röntgenvizsgálatok: tüdőszűrő, gyomor-bélrendszer, vese, húgyutak, epehólyag, epeutak, erek, szív, nyirokerek, hörgők vizsgálata. [3]

A röntgensugarakat nem csak diagnosztikai célból alkalmazzák, hanem gyógyításra is. A szervezet különböző sejtjein nem egyformán reagálnak a sugárzásra. Legérzékenyebbek a nyirokszervek, a csontvelő, a nemi szervek, a daganatsejtek. Ezért elsősorban a rosszindulatú daganatok kezelésére használják.

5.2. Komputertomográfia-CT

Tomografikus (rétegvizsgálatokra alkalmas) módszerek közé tartozik a CT. Ezeknek a technikáknak a segítségével a tanulmányozott rendszer vékony síkmetszetei mentén (egy vékony szeletről) is megoldható a megfelelő sajátosságok feltérképezése. Ez a

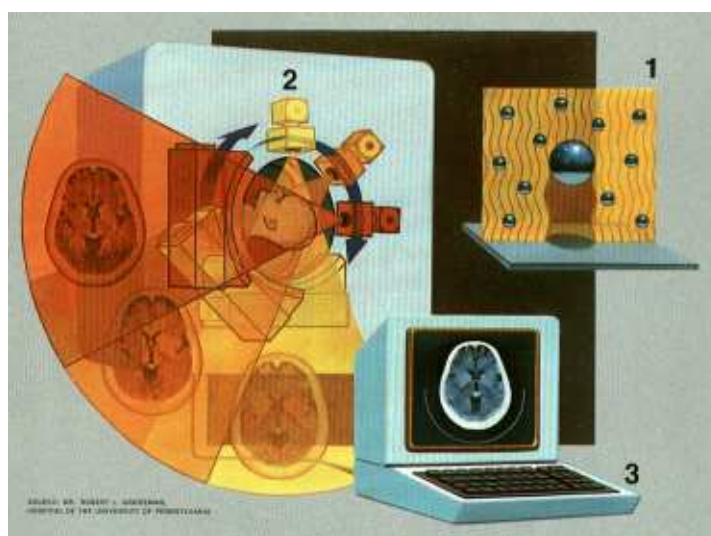
lehetőség a szeletek számának a növelése révén végeredményben lehetővé teszi a struktúra háromdimenziós vizsgálatát.

A CT, számítógépes rétegvizsgálat, olyan röntgenvizsgálati eljárás, amellyel rétegről-rétegre haladva (mintegy „felszeletelve”) nagyon részletesen lehet ábrázolni a vizsgált szerv szerkezetét, a benne lévő eltéréseket.



37. ábra Komputertomográf

A rétegfelvétel úgy készül, hogy a mozgatható fekhelyen lévő betegen egy keskeny röntgensugárnyaláb áthatol a testen, majd azt a testből való kilépéskor felfogják. Az ilyen, felfogott sugárnyalábok ezreiből alakul ki a kép. Minden átvilágítás csupán néhány másodpercig tart és a gép a beteg testének kb. 10 mm vastag szeletéről készít képet. A számítógép a testből kilépő röntgensugár mennyisége alapján építi fel a végleges képet, amelyet részletesen kielemeznek. A vizsgálat néhány percig tart, a beteg számára semmilyen megterheléssel nem jár. A CT vizsgálat során egy adott szerv kóros anatómiai elváltozásai, máskor mozgási-helyzetbeli eltérései, működésbeli zavarai igazolhatók. A hagyományos röntgenvizsgálathoz képest sokkal részletesebb felbontású képeket lehet előállítani, pontosabb információ nyerhető a szervezet egy adott területéről. [5], [24]

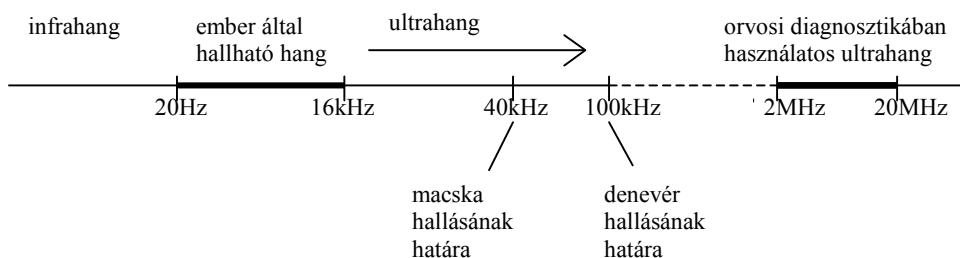


38. ábra CT-rétegfelvétel készül

Anatómiai információt eredményeznek a röntgen abszorpciós sajátságokat térképező radiológiai módszereken kívül, szinte minden ultrahang diagnosztikai eljárás, valamint a mágneses rezonanciás tomografikus módszer.

5.3. Ultrahang

A hanghullámok nagy tartományt alkotnak, melynek csak egy része fogható fel az emberi füllel. A hanghullámok, mint mechanikai rezgések, anyaghoz kötöttek, ellentétben például a fényhullámokkal. Terjedésükhöz közvetítő közeg (levegő, folyadék, szilárd test) szükséges, a közegek határától majdnem teljes egészében visszaverődnek. Az ultrahang az emberi fül számára nem hallható, másodpercenként 16000Hz-nél nagyobb rezgésszámú hang. Az ultrahang a hallható hanghoz hasonlóan mechanikai rezgés, ezért tulajdonságai megegyeznek a hangrezgések fizikai sajátosságaival. 20000 Hz a határ, amelyen túl az emberi fül nem fogja fel a közeg mechanikai rezgését. Sok állat - a denevér, a méhek, a cetek és delfinek (mint látható, az élőlények mérete nem számít) - egészen 100000 Hz-ig képesek felfogni a mechanikai rezgéseket.



39. ábra Ultrahang frekvenciatartománya

Az ultrahanghullámok az emberi testben meghatározott sebességgel terjednek, mely függ a szövetek tulajdonságától, ezt pedig vastagságukkal, összenyomhatóságukkal és alapvetően víztartalmukkal lehet jellemezni. Függ a terjedési sebesség a hőmérséklettől is, azonban ez az emberi szövetek esetén stabil és viszonylag alacsony, így a gyakorlatban elhanyagolható. Az ultrahang terjedése során a fényoptikához hasonló, ismert jelenségek következhetnek be: visszaverődés, áthatolás, törés, elhajlás és szóródás.

5.3.1. Az ultrahang történetének rövid áttekintése

A Curie testvérek 1880-ban fedezték fel a piezoelektromos és a reciprok piezoelektromos effektust, ezzel az ultrahangok gerjesztésének és kimutatásának elvét. Eszerint bizonyos anyagok poláris tengelyű egykristályai tengelyirányban összenyomva elektrosztatikusan feltöltődnek, mivel az egymással szemben lévő kristályfelületek töltése eltérő előjelű. 1881-ben Hankel nevezte el ezt a jelenséget piezoelektromosságnak a szervesetlen anyagokra. Ha piezoelektromos tulajdonságú anyagok felületére váltakozó feszültséget vezetünk, akkor mechanikai rezgésbe jönnek, amit negatív piezoelektromos hatásnak nevezünk. Fordított esetben pozitív piezoelektromos hatásról van szó, ha a piezoelektromos tulajdonságú anyag a felületére adott mechanikai erőre elektromos feszültség ébredésével reagál. A jelenség fizikai magyarázata, hogy például a kvarc Si és O atomjai egy szabályos hatszög csúcaiban helyezkednek el. Ha a rendszert úgy nyomjuk össze, hogy két szemközti sarkon elhelyezkedő Si és O atom közelebb kerül egymáshoz, az előbbi helyen az O atomok negatív töltése, az utóbbi helyen a Si-atomok pozitív töltése jelentkezik. A mesterséges piezoelektrikumok piezoelektromos tulajdonsága akár több mint ötvenszer nagyobb, mint a természetes kvarcé, de a hőmérséklet növekedésével a piezoelektromos tulajdonságuk csökken, majd a Curie-ponton depolarizálódnak. A mesterséges piezoelektrikumokból (PZT, bárium-titanát) bármilyen alakú sugárzó kialakítható. Ilyen mesterséges piezoelektrikumok találhatóak például az ultrahangos fürdőkben, valamint az élet bármely területén a tintasugaras nyomtatóktól az öngyújtókig.

5.3.2. Az ultrahang előállítása

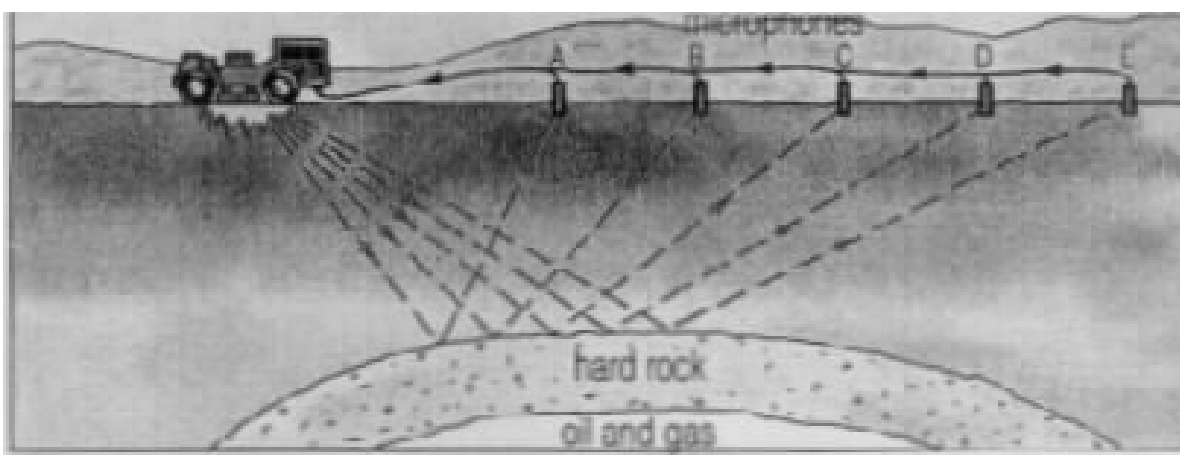
Az ultrahangot rezgékeltőkkel állítjuk elő, melyek működése a piezoelektromos jelenségen alapul, frekvenciatartományuk a teljes ultrahangtartományt felöleli. Rezgékeltők közül legáltalánosabb berendezésekként az elektromechanikus (elektromágneses, elektrodinamikus, magnetosztatikus, piezoelektromos), aerodinamikus, hidrodinamikus és mechanikus átalakítókat ismerjük. Legelterjedtebbek az elektromechanikus átalakítók. Ezek fő részei a generátor, amely a szükséges frekvenciájú váltakozó elektromos áramot termeli, illetve a sugárzó, amely a generátortól kapott elektromos energiát mechanikai rezgéssé alakítja át, és azt a vele érintkező közegnek átadja. Ha kvarclemeszre elektromos feszültséget kapcsolunk, akkor az összehúzódik vagy kitágul. Ha a lemezre váltakozó feszültséget kapcsolunk, akkor váltakozva összehúzódik és

kitágul, azaz rezegni kezd. A lemezt a kívánt ultrahang frekvenciája (szemészetben legelterjedtebb a 10 MHz-es frekvencia) szerint méretezik. Ugyanez a kristály szolgál a visszhangként visszatérő ultrahang felfogására és elektromos jellé való átalakítására is. Ebből a nyers rádiófrekvenciás jelből megfelelő átalakítás után kapjuk meg a diagnosztikában és biometriában használt ultrahangos monitorképet. A kézifejhez csatlakozó készülék egyrészt méri a visszatérő echók intenzitását, másrészt a kibocsátástól a visszaérkezésig eltelt időt. Határfelülethez érve az ultrahang, a törési törvényeknek megfelelően, részben irányát megváltoztatva továbbhalad, részben pedig visszaverődik. Egyenetlen határfelületnek szóródást okoznak. Ezen kívül az ultrahang a szövetekben természetesen el is nyelődik (a rezgés csillapul). Az ultrahang frekvenciája egyenes arányban van a felbontóképességgel és fordított arányban a vizsgálható mélységgel. 10 MHz frekvenciával már kb. 0,1 mm-es képlet ábrázolható, viszont viszonylag erős az elnyelődés, szemészetben azonban kb. 5 cm mélységre van szükség.

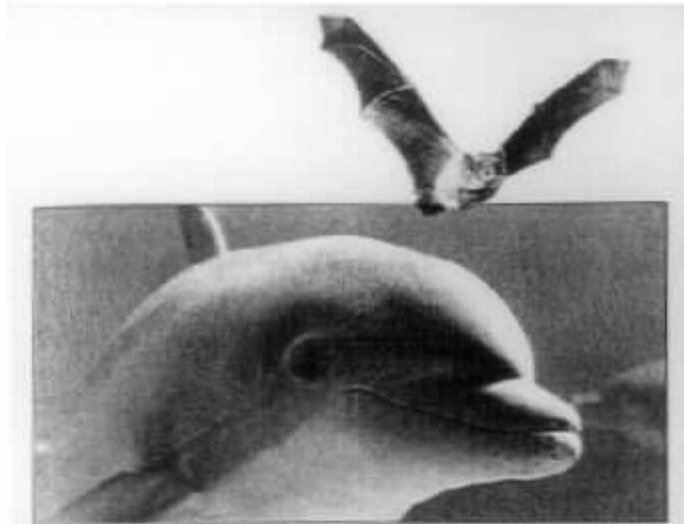
5.3.3. Az ultrahang alkalmazásai

Az echotechnika az első időszakban elsősorban a hajózásban, majd az anyagvizsgálatban fejlődött.

Eredetileg visszhangos helymeghatározásra, tengeralattjárók és más, víz alatti tárgyak észlelésére és azonosítására használták, hasonlóan ahhoz, ahogy a denevérek, a bálnák és a delfinek is tájékozódnak.



40. ábra Az ultrahang alkalmazása kőzetfeltárássra



41. ábra Az ultrahang alkalmazása állatoknál is megfigyelhető

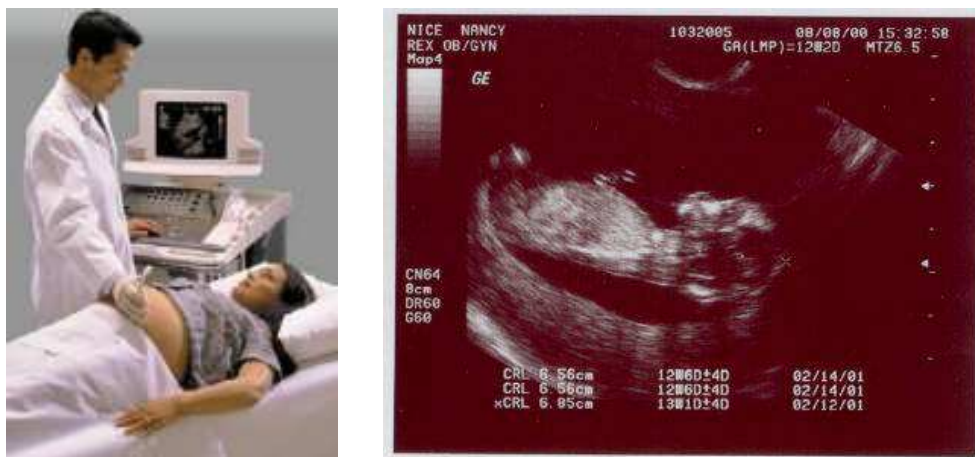
Az 1940-es évek végén az orvostudomány fegyvertára új, hatékony módszerrel gazdagodott, amikor alkalmazni kezdték terápiás célokra, különösen kiterjedten 1949 és 1955 között az ultrahangot. Az első berendezések a háborúból megmaradt radarok felhasználásával készültek. Később ismét megnőtt szerepe a medicinában, de most már a diagnosztika területén. Elsőnek a neurológus Dussik 1942-ben, az iparban szerzett tapasztalatok alapján közölte le az általa kifejlesztett metódust, mellyel agytumort és agykamrákat tudott kimutatni. Az 1950-es évek végétől egyre több közlemény számol be a különböző szakterületeken alkalmazott szonográfias vizsgálatok eredményeiről. Az USA-ban 1952-ben Douglas Hamilton Howry radiológusnak sikerült először ultrahang segítségével az emberi szervezet lágy részeit metszetben megjelenítenie, majd Inge Edler és Hellmuth Hertz svédországi kutatók a szívbillentyűhibákat vizsgálták, Lars Leksell svéd idegsebész pedig a baleseteket követő agyvérzéseket. Ian Donald brit nőgyógyász 1957-ben alkalmazta először a magzati elváltozások megfigyelésére, 1958-ban képet készített a méhben fejlődő magzatról, 1963-ban pedig magának a terhességnek a felismerésére is felhasználta az ultrahangot. Miután bizonyossá vált, hogy veszélytelen az eljárás, Bertil Sundén svéd nőgyógyász 1964-ben továbbfejlesztette a szülészeti és nőgyógyászati ultrahang-diagnosztikát. Magyarországon Falus és Sóbel vezette be az ultrahangtechnikát mind a kismencedei, mind a hasi diagnosztikában, és a módszer elterjesztésében is vannak érdemeik.



42. ábra Modern orvosi ultrahang készülékek

A mai, korszerű ultrahangkészülékek az évtizedek során forradalmi változáson mentek keresztül. Mivel káros hatása mai ismereteink szerint nincs, alkalmazási területe rohamosan terjed. Vannak ultrahangkészülékek, melyek hordozhatók. Az ultrahangos vizsgálat elvégezhető teljes nyugalomban és terhelés alatt is. A hanghullámokat gerjesztő vizsgálófejet a bőrön mozgatják. A testbe jutó hanghullámok a belső képletekről visszaverődnek, a készülék elektromos impulzussá alakítja őket, majd kép formájában jelennek meg a monitoron. A rezgés levegőben nem terjed, ezért a vizsgálófej és a bőr közötti levegő kizárására kocsonyás, olajos anyagot kennek a bőrre. A vizsgálófejek több száz típusát fejlesztették ki, s köztük már 1 mm-es méretűek is vannak, amelyeket endoszkóppal kombinálnak, így a szív koszorúereinek a belseje is vizsgálható.

A szüléset-nőgyógyászati ultrahang diagnosztika önálló orvosi tudományág, művelése. A nőgyógyászatban fölfedezhetővé teszi a méhen kívüli terhességet, a daganatokat, a cisztákat. A terhesgondozásban már a négyhetes terhesség kimutatható ultrahanggal, de hüvelyi ultrahanggal még korábban. Végigkövethető a magzat fejlődése, hallható a szívdobogása, látható az ikerterhesség, a magzat elhelyezkedése, a méhlepény állapota, a negyedik hónaptól pedig a magzat neme. A szülés várható idején kívül pontosíthatók az esetleges koraszülés veszélyének jelei is. Sokféle rendellenesség felismerhető a segítségével, és magzatvízvételnél pontosan irányítható a mintavételi tű.



43. ábra Ultrahangdiagnosztika a terhsgondozásban

A magzatvizsgálatok mellett egyre gyakrabban használják számos szerv, szervrendszer, pl. a gyomor-bélrendszer, az agy és a dűlmirigy vizsgálatában is. Nagy segítség a mellrákszűrésben a folyadékkal telt zsák (ciszta) és a tömör csomó elkülönítésében.

A szív vizsgálatánál képet ad e szerv szerkezetéről és működéséről. Kimutatja a szív falának kóros mozgását, az egy összehúzódás alatt kilökött vér mennyiségét, a szívburok állapotát, méretét, a burok és a szívizom közötti folyadékgyülem jelenlétét. Doppler-ultrahanggal láthatóvá válik a vér sebessége, iránya, a billentyűk mozgása, az erek, szívüregek szerkezete és működése. Szinte nincs olyan szívet érintő betegség, amelynél ne lenne indokolt szívultrahangot végezni. A kis- és középnagy-arteriák és -vénák állapota szintén ellenőrizhető ultrahanggal. Az érintett lábfejen, kézen és az ujjakon mérik a vérnyomást és a véráramlás sebességét. A Doppler-ultrahangot gyakran alkalmazzák a nyaki verőér vagy az agyalapi artériák véráramlásának ellenőrzésekor. Segítségével felmérhető, hogy mekkora a szélülés veszélye. Agyi ultrahangvizsgálatot a kétévesnél kisebb gyermekeknél végeznek agyi vérzések és agykamratágulatok kimutatására. Idősebbeknél ezt CT-vel és MRI-vel történik.

A mellkasi ultrahangvizsgálat a mellhártya két lemeze közötti térben felgyülemlő folyadék kimutatására alkalmas.

A hasi ultrahangot főként a máj, az epehólyag és epevezeték, a hasnyálmirigy, a vese, a húgyvezeték, valamint a húgyhólyag méretének, alakjának, kóros területeinek, daganatainak felkutatására használják. Láthatók általa az epekövek, vesekövek, ezek nagysága, alakja, helye.

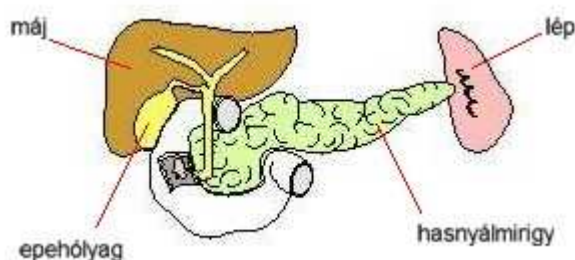
Ultrahanggal vizsgálható szervek és kimutatható eltérések a hasban:

-Máj: megnagyobbodás, kötőszöveti-átépülés, zsírosodás, ciszták, daganatok, epeutak tágulata.

-Lép: megnagyobbodás, ciszták, sérülések és következményei.

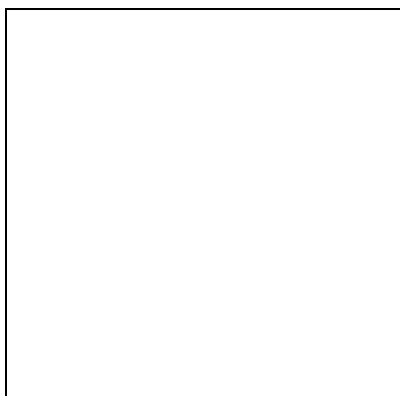
-Epehólyag: kövesség, gyulladások, fali meszesedések, daganatok.

-Hasnyálmirigy: heveny és idült gyulladásai, ciszták, daganatok.



44. ábra Ultrahanggal vizsgálható szervek a hasban

Csaknem minden ízület vizsgálható ultrahanggal, mely során elsősorban a porc, az inak, ínhüvelyek, szalagok, izmok, valamint bizonyos esetekben a csonthártya és a csontfelszín közeli képletek is nagyon jól ábrázolhatók.



45. ábra Izületi ultrahangvizsgálat

Az ultrahang terápiás célokra is alkalmas. Az 1 cm-nél kisebb átmérőjű köveket irányított ultrahanggal összezúzzák. Hagyományos ultrahangos eszközzel daganatot lehet felderíteni és lokalizálni, nagy intenzitású eszköz pedig daganat roncsolására alkalmas. Hasonló módon történik ez ahhoz, amikor egy nagyítóval lángra lobbantjuk a papírt. A hang energiáját ugyanis fókuszálni lehet, és körülbelül 60°C hőmérsékletet lehet vele létrehozni. Ez a magas hőmérséklet egy másodperc alatt elpusztítja a ráksejteket. Az ultrahang-sugár csak lágy szöveteken vagy folyadékon képes áthatolni, így létre kell hozni

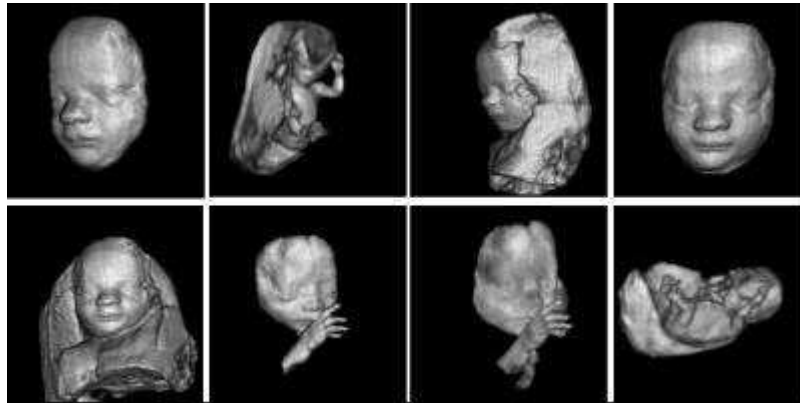
az ún. „akusztikus ablakot”. Az elhalt szövetek ez után a természetes testfunkciókkal távoznak a szervezetből. Az ultrahang a bőrön át a szervezetbe jutva igen erőteljes hatást fejt ki. Vízalatti kezelésekre is alkalmas. Különböző reumás betegségek, női szervek, a bőr, a szem és belső szervek némely betegsége esetén alkalmazható. Jelenleg fájdalomcsökkentő hatása miatt is alkalmazzák az ultrahangkezelést. Az eljárás egy másik felhasználási területe a gyors vérzésállapítás, az ún. akusztikus hemosztázis. Az ultrahang szemészeti alkalmazása az 50-es években kezdődött, amikor a szem tengelyhosszát pontosan meg tudták mérni. A szem normál szövetei közül a legerősebb ultrahang elnyelést a szemlencse mutatja, ennél kisebb a zsírszövet ultrahang elnyelő hatása, és elhanyagolható az elnyelődés a csarnokvízben és az üvegtestben. 1973-ban jelent meg az első kifejezetten szemészeti célú UH készülék. Hazánkban a szemészeti UH megalapítói Bertényi Anna és Greguss Pál voltak, a kétdimenziós vizsgálatok úttörője Kolozsvári Lajos. A színekódolt doppler vizsgálatot Németh János vezette be, aki könyvet írt Szemészeti ultrahang-diagnosztika és biometria címmel.

A fenti néhány kiragadott példa csak felületes betekintést tud adni az ultrahang diagnosztikába és terápiába. A számítástechnika fejlődésével karöltve lehetőség nyílt három illetve négydimenziós ultrahang vizsgálatokra. Más képalkotó vizsgálatok mellett az ultrasonográfia fontos kiegészítője a hagyományos vizsgáló módszereknek.

5.3.4. Miben különbözik a 3D ultrahang a hagyományos ultrahang vizsgálatától?

A hagyományos kétdimenziós ultrahang vizsgálatok során ún. metszeti képet, illetve vékony szeletek sorozatát látunk, mindig egyszerre csak egyet. A vizsgáló mozgatja a hasfalán a vizsgálófejet, különböző síkokat ábrázolva, és térlátásának, kreativitásának megfelelően az „agyában” alakul ki a térbeli kép. Habár ez a kép is nagyon informatív, a kép nem úgy néz ki, mint egy baba. A 3D vizsgálat során a kibocsátott és visszaverődött hang nagyobb mennyisége tárolható digitálisan és árnyékolás technika segítségével teljesen kifejlődött magzat felszíne szerkeszthető és vizsgálható. Ebben az üzemmódban a test felszíne (pl. a magzat arca) úgy jelenik meg, mintha egy fényforrás világítaná meg, és inkább fényképre, mint hagyományos 2D ultrahangképre hasonlít. A 4D (valós idejű 3D) azt jelenti, hogy az általunk látott kép valós időben mozog, így az anyaméhben lévő baba aktivitása is tanulmányozható. Úgy látjuk, mint egy mozifilmet. Ez, a szinte kézzelfoghatóan valóságos magzat látványa rendkívüli élményt jelent a leendő szülőknek, és azoknak is, akik osztoznak velük a látványban. A 3D/4D ultrahang vizsgálati módok

előnye, hogy a vizsgálati idő lecsökkenhet, mivel a komputerben tárolt képanyag bármely síkjában vizsgálható a magzati anatómia. Ezzel a módszerrel a magzat felépítésének több részét sokkal tisztábban lehet látni, mint a 2D ultrahangban, különösen az arc, kezek, lábak, ujjak esetén. Továbbá a baba anyaméhbeli tevékenysége pontosabban leírható, ami nehézkes vagy lehetetlen a 2D vizsgálat által. Például a 4D ultrahang megmutatja, ha baba ásít, sír, nyel, pislog. [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33]

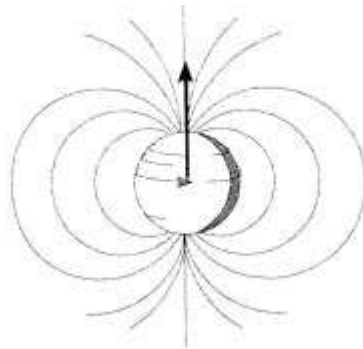


46. ábra 3-dimenziós ultrahang képek

5.4. Mágneses rezonancia képalkotás (Magnetic Resonance Imaging - MRI)

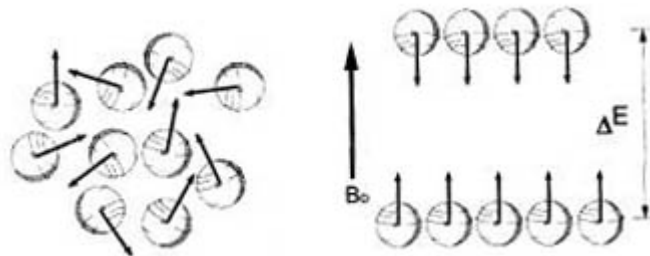
Az MR (mágneses rezonancia) képalkotás, mely alapvetően tomográfias eljárás, az 1970-es évek nagy jelentőségű felfedezése volt. A klinikai gyakorlatban az 1980-as években terjedt el. Működésének alapja az 1946-ban leírt ún. mágneses magrezonancia (nuclear magnetic resonance, NMR) fenomén. Mágneses erőtér hatására a testet alkotó anyagok (molekulák) rezgésbe kerülnek, ezzel a módszerrel - egy számítógéphez kapcsolt mágnes segítségével - az egymástól eltérő rezgésszámú molekulákat a röntgenfelvételhez hasonló módon lehet ábrázolni, így a test belsejéről igen részletgazdag képet lehet készíteni. A MRI az egyes szervek víztartalmának különbözőségét aknázza ki - például a beteg szövetek víztartalma meghaladja az egészséges szövetekét. A készülék a vízmolekulák mágneses erőtér, és rövid időn keresztül alkalmazott rádiófrekvenciás sugárzás hatására bekövetkező elmozdulását értékeli, és ennek elemzésével állít elő képet. A sejtekben bőséggben található hidrogénatomok ilyen közegben mágneses tulajdonságokat mutatnak, amelyek kitűnően fényképezhetők. A klinikai vizsgálatoknál a hidrogén

atommagoknak (protonoknak) azt a tulajdonságát használják ki, hogy mágneses dipólusként - mikroszkopikus „iránytűként” - viselkednek.



47. ábra A protonok mágneses dipólusként viselkednek

A mágneses dipólusok többsége a külső mágneses tér hatására beáll a tér irányába, hasonlóan ahhoz, ahogyan a magára hagyott iránytű is beáll a Föld mágneses terének irányába. A „beállt” dipólusokat csak energia befektetésével lehet abból az állapotból kimozdítani. Az ábrán jól látható, hogy mágneses tér nélkül a mágneses dipólusok rendezetlenek, erős mágneses tér hatására pedig a dipólusok rendezettséget mutatnak.



48. ábra A mágneses dipólusok beállnak a külső mágneses tér irányába

A rendezett proton-dipólusoknak nagyfrekvenciás rádióhullámokkal történő besugárással lehet energiát adni. Ez kilendíti őket, s ezzel megzavarja az egyensúlyi állapotot. A besugárzás kikapcsolása után megfigyelik, illetve rögzítik azokat az elektromágneses hullámokat, amelyeket a megzavart magok egyensúlyi (alap-) állapotukba való visszatérésük során bocsátanak ki. Ezt a jelet az MRI tomográf vevő része detektálja, észleli. Ez a jel információt hordoz arról a biológiai mintáról, amelynek protonjai a jelet kibocsátották. Ezt az információt továbbítják a számítógép felé digitális formában. A számítógép elraktározza a test különböző kis térrészeiről érkezett jeleket és végül képpé állítja össze. A térrészek kiválasztását az teszi lehetővé, hogy a mágnesesen rendezett

protonokat csak egy meghatározott frekvenciájú rádióhullámmal lehet kilendíteni az egyensúlyi állapotukból. (Ezt nevezik mag mágneses rezonanciának). Ez a „rezonancia-frekvencia” függ a mágneses tér erősségétől. A szervezet belsejéről készített rétegfelvételekhez tehát az is szükséges, hogy úgy változtassák a külső mágneses tér erősségét, hogy helyről helyre más legyen. Így egy adott frekvenciával történő besugárzásnál csak egy meghatározott területről érkezik jel. Ahogy a mágneses tér szerkezetét változtatjuk, a test más és más helyéről kapunk jelet, s így végül az egész érdekes testrészt végig lehet szkennelni, akár három dimenzióban is. [34]

5.4.1. Nobel-díj az MRI terén végzett kutatási eredményekért



49. ábra Paul Lauterbur



Peter Mansfield

Paul Lauterbur és Peter Mansfield kapta 2003-ban az orvostudomány-élettan Nobel-díjat a mágneses rezonancián alapuló képalkotás (MRI) terén végzett munkásságukért. Erős mágneses mezőben lévő atommagok rezgésének frekvenciája a mező erősségétől függ. Energiájuk ezzel a frekvenciával megegyező rádióhullámokkal növelhető, majd az alapállapotba visszatérő magok által kibocsátott hullámok detektálhatók. Ezek a felfedezések ötven éve Nobel-díjat szültek. A hetvenes évekig azonban csak általános anyagvizsgálatra volt használható, az anyagminták szerkezetének részleteiről nem nyújtott információt. Paul Lauterbur megmutatta, hogy homogén mágneses mező helyett egy gradienst használva létrehozható olyan eljárás, amellyel kétdimenziós képek készíthetők az anyag szerkezetéről. Ez lehetővé tette az MRI megszületését. Peter Mansfield megmutatta, hogyan lehet az eljárást lényegesen felgyorsítani, így lehetővé vált az egymás utáni kétdimenziós szkennelésekből háromdimenziós képek megalkotása. A nyolcvanas évektől kezdve gyors terjedésnek indult az MRI, évente összesen 60 millió vizsgálatot végeznek. Az MRI előnye, hogy

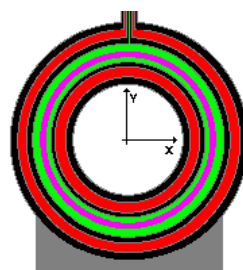
jelenlegi tudásunk szerint egyéb hasonló módszerekkel (pl. röntgenkép) szemben nem károsítja a szervezetet. [34]

5.4.2. Az MR berendezés

Az MR készülék fő része a mágnes, ami úgy van kialakítva, hogy a beteg a mágneses tér közepén fekvé helyezkedhessen el. Technikailag kétféle típus létezik, az alagút rendszerű és az ún. nyitott mágnes.

A nyitott mágnes kissé kényelmesebb az alagúthoz képest, ami a klausztrofóbiás, vagy rossz állapotú betegek és a gyermekek vizsgálata szempontjából előnyt jelent. A nyitott mágnes térereje 0,1 - 0,3 Tesla, bár újabban készítenek közel 1 Tesla térerejű nyitott mágneseket is szupravezetős technikával.

Az alagút tulajdonképpen egy tekercs, ennek a közepe szolgál a páciens tér számára, ami meglehetősen szűk, klausztrofóbiás beteg számára nehezen elviselhető. A tekercs szupravezető anyagból készül, amit héliumfürdő tart az abszolút nulla fok közelében. A mágnes térereje általában nagyobb, mint a nyitott mágnes esetében, 1, 1,5, 3 Tesla. A tére erő az MR berendezés egyik legfontosabb jellemzője, mivel erősebb mágneses térben a nyerhető jel lényegesen nagyobb, így jobb minőségű MR képeket kaphatunk, és a mérés is rövidebb ideig tart az alagút rendszerű berendezés esetén.



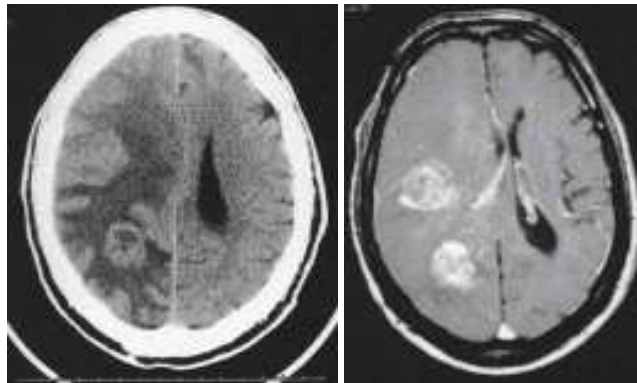
- Vákuum
- Folyékony hélium
- Folyékony nitrogén
- Álvány
- Szupravezető tekercs

50. ábra Szupravezető mágnes tekercset tartalmazó MRI készülék keresztmetszete (a folyékony nitrogén ill. a folyékony hélium a szupravezető állapothoz szükséges alacsony hőmérsékletet biztosítja)



51. ábra Alagút rendszerű MR berendezés

5.4.3. Az MRI képképzése



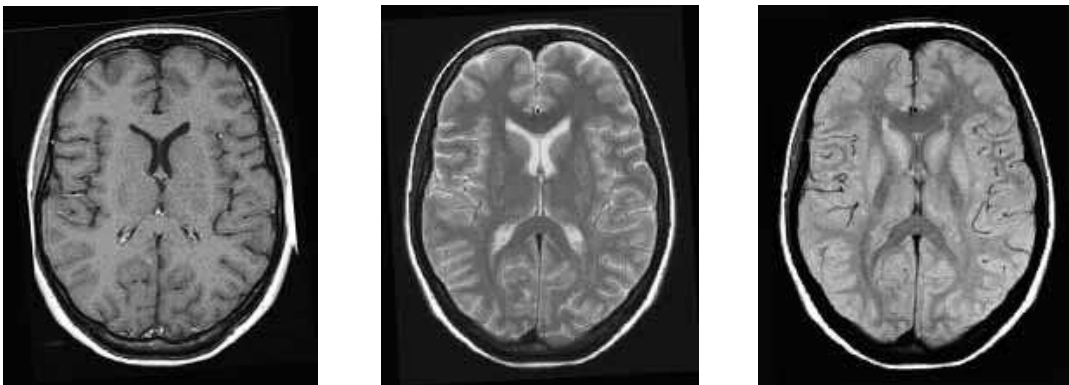
52. ábra Ugyanannak a betegnek a koponya keresztmetszete CT-vel és MRI-vel

Az MRI felbontóképessége a CT-jét, az EEG-térképét lényegesen meghaladja, segítségével a CT-hez hasonlóan szeletkép-sorozatok készíthetők, de az egyik lényeges különbség éppen az, hogy nemcsak transzverzálisan, hanem bármilyen síkban. Ráadásul az MR többféle olyan, egymástól teljesen különböző kontraszt tartalmú felvétel készítésére alkalmas, amelyek a szövetek legkülönbözőbb biokémiai, biofizikai tulajdonságait tükrözik. Az MRI a tér bármely síkjában pontos tomogramot készít, melyben akár az agyi szürkeállomány és a különböző kéregalatti képletek is milliméter pontossággal láthatók. Gyakran a PET-módszerrel kombinálják.

Az orvosi képképző diagnosztikában a felhasználási lehetősége már ma is óriási, de fejlesztése továbbra is intenzíven folyik, szinte naponta születnek új mérési módszerek.

Ahhoz, hogy az MR vizsgálat képet formáljon, a detektált jelet a képpont méretének megfelelő pontossággal lokalizálni kell. A lokalizációt a gradiens terek segítségével végzik. A gradiens teret megfelelő kialakítású elektromágnesek hozzák létre a tér három irányában. A gradiens tér minősége az MR készülék másik legfontosabb

mutatója. A gradiens tekercsre adott nagy áramerősségű impulzusok miatt az MR berendezés mérés közben igen hangosan zakatol. Az MR alatt ma a proton (hidrogén-atommag) képalkotást értjük. Az élő szervezetben a hidrogén - elsősorban a víztartalom miatt - nagy koncentrációban van jelen, de a zsírok, fehérjék és szénhidrátok hidrogéntartalma is jelentős. Az MR kép kontrasztját a protonok alapvető tulajdonságai befolyásolják: a protonok sűrűsége, a relaxációs idő. Az echó generálását különféle impulzusszekvenciák végzik, melyek a paramétereket különféle mértékben súlyozzák, így T1-súlyozott, T2-súlyozott és protondenzitású képek készíthetők. Az MR képek kontrasztját sok egyéb paraméter is befolyásolja, elsősorban a szövetek mágneses inhomogenitása, a hőmérséklet, különféle mozgások, mint például a szöveti diffúzió, a véráramlás, stb.



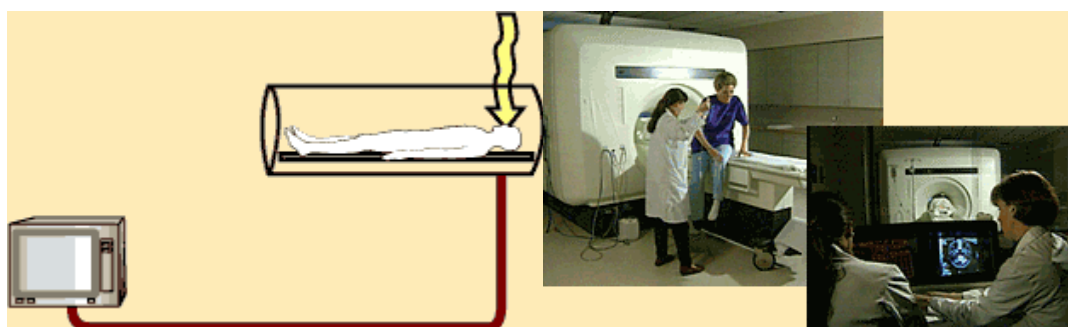
53. ábra T1-súlyozott, T2-súlyozott és protondenzitású szeletkép a nagyagy területéről

Az MR képes nagyon vékony, akár 0,5, sőt 0,1 mm vastag szeletkép sorozat készítésére, ami lehetőséget ad arra, hogy bizonyos struktúráknak (pl. agyfelszín, érrendszer) - a 3 dimenziós rekonstrukciós módszerekkel - a térbeliségét is ábrázoljuk.

Az MR felvételek jeltartalma különféle kontrasztanyag használatával befolyásolható. A kontrasztanyag feladata, hogy a kóros folyamatok kimutathatóságát növelje. Ehhez szükséges, hogy megváltoztassa valamelyik, a képalkotásban felhasznált MR paramétert, ezért a kontrasztanyagok általában mágneses tulajdonságúak. Az MR paraméterek közül a legegyszerűbb a protondenzitást növelni, erre a célra legalkalmasabb a víz. A mágneses tulajdonság alapján a kontrasztanyag lehet paramágneses és ferromágneses. A kontrasztanyag a vérrel a szövetekhez jut, ahol halmozódhatnak.

5.4.4. Az MR vizsgálat

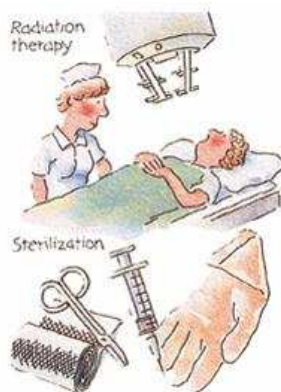
Abban az esetben, ha MRI vizsgálat válik szükségessé, a beteget vizsgálóasztalra fektetik, majd azzal együtt betolják a készülék belsejébe. A henger alakú, vállszélességnél valamivel nagyobb átmérőjű vizsgálotér szűk alagúthoz hasonlatos. A vizsgálotérben fekvő betegnek rezzenéstelenül kell tartania a fejét, ennek biztosítása érdekében olykor különleges fejtámaszokat, rögzítőhevedereket alkalmaznak. A vizsgálat kezdetekor csörömpölő zaj hallható, ennek zavaró hatását fül dugó, vagy zajvédő eszköz biztosításával csökkentik. Rendszerint több felvételt készítenek, általában két különböző fejhelyzetben. Olykor a vizsgálat előtt kb. 5 perccel gadolínium nevű kontrasztanyagot adnak vénás injekcióban. Ez az anyag kirajzolja a károsodott agyterületeket, majd rövid idő alatt, a vizelettel ürül ki a szervezetből.



54. ábra Mágneses rezonancia vizsgálat

Az MR a test anatómiai szerkezetének pontos leírása mellett több funkcionális információt is képes szolgáltatni. Ilyenek a véráramlással, diffúzióval, kontrasztanyag halmozással, bizonyos anyagcsere-folyamatokkal kapcsolatos adatok. Funkcionális leképezést jelent, ha a vizsgált szöveti régiókban lejátszódó biokémiai folyamatok térbeli megjelenítését, tehát a szöveti biokémia térképezését meg lehet oldani. A szöveteket alkotó sejtek anyagcsere intenzitásának vizsgálata, valamint helyfüggő megjelenítése, térbeli eloszlásának meghatározása a tanulmányozott rendszer funkciójára utaló vizsgálati eredmény.

5.4.5. Az MRI orvosi alkalmazásának speciális esete a sugárterápia



55. ábra Sugárterápia

A sugárterápiában használt leképezési eljárások célja, hogy olyan torzításmentes 3D kép álljon rendelkezésünkre, amelyen meg tudunk határozni néhány fontosabb térfogatot, amit a megfelelő sugárzással kezelni fogunk. A sugárterápia alapja: minél nagyobb valószínűséggel el kell pusztítani a kóros szövetet úgy, hogy eközben az ép területek - különösképpen az ún. védendő képletek - károsodásának minél kisebb valószínűsége legyen. Erre természetesen csak akkor van reményünk, ha a kóros terület meg tudjuk határozni. A besugárzás-tervezésben kiemelkedő fontossága van a CT-nek és az MRI-nek.

1935-ben Hevesy György foszfát-32 izotóppal követte nyomon a csontképződést patkányokban. Ez volt a nyomjelzéstechika első orvosi alkalmazása.

A sugárzásokat terápiás célokra is kiterjedten alkalmazzák. A sugárzások élettani hatását igen hamar felismerték. Az 1920-as években már világszerte használták az erős gamma-sugárzást kibocsátó rádiumot a rákos daganatok elpusztítására. A sugárzás behatol a sejtekbe, ott leadja energiájának egy részét, ezzel ionizálja a sejt atomjait, molekuláit. Számos fizikai-kémiai változás indul meg, a sugárzás felbontja a molekulák hidrogénkötéseit. A besugárzás a sejtműködés irányításában kulcsszerepet játszó, a genetikai információkat a sejtsztódásnál továbbvivő DNS-ből információkat távolít el, vagy változtat meg szakaszokat, ezzel meggátolja a sejt osztódását, szaporodását. Az ideális sugárkezelésnél a sugárzás a megcélzott daganatszövetben adja le minden energiáját, azt elpusztítja, a környező egészséges szövetekben viszont nem ad le energiát, azokat nem károsítja. A röntgen- és gamma-sugárnyaláb a testben megtett útja során folyamatosan kölcsönhatásba kerül a szövetekkel, ezért nem korlátozható egy szűk

területre. Egyre többször alkalmaznak olyan megoldásokat is, melyeknél a sugárzó izotópot közvetlenül a daganatba juttatják be.

A daganatok elpusztítására nagy sebességre felgyorsított parányi elemi részecskék is bevethetők. A protonok vagy a náluk nehezebb részecskék ugyanazon az úthosszon sokkal több energiát adnak át a szöveteknek, mint a gamma-sugarak vagy a könnyű elektronok. A nagyobb energialeadás nagyobb kárt okoz, biztosabb a pusztító hatás. A felgyorsított részecskékből álló sugárnyaláb behatolási mélysége jól szabályozható, az energialeadás pontos, az energiaátadás döntő hányada a megállás helyén következik be. Ezért a nehéz részecskékkel való besugárással lehet legjobban megközelíteni a célul kitűzött ideális esetet: úgy pusztuljon el valamennyi daganatsejt, hogy a közelükben levő egészséges sejtek ne károsodjanak. Egyes nagy fizikai kutatóközpontokban pionnyalábokkal, nehézionokkal, gyorsított atommagokkal végeznek klinikai kísérleteket. Legígéretesebbnek a szénionokkal való besugárást ígérkezik. [34], [35], [36], [37]

5.5. Pozitron-emissziós tomográfia - PET

Számítógépes képalkotó módszer, amely a test szöveteinek anyagcsere aktivitása alapján határozza meg egy adott betegség jelenlétét. Ennek a technikának a lényege a CT kifejlesztése során már kidolgozott agyi képalkotó eljárás szoftver-tapasztalatainak továbbfejlesztése és alkalmazása a szervezetbe bevitt radioaktív, de nem ártalmas, az anyagcsereben felhasznált anyagok lokalizálására. Tulajdonképpen ezen radioaktívvá tett közömbös vegyületek, mint pl. a fluorid-18, az oxigén-15 stb. pozitron kibocsátását és agyi elhelyezkedését követik nyomon a megfelelő sugármérő kamera segítségével.

A PET felbontóképessége jelentős, alkalmazásával agykérgi tekervényeket, kéregalatti nagyobb képleteket, pl. a talamuszt és a törzsdúcokat is fel lehet ismerni. Ezenkívül az agyműködés lezajlása közbeni számos funkcionális változás azonnal, tehát még ezen változások valóságos ideje alatt lefényképezhető.

A pozitron emissziós tomográfiában szinte kizárólag szcintillációs detektorok segítségével észlelik a radioaktív jelölő izotópok bomlásából származó gamma részecskéket. A szcintillációs kristályokban a becsapódó gamma kvantumok bizonyos valószínűséggel kölcsönhatásba lépnek a detektor anyagával. Ezeknek a kölcsönhatásoknak végső soron az az eredménye, hogy a gamma-fotonok becsapódása kicsiny fény-felvillanásokat, szcintillációkat vált ki. Ha a kristályt több oldalról

fényvisszaverő réteggel vesszük körül, akkor a szcintillációk során keletkezett fotonok a kristályhoz illesztett fotoelektron sokszorozó fotokatódjára jutnak, ahol fotoelektronokat keltenek (az elektróda egyik „kötött” elektronja a fotokatódra eső foton energiája árán „szabad elektron”-ná válik és kilép a fotokatód anyagából). A fotokatódból kiváltott primér fotoelektronok száma igen alacsony, ezért ezeknek a közvetlen detektálása nehezen oldható meg. Célszerűnek tűnik tehát ezeknek a részecskéknek a számát „megsokszorozni”. A primér fotoelektronokat a fotokatód közelében elhelyezett elektródra össze lehet gyűjteni, ha annak potenciálja a fotokatód potenciáljához képest pozitív. Ha a potenciálkülönbség elég nagy, akkor az elektromos térerősség az elektronokat olyan energiára gyorsítja fel, hogy azok az elektródra érve abból másodlagos elektronokat „űthetnek ki”. A sokszorozási tényező az elektródokat fedő fémréteg minőségétől, valamint a becsapódó elektronok kinetikai energiájától függ. Ezt a sokszorozást további elektródák alkalmazásával „tetszés-szerinti” alkalommal meg lehet ismételni. A gyakorlatban 8-12 fokozattal rendelkező elektronsokszorozókkal 10^6 - 10^8 -szoros erősítés könnyen elérhető az elektródák közötti feszültség alkalmas megválasztásával.

Egy biológiai rendszerben valamilyen módon eloszló radioaktív anyag térképezése a szcintillációs kristályok alkalmazásával megoldható, ha teljesítjük a következő két feltételt:

- 1./ a vizsgálat tárgyát képező rendszert le kell képezni a kristály felszínére,
- 2./ valamilyen módon biztosítani kell, hogy a szcintillációknak ne csak a pusztán észlelése történjen meg, hanem regisztrálni lehessen ezeknek a felvillanásoknak a helyét is.

Az első feltétel teljesíthető az úgynevezett kollimátorok alkalmazásával. Ha a biológiai rendszer és a kristály közé elhelyezünk egy elegendően vastag ólom lemezt, úgy a detektor a forrást „nem látja”, a gamma kvantumok nem képesek a kristály anyagát gerjeszteni. A kollimátorok úgy készülnek, hogy egy ilyen ólom lemezen a felületre merőleges irányban egymással párhuzamos lyukakat állítanak elő úgy, hogy a forrást elhagyó gamma-fotonok közül csak azok érhessek el a kristályt, amelyek a lyukak tengelyével párhuzamosan, vagy közel párhuzamosan haladnak. Könnyen belátható, hogy a kollimátorok alkalmazásával a kristály felületén megjelenik a páciens (és a benne található radioaktivitás diagnosztikus értékű információt hordozó, háromdimenziós eloszlásának) vetületi képe.

A második feltétel (a helyzetérzékeny detektálás) például olyan módon biztosítható, hogy a kristályhoz nem egyetlen, a kristály méretét kevéssel meghaladó fotoelektron-sokszorozót csatlakoztatunk, hanem kisebb méretűből annyit, hogy azok a felületet teljes

mértékben lefedjék. Erre a célra kifejlesztettek speciális, hatszög alakú sokszorozókat. A gyakorlatban 35-70 darab fotoelektron-sokszorozóval borítják be a szcintillációs gamma kamera kristályát. Az a fotoelektron-sokszorozó, amelyik közvetlenül a szcintilláció felett helyezkedik el, a fényfelvillanásból sokkal több fotont gyűjt be, mint a távolabb elhelyezkedők, az egészen távoliak pedig gyakorlatilag nem észlelik a felvillanást. Ennek megfelelően egy alkalmas elektronika az összes fotoelektron-sokszorozó kimenetén megjelenő jelek alapján lokalizálni tudja a gamma-foton becsapódásának a helyét. A helyinformáció az elektronika kimenetén egy koordináta pár formájában jelenik meg, amit egy számítógép memóriájában le lehet tárolni. Sok esemény (gamma-foton becsapódása) regisztrálása után a vetületi kép rekonstrukciós programok segítségével előállítható.

Sok esetben nem teljesen kielégítő, ha a radioaktív anyag eloszlásának csak a vetületi képét lehet rekonstruálni. Ha a vetítési irány mentén is szükség van a különböző szöveti mélységben elhelyezkedő részletek megkülönböztetésére, akkor több vetítési irány mellett is el kell készíteni a vetületi képet. Ennek az a módja, hogy a detektor egy köríven körbejárja a páciens és eközben a berendezés több mint száz vetületi képet készít el. A sok, különböző vetítési irány mellett elkészített vetületi képből rekonstruálható a teljes, háromdimenziós eloszlás is. Ezt a módszert SPECT néven tartják számon, ami az eljárás angol elnevezésének kezdőbetűiből képezett betűszó (SPECT: Single Photon Emission Computed Tomography). A sok különböző irányhoz tartozó vetületi kép előállítására a vizsgálati időt jelentősen megnyújtja. A SPECT vizsgálatok időigénye felére, vagy harmadára csökkenthető, ha a berendezések két, vagy három szcintillációs kristályt tartalmaznak.

A módszer térbeli felbontóképessége elmarad a komputer tomográfia (CT), valamint a mágneses magrezonancián alapuló tomográfia (MRI) felbontóképessége mögött. A PET módszer egy nagy előnye több képalkotó eljárással szemben az, hogy a PET vizsgálatok eredménye abszolút egységekben skálázható.

A pozitron emittáló izotópok között különös jelentősége van az ^{15}O , ^{13}N és ^{11}C izotópoknak, amelyek a biológiai rendszereket alkotó, legnagyobb mennyiségben előforduló elemek izotópjai. Közös vonása ennek a három izotópnak, hogy viszonylag rövid a felezési idejük, ami viszonylag kis dózisos mellett is lehetővé teszi alkalmazásukat (ez abból következik, hogy a radioaktív izotópok nagy hányada már a vizsgálat alatt lebomlik). Az alacsony rendszám miatt kisenergiájú gyorsítók is alkalmasak ezen izotópok nagy hozammal történő előállítására. Ezen túlmenően, ezek az izotópok elemi formájukban, vagy egyszerű vegyületeik formájában gáz halmazállapotúak, ami tisztításuk,

kezelésük során sok előnnyel jár. E három izotóppal kapcsolatos előnyök közül szinte mindegyik ráillik a ^{18}F izotópra is, természetesen azzal a különbséggel, hogy a fluor igen toxikus és csak kevés szövetben és kis koncentrációban fordul elő. A PET vizsgálatokban ennek ellenére jelentős szerep jut ennek az izotópnak. A gyakori felhasználás elsősorban azzal kapcsolatos, hogy a négy könnyű PET izotóp közül ennek az izotópnak a leghosszabb a felezési ideje, valamint, hogy a PET módszer nagy érzékenysége miatt az alkalmazott F koncentrációk messze a toxikus határok alatt maradnak.

Az 1. táblázatban összefoglalom a négy könnyű PET izotóp néhány magfizikai jellemzőjét.

Izotóp	Felezési idő (min)	Maximális pozitron energia (keV)
^{18}F	109,7	635
^{11}C	20,4	960
^{13}N	9,96	1190
^{15}O	2,07	1720

1. táblázat PET izotópok magfizikai jellemzői

Az élő szervezetekben jelentős mennyiségben található könnyű elemek pozitronemisszióval bomló izotópjainak felezési ideje a perces tartományba esik. Ezek a rövid felezési idők hosszú időn keresztül akadályozták, néhány esetben ma is akadályozzák a fenti izotópoknak, mint radioaktív jelölőknek az alkalmazását. A rendkívül gyors kémiai és radiokémiai műveletek, illetve teljes „előállítási-gyártási technológiák” kidolgozása sok találmányt és gyakran igen hosszú fejlesztést igényel. Ugyanakkor tisztán kell látni a gyors lebomlás jelentette előnyöket is, hiszen pontosan ezek a rövid felezési idők teremtik meg a lehetőséget arra, hogy nagy aktivitásokat lehessen alkalmazni a vizsgálatokban. Ilyen módon viszonylag rövididejű adatgyűjtéssel is kellő statisztikával rendelkező, jó minőségű felvételeket lehessen készíteni, anélkül, hogy a vizsgálati személyt túlságosan nagy sugárdózis érné. Ha ugyanis a vizsgálat időtartama egy felezési idő (például 10-20 perc), úgy annak során a páciensbe bejuttatott aktivitásnak a fele lebomlik a vizsgálat végére, tehát a teljes aktivitásnak a felét lehet felhasználni a képalkotás céljaira. Ezzel szemben hosszabb (például 1 nap) felezési idejű izotópok alkalmazása esetén ez a „kihasználható hányad” messze az 1 % alatt marad, ha eltekintünk a „biológiai bomlástól”.

A rövid felezési idők lehetővé teszik, hogy bizonyos vizsgálatokat igen rövid időn belül (akár néhány percen belül) meg lehessen ismételni. Ezeket az izotópokat ciklotron besugárással az 1930-as évektől kezdődően tudják előállítani. A lehetőség megteremtése után a biológiai vizsgálatokban történő felhasználásuk azonnal megkezdődött. Az 1940-es években került sor az első humán vizsgálatokra. Az 1. táblázatban feltüntetett izotópok rövid felezési ideje miatt ezen izotópokat alkalmazó PET kamerákat közvetlenül gyorsítók mellé telepítik. Talán az egyetlen kivétel a ^{18}F , ami lehetővé teszi a jól szervezett szállítást. Napjainkban szinte kizárólag szcintillációs detektorokat alkalmaznak sugárzás detektorként. Az ilyen detektorok egy szcintillációs kristályból és egy fotoelektronsokszorozóból állnak, amely egységeket optikailag csatolják egymáshoz. A kristályban az ionizáló sugárzás fluoreszcenciás felvillanásokat kelt, amelyeket a fotoelektronsokszorozó elektromos impulzusokká alakít. Az első PET kamerákban talliummal aktivált NaI kristályokat használtak, amelyeket a későbbiek során cézium-fluorid, bárium-fluorid és bizmut-germanát kristályokkal váltottak fel. Ezekkel a detektorokkal jobb detektálási hatásfokot lehet elérni. A szcintillációs detektorok alkalmazásának legfőbb hátránya, hogy terjedelmesek és nehezen illeszthetők jó térbeli felbontású detektorrendszerbe. Mai, szériagyártásban készülő kamerák egyedi detektorra vonatkoztatott hatásfoka 90 % körüli érték.

5.5.1. A Pozitron Emissziós Tomográfia alkalmazási lehetőségei

A klinikai alkalmazások közül kiemelkedik a tumordiagnosztika. Ez a módszer lehetővé teszi a viszonylag kis kiterjedésű, de fokozott anyagcseréjű tumorszövetek pontos kimutatását a szervezetben. A módszer más képalkotó eljárásokkal együttesen rendkívül megbízható tájékoztatást ad a kezelő orvosnak a tumorok pontos kiterjedéséről, a tumor növekedés mértékéről, valamint támpontot ad az optimális terápia megválasztásához. Ismételt PET vizsgálatokkal megítélhető az alkalmazott terápia eredményessége, jelzi a terápia módosításának esetleges szükségességét. A daganatok rutin diagnosztikájában megfelelő találati pontossággal használható a CT, a különböző ultrahang készülékek, illetve az MRI vizsgálat. A PET vizsgálat azonban minőségileg más diagnosztikus eljárás. A hagyományos vizsgálóeljárásokkal ugyanis morfológiai eltéréseket tudunk diagnosztizálni (például computer tomográfia), de az agy anyagcseréjével kapcsolatos vizsgálatokra a CT nem megfelelő, ilyen vizsgálatok végzésére csak bizonyos speciális SPECT, MRI technikák és főleg a PET alkalmasak. A PET további nagy előnye, hogy

segítségével a különböző receptorok is vizualizálhatók. A módszert napjainkig az ideggyógyászok és idegsebészek használták a leggyakrabban a központi idegrendszeri tumorok diagnosztikájában, de ma már igen gyakran alkalmazzák lágyrész tumorok (vastagbél, végbél, emlő, tüdő, izom) és csonttumorok azonosításában, terápiájuk beállításában és követésében is. Amennyiben szövettani vizsgálatok céljából mintavétel szükséges, úgy a PET felvételek segítségével pontosan behatárolható az a régió, amely erre a célra a legalkalmasabb. Számos esetben szükség van műtét utáni sugárkezelésre is. A nagy érzékenyséű PET vizsgálatok nagyon értékes segítséget nyújtanak a besugárzás tervezéshez, hiszen nagy pontossággal kijelölik a céltérfogatot. A sugárkezelés megtörténte után gyakran ellenőrzik annak hatékonyságát. Ennek során meg kell állapítani, hogy a sugárterápia elérte-e célját, vagy a daganat egy hányada túlélte a kezelést. Az agydaganatok az összes daganatok körülbelül 1 %-át teszik ki. Diagnosztizálásuk a CT illetve MRI segítségével rendkívül sokat javult, de a terápiában viszonylag szerény a fejlődés. Modern eljárások (ultrahang-vezérelt beavatkozások) mellett továbbra is a besugárzás az egyik legfontosabb terápiás eljárás bizonyos daganatfajtákban. A besugárzások után azonban nagyon gyakran kiújulással számolhatunk. Pusztán a CT vizsgálat alapján nem lehet mindig eldönteni, hogy a koponyán belül talált idegen szövet a besugárzás elpusztult maradéka, vagy visszamaradt élő tumorszövet, mely újabb kezelést igényel. A PET vizsgálatnak ezekben az esetekben nemcsak diagnosztikus, hanem terápiakijelölő szerepe is van.

Kiemelkedő jelentősége van a módszernek epilepsziákban, mert lehetővé teszi az epileptikus góccok lokalizációját. Magyarországon az epilepsziások száma körülbelül 80-100 ezer. A epilepsziások jelentős része, körülbelül 20-30 %-a terápia-rezisztens, a hagyományos gyógyszerekkel a rosszulletek nem szüntethetők meg, a halmozódó rosszulletek ráadásul további epilepsziás fókuszokat generálhatnak, a központi idegrendszer tovább károsodik. Bizonyos körülmények között és bizonyos epilepszia típusokban az epilepsziás fókusz műtéileg eltávolítható. Az epilepsziás működészavar diagnosztizálásában a hagyományos EEG nem mindig segít, még a fejlettebb formájában, az agykéregről való direkt elvezetések technikájával sem. PET segítségével a rohamok közötti, illetve a rohamok alatti anyagcsere-változásokat ki lehet deríteni, tehát PET vizsgálattal az epilepsziás fókusz biztosabban lokalizálható. A PET tehát egyes epilepsziafajtákban a további terápiát alapvetően meghatározó diagnosztikus eszközzé vált.

Az átlagos élettartam meghosszabbodásával az időskori vagy az időskor előtt jelentkező elbutulás világszerte az orvostudomány egyik legnagyobb problémájává vált. A

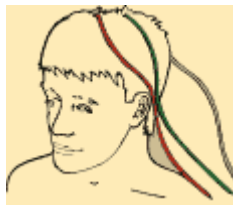
dementia okát, illetve jellegét azonban korántsem könnyű mindig tisztázni. A PET segítségével az agy anyagcsereje vizsgálható, ez az egyes dementia típusokban jellegzetesen változik, ennek alapján a dementia, illetve annak típusa megbízhatóbban diagnosztizálható.

Fontosak a kardiológiai alkalmazások: szívműtétek előtt a szív izomzat funkcionális állapotáról, az élő és elhalt szöveti részek arányáról, ezen régiók térbeli elhelyezkedéséről kap a szívsebész pontos és más módszerrel nem pótolható információt, s a szívműtét után annak sikeréről, esetleges további gyógyszeres kezelés beállításának szükségességéről győződhet meg.

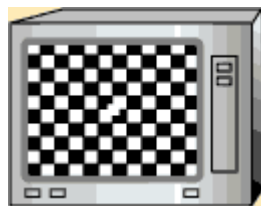
Magyarországon a PET vizsgálatokkal kapcsolatos igények meghaladják a lehetőségeket. A ténylegesen vizsgálatra kerülőket az ország vezető szakembereiből álló bizottság választja ki. [21]

5.6. A vizuális kiváltott potenciálok (VEP) vizsgálata

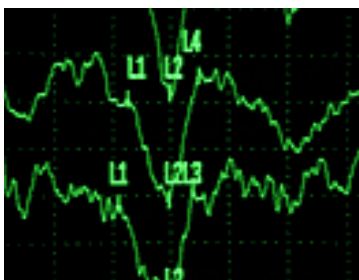
VEP (visual evoked potentials), vizuális kiváltott potenciálok vizsgálata során azt értékelik, mennyi idő alatt érzékeli és dolgozza fel az agy a szemből érkező impulzusokat. A vizsgálat előtt elektródokat erősítenek a fejbőrre koponya bizonyos pontjain. Ezek az elektródok rendkívül érzékenyek, képesek érzékeltetni az agy elektromos tevékenységét, az ún. agyhullámokat. Maga az eljárás tökéletesen ártalmatlan, és nem okoz fájdalmat. A vizsgált betegnek képernyőn megjelenített, folyamatosan változó, fekete-fehér négyzetekből álló mintát kell szemlélnie. Ennek hatására ugyanis idegimpulzusok futnak végig a látóidegen a retinából az agyba. A VEP készülék a mintázat változása és az ennek érzékelésekor jelentkező agyi elektromos tevékenység kialakulása között eltelt időt méri.



56. ábra Elektródokat erősítenek a beteg fejbőrére



57. ábra A beteg képernyőn mozgó képeket szemlél



58. ábra A vizsgálat ideje alatt regisztrálják és elemzik az agy elektromos tevékenységét tükröző görbéket

A VEP vizsgálattal mindennapi körülmények között rejtve maradó látászavarok is felismerhetők. Hasonló módon vizsgálhatók az agy hangingerekre, és tapintási ingerekre adott reakciói. Az eredmények alapján a kezelőorvos ellenőrizheti az idegrendszeri működések épségét, és rendellenesség esetén kiválaszthatja a legmegfelelőbb gyógymódot. [36]

6. Alkalmazási lehetőségek a fizikatanításban

6.1. Kísérletek

A Szegedi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszéke és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Csongrád megyei csoportja évente meghirdet egy háromfordulós versenyt, Játsszunk fizikát! címmel a Délmagyarország és a Délvilág napilapokban fizikai kísérletekből, általános és középiskolás diákok számára. A verseny arra törekszik, hogy ösztönözze az általános és középiskolás diákokat, hogy fedezzenek fel néhány érdekességet a körülöttük levő világban. Szeretnék kiemelni a 2003/2004 tanév III. fordulójának pályázataiból két ötletes megoldást.

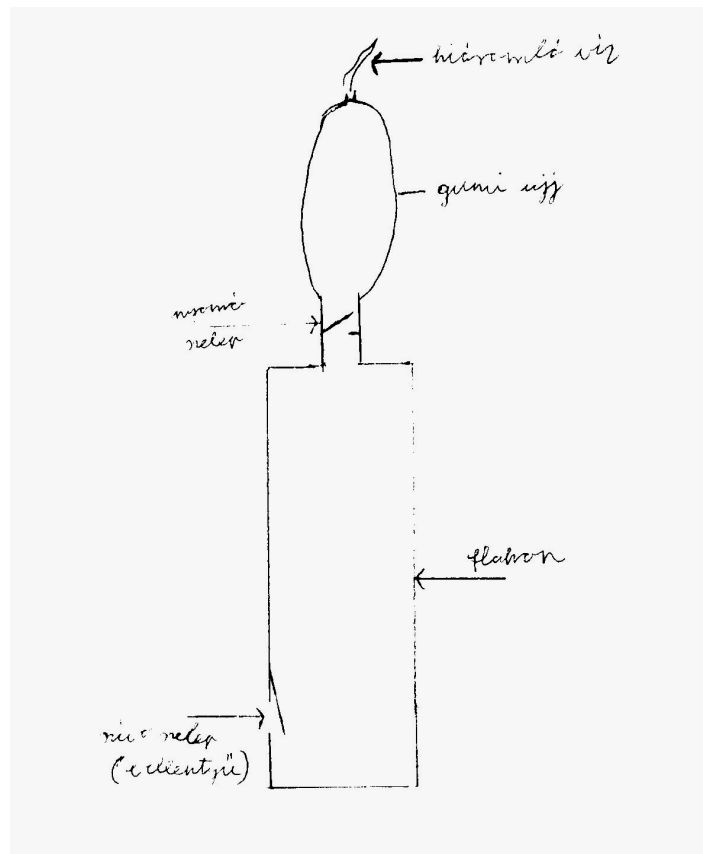
Velez Dániel szegedi, Dömötör Péter hódmezővásárhelyi 8. osztályos tanulók 1. illetve 3. helyezést értek el a versenyen.

Feladat:

Égészségünk szempontjából fontos a vérerek rugalmasságának megőrzése. Tervezz modellkísérletet, amely bemutatja, hogy csövekben a folyadékok áramlását hogyan befolyásolja például a cső keresztmetszete, rugalmassága, anyagi minősége! Írd le tapasztalataidat, illetve méréseidet!

Dömötör Péter megoldása:

„Műanyag flakonból elkészítettem a szív bal kamrájának modelljét. A rugalmas falú flakon kézzel összenyomva kipréseli, majd elengedve magába szívja a vizet. Az egyirányú áramlást billentyűkkel oldottam meg. A billentyűket kerékpár belső gumijából csináltam. A nyomó oldali billentyűhöz rugalmas falú csőként gumikesztyű ujját, illetve merev falú csőként pezsgőtablettás tubus csatlakozik. Mindkét cső végén kicsiny nyílást alakítottam ki. Ha a rugalmas falú csőbe pumpáltam vizet, akkor a cső végén folyamatos áramlást észleltem. A merev falú cső végén csak akkor áramlott a víz, amikor a flakont összenyomtam. A szívás idején egyáltalán nem jött víz a cső végéből. Azt is megfigyeltem, hogy a gumikesztyű ujját a pumpálás ütemében kitágul, illetve összehúzódik. Tulajdonképpen ez által biztosítja a folyamatos áramlást. Azt is megfigyeltem, hogy amikor szaporábban pumpáltam, akkor a rugalmas cső esetén az áramlás lüktető jellege csaknem megszűnt. A természet az ütőerek rugalmasságával oldja meg, hogy a szív ütemes pumpálása ellenére a hajszálerekben a véráramlás folyamatos legyen.”



59. ábra A szív modellezése Dömötör Péter pályázatában

Velez Dániel megoldása:

Eszközök a modellezésre:

- 1 literes műanyag flakon lyukkal az alján
- 4 db 1.5 literes műanyag flakon
- Különböző, az 1 l-es flakon kupakjához rögzített cső
- Csövek:
 - 1. kupak:
 - A: Átmérő: 2 mm Hossz: 1m PVC (orvosi)
 - B: Átmérő: 3 mm Hossz: 1m PVC (orvosi)
 - C: Átmérő: 4 mm Hossz: 1m PVC (orvosi)
 - D: Átmérő: 5 mm Hossz: 1m PVC (benzines)
 - 2. kupak:
 - A: Átmérő: 4 mm hossz: 1m terraflex PVC
 - B: Átmérő: 4 mm hossz: 1m vékonyfalú gumicső
 - C: Átmérő: 4 mm hossz: 1m vastagfalú gumicső
 - 3. kupak:
 - A: Átmérő: 6 mm hossz: 1m PVC (benzines)
 - B: Átmérő: 6 mm hossz: 1m CRISTALLOEXTRA PVC
 - 4. kupak:
 - A: Átmérő: 8 mm hossz: 1m PVC (benzines)
 - B: Átmérő: 8 mm hossz: 1m gáz gumicső (duplafalú)
 - 5. kupak:
 - A: Átmérő: 12 mm hossz: 1m PVC (benzines)
 - 6. kupak:
 - A: Átmérő: 12 mm hossz: 1m PVC (benzines) belülről mákkal bepiszkított
 - 7. kupak:
 - A: Átmérő: 6 mm hossz: 1m PVC (benzines)
 - B: Átmérő: 6 mm hossz: 0,1m PVC (benzines)

A csövek végét beletettem az 1.5 literes flakonokba. Minden kupakot egyenként rácsavartam az 1 literes, vízzel töltött flakonra. Az első négy kupaknál elismételttem háromszor. Ezután megmértem az egyes csöveken átfolyt vízmennyiséget. A második, harmadik és negyedik kupaknál Elvégeztem a mérést amikor a csövek meg voltak hajlítva. Az ötödik és hatodik kupaknál az átfolyás idejét mértem meg.

Mérések:

- 1. kupak:
 - A: 350 ml
 - B: 477 ml
 - C: 580 ml
 - D: 1477 ml
- 2. kupak:
 - A: 810 ml hajlítva: 765 ml
 - B: 955 ml hajlítva: 1000 ml
 - C: 1060 ml hajlítva: 1080 ml
- 3. kupak:
 - A: 1400 ml hajlítva: 1400 ml
 - B: 1488 ml hajlítva: 1470 ml
- 4. kupak:
 - A: 1420 ml hajlítva: 1335 ml
 - B: 1420 ml hajlítva: 1500 ml
- 5. kupak:
 - A: 1000 ml idő: 7,34 sec

- 6. kupak:
 - A: 1000 ml idő: 8,30 sec
- 7. kupak:
 - A: 620 ml
 - B: 305 ml

Magyarázat:

- 1. kupak:

A víz mennyisége ebben az esetben csak a csövek vastagságától függ. Minél vastagabb a cső annál több víz folyik át rajta ugyan annyi idő alatt.



- 2. 3. és 4. kupak:

Ezzel a méréssel bizonyítható, hogy ha egy cső rugalmasabb, akkor nem befolyásolja az átfolyó vízmennyiséget, olyan nagy mértékbe a hajlítás. Az is kiténik ebből a kísérlethől, hogy minél rugalmasabb a cső annál gyorsabban áramlik rajta keresztül a víz.
- 5. és 6. kupak:

Amikor tiszta a cső, akkor sokkal gyorsabban átfolyik az ugyan akkora mennyiségű víz.
- 7. kupak.

Ez a kísérlet csak akkor hoz helyes eredményt, ha a csövek vége ugyan abba a magasságba vannak. A hosszabb csövön kevesebb víz folyik át ugyan annyi idő alatt. Ez azért van, mert nagyobb felületen érintkezik a víz a csővel, ezért nagyobb a súrlódás, így lassabban folyik a víz.

60. ábra Velez Dániel pályázata

Saját kísérletemhez is ez a versenyfeladat adott ötletet. A vizsgálatot a Kísérleti Fizika Tanszék Szakmódszertani laboratóriumában végeztem. Céлом az volt, hogy megvizsgáljam, mitől függ az erekben a vér áramlása.

A vér a szervezet zárt keringési rendszerében áramlik. A rendszer felépítése a következő: központi szerve a szív, két pitvarból és két kamrából áll. Innen indulnak ki és ide futnak be az erek. Az erek fő típusai: ütőerek vagy verőerek (artériák), visszerek vagy gyűjtőerek (vénák), hajszálerek (kapillárisok). A szívhez két vérkör kapcsolódik. A nagyvérkör a bal kamrából indul ki és a jobb pitvarba tér vissza. A tüdő kivételével az egész testet behálózza. Részei: aorta, artériák, arteriolák, kapillárisok, venulák, vénák. A nagy vérkör vénás szakaszába torkollik a nyirokrendszer. A kis vérkör a jobb kamrából ered és a bal pitvarba tér vissza. Részei: tüdőartériák, kapillárisok, tüdővénák. A tüdő

vérkörének is nevezhetjük. A szívben és a vénák jelentős részében billentyűk vannak. Ezek szabályozzák a vér egyidejűleg, de sorba kapcsoltan kering.

Fiziológiás nyomáson a folyadékok összenyomhatatlanoknak tekinthetők. Stacionárius áramlás esetén a cső teljes keresztmetszetére vonatkoztatott áramerősség a cső mentén mindenütt ugyanakkora. I áramerősség megegyezik az anyag koncentrációjának, a cső keresztmetszetének és a sebességnek a szorzatával:

$$I=c \cdot A \cdot v$$

Ha a koncentráció a csőben mindenütt ugyanakkora, akkor a cső mentén bárhol kijelölt keresztmetszetére fennáll:

$$v \cdot A = \text{konst.}$$

Tehát az áramló anyag sebessége fordítottan arányos a cső keresztmetszetével. Ahol kitágul a cső, ott csökken az áramlás sebessége, ahol összeszűkül, ott megnő. Ez a kontinuitási egyenlet. Orvos-biológiai szempontból fontos következménye, hogy a vér áramlásának sebessége a hajszálerekben a legkisebb, mivel ezek összkétszámát a legnagyobb.

Az ember vérkeringésének két lényeges sajátossága van: a szív lüktetve pumpálja a vért, a vér rugalmas falú csövekben áramlik. Az erek fala, valamint az azokat körülvevő szövetek rugalmasak, melyek kisimítják az áramlási sebesség és a vérnyomás szélsőséges ingadozásait.

Kísérletemben a következő eszközöket használtam fel: Mariotte-palack, különböző minőségű csövek, 2 db 250 ml-es pohár, T-alakú üvegcső, szorítók, víz.



61. ábra Kísérletemben felhasznált eszközök

Különböző csövek (vékony üvegcső, szívószál, és öt különböző gumicső) esetén vizsgáltam a kifolyt víz mennyiségét. A gumicső és az üvegcső merev falú csövek, melyek nem demonstrálják helyesen a vér áramlását az erekben. A különböző anyagi minőségű, különböző rugalmasságú, különböző keresztmetszetű csövek esetén a várakozásnak megfelelően különböző mennyiségeket kaptam, a fizikai törvényszerűségeknek megfelelően.



62. ábra A kísérletben felhasznált csövek

A kísérletet méréssel próbáltam kiegészíteni, de sajnos nagy nehézségekbe ütközött az eszközök pontos beállítása, ezért mért adatokat nem tudok közölni. Problémát okozott a T-cső teljesen vízszintes elhelyezése; a rendelkezésemre álló T-cső alakja (keresztmetszete a két oldalán nem volt teljesen azonos); a víz folyamatos áramlása; a légbuborékok kiküszöbölése.



63. ábra A kísérlet elvégzése két azonos gumicső esetén

A pontos mérések nélkül is remekül látszott a kísérletek folyamán, hogy mekkora jelentősége van az erek minőségének a vérkeringés zavartalan működésében.

6.2. Fizikusok szerepe az orvostudományban

A fizika és az orvostudomány fejlődése között kezdettől fogva szoros kapcsolat állt fenn. Így például a röntgensugárzás felfedezése, 1895 után - valamennyi más tudományterületet megelőzve – az orvostudomány azonnal megkezdte az új sugárzásnak a maga területén való hasznosítását, a diagnosztikai és terápiás alkalmazási lehetőségek kipróbálását, újabb és jobb módszerek kifejlesztését. Fél évvel Röntgen nagy felfedezése után például az angolok nílusi hadserege már fel volt szerelve tábori röntgenkészülékkel, ami a testbe került repeszdarabok kioperálásánál nagy segítséget jelentett. Hasonló gyors reagálást láthattunk a radioaktív sugárzások, a lézersugár, az elektromágneses sugárzások gyakorlati használatbavételénél is. Így érthető, hogy az orvostudomány élenjáró intézményeiben lassanként igényelni kezdték a fizikusok közreműködését a lépten-nyomon felmerülő elméleti és gyakorlati kérdések megoldásához, az orvosok által megálmodott új módszerek bevezetését lehetővé tevő új készülékek kifejlesztéséhez. Másrészt a fizikusok közül is egyre többen ismerték fel, hogy a korszerű orvostudomány területén számos olyan megoldatlan feladat várja a fizikusok közreműködését, amelyek komoly és szép eredményekkel kecsegtetnek.

Az 1950-es években Magyarországon is megnőtt a fizikusok szerepe az egészségügy területén. Egyre többen kapcsolódtak be az orvosi diagnosztika és terápia problémáinak megoldásába. Ma is számos fizikust foglalkoztat az egészségügy a legtöbb területen. Az egészségügyi vizsgálatok fizikai hátteréről, a betegek tájékozottságáról és az egészségügyben a fizikusi végzettség előnyeiről és hátrányairól kérdeztem két szegedi fizikust.



64. ábra Tóth Ferenc

Tóth Ferenc a szegedi Fül-Orr-Gége Klinika munkatársa a következőket válaszolta kérdéseimre:

Melyik egyetemen, milyen szakon, mikor szerezte diplomáját?

Annak idején József Attila Tudományegyetemnek hívták a mostani SZTE-t, a TTK-n fizikus szakon, 1993-ban diplomáztam.

Milyen beosztásban dolgozik itt a klinikán?

Tudományos munkatárs vagyok 12 éve.

Milyen tevékenységet végez itt, mi a feladata?

A feladatom alapvetően sokrétű, igazából két nagy dolog köré lehet csoportosítani. Phd-s hallgatóként kerültem a klinikára, itt voltam ösztöndíjas 3 évig. A tudományos témám az akusztikus kiváltott válaszok alkalmazása az objektív audiometria területén volt, így bekerültem az objektív audiometriai labor munkájába és mostanáig is az egyik fő feladatom az, hogy ezeket a diagnosztikai eljárásokat koordináljam, értékeljem. A másik csoport az, hogy 1995-ben elindult egy program itt a szegedi Fül-Orr-Gége Klinikán, egy populáris implantációs program, aminek az a lényege, hogy egy elektródasort beültetünk a nagyothalló, majdnem süket, illetve süket pácienseknek a belső fülébe, a csigájába és ez által elektromos úton hallásélményhez juttatjuk őket. Ez egy komoly programozói, illetve elktrofiziológiai tudást igényel, ennek a karbantartása, a készülék programozása a feladatom.

Mit tapasztal, mik az előnyei és hátrányai fizikus végzettségnek az orvostudományban?

Az igazat megvallva én nagyon féltem, amikor ide kerültem. Annak idején én is hallottam, hogy az orvosi hierarchia, az orvostársadalom egészen másként áll föl, mint például - ha a tudományos életben maradunk - a TTK tanszékei. De ilyen szempontból kellemeset csalódtam. Természetesen, mivel gyógyításról és emberekről van szó, ezért itt sokkal katonásabb fegyelem van, mint máshol. Ha valaki végez egy munkát, annak a kontrollja igen szoros, például a kezdők esetében. Bizonyos eljárásokat, műtéteket nem bíznak rá kezdőre, csak úgy, hogy ha ott komoly szakmai kontroll van. Ez főleg egy klinikán úgy tagozódik, hogy vannak különböző szintű emberek, és mindenki a felettesének köteles elszámolni, illetve a felettes felügyeli, ellenőrzi munkáját, úgyhogy ilyen szempontból igenis más az orvosi társadalom, ami egy bizonyos mértékig érthető is. Hát persze túlkapások mindenhol vannak. Vannak, akik visszaélnék a pozíciójukkal, de szerintem nem jobban, mint máshol. Úgy neveznek minket, hogy egyéb diplomások, el vagyunk különítve az orvosoktól, ami bizonyos szempontból érthető, mert más egy orvosnak az előmenetele, mint mondjuk egy fizikusnak, egy vegyésznek vagy egy biológusnak. Mi egymással nem állunk se konkurenciában, egymás mellett haladunk, egymás dolgait segítjük. A kollegákkal jó viszonyt kell ápolni. Bizonyos szintre eljutni egy klinikán,

komoly erőfeszítés jelent. Mondjuk az én esetemben nem volt ez olyan megerőltető, ugyanis a főnököm szintén fizikus, és ő már „utat tört”.

Voltak olyan tapasztalatai, hogy a beteg hozzáállása, tájékozottsága vagy éppen tájékozatlansága befolyásolta a vizsgálat vagy a terápia elvégzését?

A kérdés így összetett. Egy biztos, mindenféle diagnosztikai, mindenféle terápiás eljárásnak egy nagyon fontos szegmense a beteg hozzáállása. Egyáltalán vannak olyan vizsgálatok, amiket nem lehet a beteg közreműködése nélkül elvégezni. Nyilván, hogyha valakivel nehezen tudjuk megértetni, hogy mit kell csinálni, akkor a vizsgálatok elvégzése nehézségekbe ütközik. Nyilván aki úgy áll hozzá, hogy megérti, felfogja és tevékenyen részt vesz, az a célja, hogy minél jobban menjenek a vizsgálatok, az a legjobb. Aztán van egy másik oldal, amikor valaki túl okos akar lenni, mindent tudni akar, ami persze nem baj, nagyon szívesen elmagyarázzuk neki, hogy mi miért van. Az audiológia alapvetően két részből áll. Az első rész, amelyet úgy nevezünk, hogy szubjektív audimetria, azt jelenti, hogy a betegnek vissza kell jelezni, hogy ezt hallom, nem hallom, mikor, hogyan, stb. Nyilván itt nagyon befolyásoló tényező a beteg közreműködése. Éppen ennek a kiküszöbölésére, illetve ezeknek a vizsgálatoknak a kiegészítésére szolgál az objektív audiometria, amivel inkább foglalkozom. Ebben az esetben olyan vizsgálatokról van szó, hogy semmi visszajelzés nem kell a betegtől. Ezek általában fizikai, biológiai módon történő vizsgálatok. Van egy input, van egy output, amit mérünk, az alapján tudunk következtetni a hallásállapotról. Ebben az esetben az a lényeg, hogy valaki nyugodtan, mozdulatlanul viselje végig a vizsgálatot, ami esetlegesen hosszú ideig tart. Ha valaki ezt nem bírja, akkor akadályozza a vizsgálat elvégzését. Eddig a diagnosztikai részről beszéltem, a másik a terápia. Általában a hallásvesztést csak bizonyos műszeres kiegészítéssel, például hallókészülékkel tudjuk orvosolni. Ebben az esetben ez is feltételez egy bizonyos együttműködést. Egyrészt meg kell tanulni a készüléket használni, beállítani, stb. Másrészt a terápia elején elviselni, mert nem feltétlen kellemes. Ezeket a dolgokat szintén befolyásolja a beteg hozzáállása. Sűrűn előfordul, hogy a beteg hozzáállása akadályozza a vizsgálat elvégzését. Elsőként említeném azokat az eseteket, amikor valaki azt szeretné, hogy leszálalékolják, mert nem hall. Ezt nyilván egy szubjektív audiológiai vizsgálatnál el tudja játszani. Ha felkerül hozzánk a BERA laborba, az objektív hallásvizsgáló laborba, akkor ebben az esetben objektíven meg tudjuk határozni, hogy a hallása milyen. Ha ez számunkra kiderül, akkor megpróbálhatja akadályozni a vizsgálat elvégzését. Vannak olyan érzékenyek, érdekes módon éppen a férfiakra jellemző jobban, akik félnek. Ezek a vizsgálatok abszolút nem okoznak semmilyen fájdalmat, esetleg kis

kellemetlenséget. Beledugunk egy dugót a fülébe, nagyobb nyomást gyakorlunk a hallójáratra, és ettől megijed és kiveszi. Az agytörzsi kiváltott válasz vizsgálat, ami arról szól, hogy egy hangingerre az idegrendszer különböző pontjai elektromos választ produkálnak (olyan, mint az EEG), az ingerre jövő válaszokat regisztráljuk, azután átlagoljuk, és ebből a hallópályák különböző szakaszairól információt nyerhetünk. Egy Faraday-kalitkába kell befeküdni, és felteszünk rá elektródákat, egy fülhallgatót. Nyugodtan kell feködni. Volt olyan, hogy 80 decibelnél levette a fülhallgatót, mivel az már hangos volt. Nyilván a kis gyerekekről most nem beszélek, őket egy vizsgálati helyzetbe bele kell vinni, szép szóval, vagy esetleg erőszakosabban, ha ez nem megy, akkor altatással.

Ön szerint egy középiskolás diáknak mennyit kell ismerni az egészségügyi vizsgálatok fizikai hátteréről? Konkrét példát is mondana?

Egyrészt meggyőződésem, hogy a reál tárgyak a gyerekek körében nem népszerűek. Úgy gondoltam, ennek az az oka, hogy nem tanítják jól. A gyerekek azért nem szeretik, mert nem találják érdekesnek, száraznak vélik. Például a fizikaoktatást ilyesmivel nagyon szépen ki lehetne egészíteni. Ugyanis a fizika nagy szerepet játszik az orvosi diagnosztikában, mint ahogy látjuk, hogy elég sok fizikus dolgozik ezen a téren. Például már a tananyag színesítésére is kézenfekvő lenne az orvosi alkalmazások oktatása tájékoztatási szinten. Aztán mivel előbb vagy utóbb mindenki beteg lesz, az általános műveltséghez az alapvető fogalmak is hozzátartoznak. Ha valamilyen problémája van, akkor tudja, hogy hova kell fordulni, bizonyos vizsgálatoknak mi a fizikai, kémiai, biológiai háttere, mi alapján, hogy működnek, milyen veszélyforrásokat rejtenek.

Fizika órán mit lehetne, kellene még tanítani a témával kapcsolatban?

Főleg azokat az eszközöket kellene tanítani, amelyek nap, mint nap előfordulnak a gyakorlatban, és amik érdekesek. Nagyon speciális dolgokat nem érdemes tanítani, csak azt, ami benne van a köztudatban. Ilyen a röntgen, a CT, az MRI, az ultrahangvizsgálat, most már az endoszkópos vizsgálatok, a lézer.

Ezt az egész felvetést jó ötletnek tartom, és mindenképpen támogatom.



65. ábra Dr. Szil Elemér

Dr. Szil Elemér docenst kérdeztem a szegedi Onkoterápiás Klinikán:

Melyik egyetemen, milyen szakon, mikor szerezte diplomáját?

Én a szegedi egyetemen végeztem, matematika-fizika szakon, 1974-ben.

Milyen beosztásban dolgozik itt a klinikán?

Egyetemi docens vagyok, a klinika egyik részlegét vezetem, amit úgy hívnak, hogy sugárfizikai részleg. Itt rajtam kívül fizikusok, villamosmérnök és technikus dolgozik. Itt a klinikán 1991 tavasza óta dolgozom, 1974-től az egyetemen, 1974-76 között a Szerves Kémiai Tanszéken, 1976-90 között a Kísérleti Fizikai Tanszéken, utána fél évet a Deák gimnáziumban voltam és utána kerültem ide.

Milyen tevékenységet végez itt, mi a feladata?

Ez egy nagyon érdekes munka. A klinikán daganatos betegek kezelése folyik, erre a 3 féle eljárás ismertes, a sugárkezelés, a kemoterápiás, azaz gyógyszeres kezelés és a sebészeti eljárás. Ezek külön-külön is létjogosultak, de ezek bármely kombinációja is. Mi fizikusok a sugárkezelés miatt vagyunk itt. A sugárkezelés nagy energiájú sugárzást kibocsátó készülékekkel történik. Két fatája van. Az ún. külső sugárterápia, a teleterápia, amikor kívülről juttatunk sugárzást az adott céltérfogatba, és van egy másik, amit úgy hívnak, hogy brachiterápia, amikor valamilyen sugárzó anyagot juttatunk be a térfogatba. A házban teleterápia folyik. A teleterápia vagy kobaltágyúval, vagy lineáris gyorsítóval történik. A fizikusoknak az egyik fontos feladata ezen készülékek pontos ismerete, azaz a készülékeket installáláskor be kell mérni, minden sugárfizikai paraméterét a készüléknek ismerni kell. Ezen mérési adatok alapján egyszerű esetekben bizonyos táblázatok, illetve formulák alapján végezhetők a besugárzások. Komplikáltabb esetekben dedikált besugárzás tervező rendszerek segítségével tervet készítünk. Következő fontos dolga a fizikusnak a besugárzási tervek elkészítése vagy formulák, a mérési eredmények alapján készített táblázatok alapján történő egyszerű számításokkal, vagy a tervezőrendszerek

segítségével. Fontos dolog a készülékek állandó ellenőrzése, felügyelete, paramétereinek ellenőrzése. A fizikus feladata még az is, hogy a villamosmérnöknek segítsenek, a készülékek esetleges üzemzavarainak elhárításában, gondoskodjanak az egyetem számítógépes hálózatának, itt a klinikán működő részének a zavartalan működéséről, felügyeljék azt a dedikált terápiás számítógépes hálózatot, amelyek segítségével a klinikán alkalmazott eszközeink, gyorsító, CT, tervezőrendszer működnek. Új technikák megvalósítása előtt, mielőtt a betegen élesben történik valamilyen kezelés, azokat le kell ellenőrizni. Sugárfizikai mérések segítségével kontrollálni kell, hogy az valósul e meg, amit mi elképzeltünk, amit a tervezőrendszeren megterveztünk. Feladatunk még az orvosok képzése. Először a fizikus ismerkedik meg az új technikával, és azután orvossal való konzultáció után együttes munkával megvalósítják. Fejlesztésekkel is foglalkozunk. De első célunk, ami mindent majorál, a betegek biztonságos ellátása.

Mit tapasztal, mik az előnyei és hátrányai fizikusi végzettségének az orvostudományban?

Ez a terület nem tud létezni fizikusok nélkül. Szegeden a fizikusok és az orvosok között jól működő munkakapcsolat van. Az orvosvilág kicsit más, mint a mi világunk. Az a tapasztalatom, hogy az orvosok sűrűn foglalkoznak betegekkal. Hozzászoknak egyfajta fölényhez, a betegek nagy része kevésbé művelt, és ez egyfajta fölényt ad nekik. Vannak próbálkozások, hogy ezt a fizikusokkal való kapcsolatukra is áttegyék, de a gyakorlat azt mutatja, hogy az igazán problémamegoldó gondolkodással a fizikusok rendelkeznek, képzésük egyenes folyamán, ezért előbb-utóbb minden orvos rájön, hogy a fizikusokkal együtt kell működni. Én azt gondolom, hogy Szegeden mi ezt megvalósítottuk. Szerénytelenség nélkül mondhatom, hogy ebben nekem nem kis érdemem van. A sugárterápiában dolgozó fizikusok általában nem rendelkeznek doktori címmel, tudományos fokozattal. Én a JATE-n szereztem doktori címet, hamarosan kineveztek docensnek, ami itt egyfajta tekintélyt adott nekem.

Voltak olyan tapasztalatai, hogy a beteg hozzáállása, tájékozottsága vagy éppen tájékoztatlansága befolyásolta a vizsgálat vagy a terápia elvégzését?

Mi fizikusok nem nagyon vagyunk a betegekkal direkt kapcsolatban. Nem is nekünk való. Én, ha csak lehet, kerülöm a betegekkal való közvetlen érintkezést. A betegek reakcióit az orvosokkal való konzultáció során tudjuk meg. Az idejövő betegek zöme meglehetősen meg van ijedve. Itt daganatos, rákos betegek kezelése folyik. Ezt tudni kell kezelni. A klinika nagy gondot fordít arra, hogy a betegeket felügyelje. A klinikán egy pszichiáter szakorvos is dolgozik főállásban, akinek az a feladata, hogy az osztályon fekvő betegeket lelkileg felügyelje. Azt én nehezen tudom megítélni, hogy a fizika ismerete vagy nem

ismerete a betegeket hogyan befolyásolja, csak vannak erről gondolataim. Azt gondolom, hogy ha egy intelligens ember rendelkezik fizikai ismeretekkel, akkor nyilván reálisan el tudja helyezni ezt a problémát az ő életében. Inkább biológiai, élettani ismeretekre van szükség. A betegek sokszor kérdezik, hogy van az, hogy a sugárzás kölcsön hat a rákos sejtekkel, de az egészségesekkel nem. Ez így nem is igaz. Különböző trükkök kellene ahhoz, hogy a tumorban létrejöjjön a hatás, a tumor környékén, az egészséges szerveket pedig megóvjuk. Az alapvető megoldás az, hogy ha valahol egy nagy térfogatban középen van egy kisebb, amit be akarunk sugározni, akkor nyilván nem egy irányból sugarazzuk a tumort, hanem több irányból célozzuk meg. Így a céltérfogatban összegződnek az egyes hatások, míg az odavezető úton mindig csak egy mező hatása érvényesül, ami alkalmas tervezéssel elérhető.

Ön szerint egy középiskolás diáknak mennyit kell ismerni az egészségügyi vizsgálatok fizikai hátteréről? Konkrét példát is mondana?

Azzal nem árt tisztába lenni, hogy az alapvető diagnosztikai eljárások, röntgen, CT, stb. során a szervezetet érik bizonyos sugárterhelések. Vannak előírt kontrollok, például tüdővizsgálat, mammográfiás vizsgálat. Nyugodtan lehetne beszélni a röntgensövekről, optikában lehetne tanítani a röntgenképet. Tulajdonképpen a filmen a röntgenkép egy optikai eredmény. Milyen kép a röntgenkép? A röntgenkép egy árnyékkép. A fényforrás útjába teszünk egy nem átlátszó tárgyat, akkor az ernyőn egy árnyékot kapok. Lehetne itt beszélni a pontszerű és a kiterjedt fényforrásról. Az a tapasztalatom, hogy elsősorban középiskolai szinten a gyakorlati vonatkozások egyrészt a probléma megértését segítik, másrészt esetleg a probléma megszeretését is. Ha valakit érdekel a probléma, akkor figyelme a fizikára is terelődik.

6.3. Módszertani ajánlások

Hőmérőzés: Folyadékok hőtágulása, kapillárisok, térfogati hőtágulás, sűrűség hőmérséklettől való függése, szűk csőben az emelkedési magasság, felületi feszültség.

Pulzus mérése: nyomás, periodicitás, munka.

Vérnyomásmérés: nyomás, kapillárisok, hőtágulás.

Endoszkópia: fényforrás, száloptika, fényvezetés, fényvisszaverődés.

EKG: elektromos áram, potenciálkülönbség.

EEG: potenciálváltozás, elektromos aktivitás.

Mofetta: diffúzió, radioaktivitás.

Kontaktlencse: látás és hibái, fénytörés, fókusz, görbület, képképzés, dioptria, diffúzió, UV-sugárzás.

Lézer: fénynyaláb, emisszió, abszorpció, optikai erősítő, fényintenzitás, terjedési irány, hullámhossz, rezgési fázis, rezgési sík, koherens nyaláb, száloptika, szóró-, és gyűjtőlencse.

Pacemaker: elektromos impulzus, áramforrás, frekvencia

Röntgen: elektromágneses színekép, katódsugárcső, kisülés, fluoreszkálás, áthatolóképesség, elnyelődés, radioaktivitás, sugárveszély.

CT: lásd röntgen.

Ultrahang: hanghullámok, frekvencia, visszaverődés, áthatolás, törés, elhajlás, szóródás, piezoelektromos és a reciprok piezoelektromos effektus, kristályok, mechanikai rezgés, visszhang.

MRI: mágneses erőtér, rezonancia, dipólus, paramágnesesség, ferromágnesesség, gammasugárzás, izotóp.

PET: radioaktivitás, felezési idő, dózis, szcintilláció, detektor, elektronsokszorozó, ciklotron.

VEP: elektród, potenciál.

Zárógondolatok

A orvostudományban alkalmazott eszközök hosszú sorából terjedelmi okok miatt ennyi fért dolgozatomba. Példákat, melyekkel segíthetjük a középiskolai fizika tananyagának megértését, megszeretését a diákok számára, még bőven lehetne mutatni. Ki lehetne egészíteni az eddig leírtakat még számos terápiás és diagnosztikában felhasznált eszközzel, eljárással, de a téma pótolható biofizikai, kémiai és technikai ismeretekkel, érdekességekkel.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Regöly-Mérei Gyula: Akik legyőzték a betegségeket. Medicina Könyvkiadó, Budapest 1963
- [2] Hollán Zsuzsa - Szász Ilma: A fizika és orvostudomány kölcsönhatása. Fizikai Szemle, 1984/2
- [3] Dr. Bokor Nándor - Általános ápolástan-gondozástan 2. Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest 1993
- [4] www.patikatukor.hu Letöltve: 2005.02.10., 03.13.
- [5] www.hazipatika.com Letöltve: 2005.03.17.
- [6] www.sulinet.hu Letöltve: 2005.01.12.
- [7] www.pirula.net/kivizsgalas/E/ekg.htm Letöltve: 2005.02.21.
- [8] <http://mindenkinek.medicentrum.hu> Letöltve: 2005.03.17.
- [9] www.dnr.hu/teistudtud/szojegyzek Letöltve: 2005.03.17.
- [10] www.drinfo.eszcsm.hu Letöltve: 2005.02.21.
- [11] www.patikamagazin.hu Letöltve: 2005.03.17., 04.02.
- [12] www.gps.hu Letöltve: 2005.01.12.
- [13] www.kfki.hu/chemonet/TermVil/kulonsz/k001/adam.html
Ádám György: Agykutatás: múlt és jövő Letöltve: 2005.01.30.
- [14] Dr. Berend Mihály - Gömör András - Dr. Szerényi Gábor: Biológia IV. Akadémiai Kiadó, Budapest 1996
- [15] www.matrainfo.hu/gyogyi/mofetta.htm Letöltve: 2005.04.20.
- [16] www.kronika.mata.v.hu Letöltve: 2005.04.20.
- [17] Dr. Budó Ágoston - Dr. Mátrai Tibor: Kísérleti fizika III. kötet. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1999
- [18] www.mindentudas.hu Bor Zsolt: A mindentudó fénysugár: a lézer. Letöltve: 2005.03.17
- [19] Radnóti Katalin: A lézer-Fakultatív modul a gimnáziumok IV. osztálya számára, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984
- [20] Dr. Bokor Nándor: Belgyógyászati szakápolástan. Medicina Könyvkiadó Rt. Budapest, 1997
- [21] Trón Lajos: Pozitron Emissziós Tomográfia (PET) - nagy érzékenységű képalkotó eljárás élő rendszerek funkcionális vizsgálatára. Fizikai Szemle 1995/5

- [22] Koch Ferenc: Wilhelm Conrad Röntgen. Firka 1994-95/5-6
- [23] Farkas Anna: Röntgensugárzás. Firka 1994-95/4
- [24] Medical Physics: Imaging. CD
- [25] www.babanet.hu/ultrahang Letöltve: 2005.04.20.
- [26] Lékó Eta: Az ultrahang történetének rövid áttekintése. Elixír, 2004. május 4.
- [27] www.labinfo.hu Lőrincz Attila: Az aktív ultrahang alkalmazása napjainkban. Letöltve: 2005.01.30.
- [28] www.szuleteshete.hu Letöltve: 2005.01.30.
- [29] www.medlist.com Dr. Halas József: Az ultrahang-diagnosztika jelentősége a háziorvosi gyakorlatban Letöltve:2005.01.30.
- [30] www.optika.hu Dr. Balsay Zoltán: Ultrahang diagnosztika a szemészetben Letöltve: 2005.01.30.
- [31] Németh, János. Szemészeti ultrahang-diagnosztika és biometria. Budapest. Nyctalus Orvosi Kiadó, 1996.
- [32] www.rollo.hu/ultrahang Ultrahanggal vizsgálható szervek Letöltve: 2005.04.20.
- [33] www.bugatpal.axelero.net Letöltve: 2005.04.20.
- [34] www.sulinet.hu Dr. Jarosievitz Beáta: Hogy működik az MRI? Letöltve: 2005.05.04.
- [35] www.mindentudas.hu/jeki/index.html Jéki László: Sugárözönben élünk Letöltve: 2005.03.11.
- [36] www.schering.hu Az idegrendszer működéséről, a sclerosis multiplexről és kezeléséről Letöltve: 2005.01.30.
- [37] www.kfki.hu Martos János-Zaránd Pál: Forradalmi változás az orvosi képi diagnosztikában Letöltve: 2005.03.11.

Alulírott Sáli Ágnes, matematika-fizika szakos hallgató, kijelentem, hogy a diplomadolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy szakdolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

Sáli Ágnes

2005. május 9.