

## ORVOSI KÉPALKOTÓ ELJÁRÁSOK I.

Faigel Gyula  
MTA SZFKI

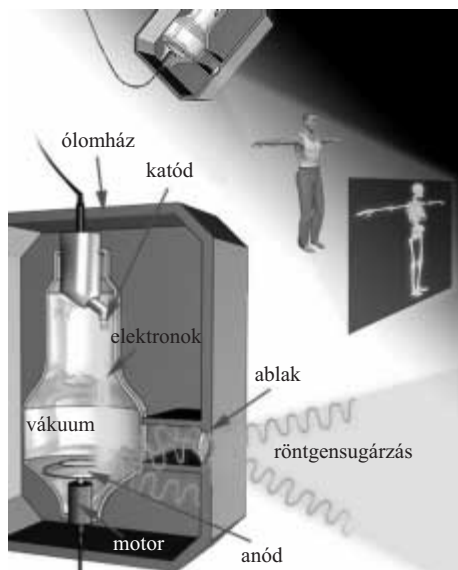
Hétköznapi életünkben gyakran találkozunk orvosi képalkotó eljárásokkal. A legelterjedtebbek a röntgenfelvételek és ultrahangos vizsgálatok. Az utóbbi években azonban több más eljárás is egyre szélesebb alkalmazást nyer. Ezek között említhetjük a különböző tomografikus eljárásokat, mint például a röntgen- vagy pozitronemissziós tomográfiát vagy legújabban a magmágneses rezonancia segítségével való képalkotást. Sokakban felmerülhet a kérdés, mi ezen eljárások fizikai alapja. Erre szeretnénk választ adni a következőkben. Mivel a fent említett eljárások eléggé különböző elveken alapulnak, és a gyakorlati megvalósításuk is igen eltérő, nem tudjuk egy cikk keretében tárgyalni mindet. Ezért három részre bontva próbáljuk leírni ezek működését.

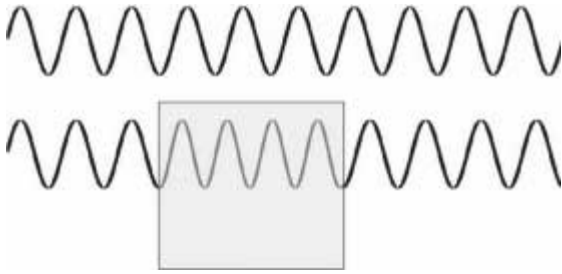
Az első részben a röntgensugárzás segítségével történő képalkotást fogjuk ismertetni, ezen belül is a hagyományos röntgenfelvételek alapjait. A tomografikus eljárásokról általában és ezek között a röntgen-tomográfiáról a következő részben lesz szó. Végül, az utolsó cikkben az ultrahangos vizsgálatok kérdéskörével ismerkedhetünk meg.

Tehát hogyan lehetséges röntgensugárzással a tüdőről, a csontokról vagy éppen a fogakról képet készíteni? Ezt legegyszerűbben talán egy hétköznapi példa segítségével érthetjük meg. Ehhez a mindenki számára jól ismert látható fényt használjuk. A fény olyan elektromágneses hullám, amelynek hullámhossza 0,5 mikrométer körül van. Ezeknek a hullámoknak már a nevéből is kitűnik, hogy elektromágneses kölcsönhatásba lépnek a töltött részecskéikkel, úgymint protonokkal, elektronokkal, illetve az ezekből és neutronokból álló atomokkal. E kölcsönhatás eredményeként az eredeti hullám módosul. Vegyük például

azt az esetet, amikor egy pontszerű fényforrástól bizonyos távolságban helyezünk el egy fémlapot, majd attól még távolabb egy ernyőt. Az ernyőn megjelenik a fémlap árnyéka. A fény igen erősen kölcsönhat a fémlappal: elnyelődik, illetve visszaverődik róla, de nem jut keresztül rajta. Ha most a fémlapot kicseréljük egy homályos üvegdarabra, akkor ennek árnyéka is látható, de már nem lesz teljesen sötét. Ha néhány karcolás vagy egyéb hiba van az üvegdarabon, akkor ezek is megjelennek az ernyőn. Tehát fénnel egy kissé átlátszó test belső szerkezetét (az abban lévő optikai inhomogenitásokat) vizsgálhatjuk. A röntgensugárzás is elektromágneses sugárzás, de ennek hullámhossza sokkal kisebb a fényénél, az Ångström ( $10^{-10}$  m) tartományban van. Ennek megfelelően kölcsönhatása is különbözik a fény–anyag kölcsönhatástól. Általánosságban nagyobb az áthatolóképessége, mint a fényé. Az anyagok nagy többsége úgy viselkedik a röntgensugárzás számára, mint a fény számára a homályos üveglap. A hullámból valamennyi elnyelődik, a többi áthalad a tárgyon. Az elnyelődés mértéke az anyagban a térfogategységként található elektronok számától függ, vagyis attól, hogy milyen atomokból épül fel az anyag és ezek milyen sűrűn helyezkednek el. Tehát ha a vizsgált minta inhomogén, azaz változik benne az összetétel vagy a sűrűség, ezt hasonlóan a homályos „hibás” üveglap esetéhez árnykép-ként leképezhetjük. Mivel szerveink különböző anyagokból épülnek fel, és az anyagsűrűség eloszlása is igen változatos testünkben, a röntgensugárzás alkalmas ennek vizsgálatára. A következőkben röviden a röntgenfelvételeknél használt eszközökről szólnunk. Szükségünk van egy röntgensugárzást kibocsátó forrásra és egy érzékelő felületre, ernyőre. A forrás működése két folyamaton alapul: 1. gyorsuló töltések elektromágneses sugárzást bocsátanak ki, 2. nagyenergiájú elektronok kiüthetik az anyag atomjain erősen kötött elektronokat, és az így gerjesztett állapotban maradt atom fölösleges energiáját egy röntgenfoton kibocsátásával adja le. Ezeket a folyamatokat úgy érthetjük el, hogy elektronokat gyorsítunk két fémelektroda közé kapcsolt nagyfeszültséggel. A negatív katód felől érkező elektronok nagy energiával csapódnak a pozitív anódba. Itt az atomokkal való kölcsönhatás során hirtelen lelassulnak, illetve elektronokat ütnek ki, és eközben röntgensugárzást bocsátanak ki. Az anódban a fékezés hatására keletkező hő vízhűtéssel vezetjük el, illetve a hűtést még azzal is elő lehet segíteni, hogy az anód forgatásával mindig új hideg felületet juttatunk az elektronok útjába. A röntgenszó felépítését az 1. ábra mutatja vázlatosan. A röntgensugarak érzékelésére többféle lehetőség van. A legrégebbi módszer a fényképezőgépekben alkalmazott filmekhez hasonló érzékelő felületet használ. Még ma is ez a technika a legelterjedtebb. Egy sokkal gyorsabb, de pontatlanabb és nagyobb sugárterhelést okozó mód a fluo-

1. ábra. Röntgenszó vázlatos felépítése

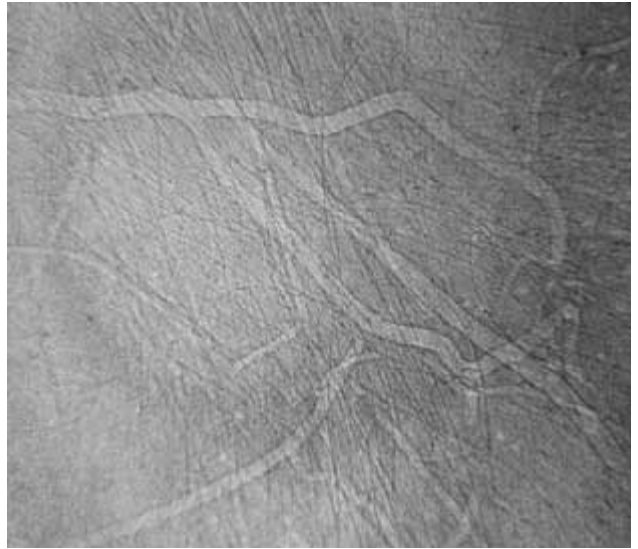




2. ábra. Egy testre eső hullám anyagon való áthaladása közben változik a fázisa a nem kölcsönható hullám fázisához viszonyítva. Így ha egy referenciahullámmal összeadjuk a testen áthaladt hullámot, a test éleinél éles változást tapasztalunk az intenzitásában.

reszcens ernyő használata. Ekkor közvetlenül (előhívás nélkül), szabad szemmel láthatja az orvos a vizsgált területet. A fluoreszcens ernyő olyan anyagot tartalmaz (például ZnS-ot), amely röntgensugárzás hatására a látható fény tartományába eső fotonokat bocsát ki. A kibocsátott fotonok száma arányos a beeső röntgensugárzás erősségével, így az ernyőn megjelenik az árnykép. Azonban a szabad szemmel való érzékeléshez viszonylag nagy intenzitású röntgennyalábot kell használni. Ezért ezt a vizsgálati módszert csak a feltétlenül szükséges esetekben használják. A digitális eszközök és fotonszámoló detektorok fejlődésének köszönhetően ma már lehetséges a röntgenfelvétel közvetlen számítógépbe történő felvétele. Az ilyen rendszerekben egy kétdimenziós helyzetérzékeny fotondetektor van a film helyett, ami azt jelenti, hogy a detektor egy impulzust ad ki, amikor egy foton beérkezik, és emellett még azt is megadja, hogy a foton a detektor melyik pontjára érkezett. Ezt számítógépben tároljuk, és a kép így bármikor megjeleníthető. Ezek a berendezések ma még nagyon költségesek, és felbontásuk nem éri el a hagyományos film felbontását. Viszont az ilyen felvételek kisebb sugárterheléssel járnak. Ilyen berendezéseket ma még nagyon kevés helyen találunk.

Végül szeretnénk megemlíteni néhány az alapeljárást kiegészítő speciális módszert. Az első a kontrasztanyag használata. Bár a szervek között van különbség az összetételben, illetve sűrűségben, de ez néha nem elég ahhoz, hogy megfelelően részletes képet kapjunk. Ilyenkor növelhetjük a kontrasztot, ha olyan anyagot juttatunk a vizsgálni kívánt szervbe, amely erősen elnyeli a röntgensugárzást. A leggyorsabb példa erre az érrendszer vizsgálata. Ekkor a



3. ábra. Patkány fülében található finom érhálózat röntgenfáziskontraszt-módszerrel készült leképezése.

véráramba juttatva valamilyen nehéz elemet (leggyakrabban valamilyen báriumvegyületet szokásos használni) sokkal jobban kiemelkedik a képből az érhálózat.

Az érzékenység növelésének egy másik lehetséges útja a fáziskontraszt-leképezés. Ennek lényege, hogy kihasználja a röntgensugárzás hullámtermészetét. Amikor egy ilyen sugárzás az anyagon áthalad, nemcsak a hullám nagysága, hanem fázisa is megváltozik (2. ábra). Gyakori eset, amikor a különböző testrészeken áthaladva a hullám nagysága csak kicsit, míg fázisa jelentősen módosul. Ilyenkor a hagyományos, csak abszorpción alapuló módszerrel nem kapunk jól értékelhető képet. Ugyanakkor a fázist, amelynek a változása nagyobb, kis trükkkel megmérhetjük. Ennek lényege, hogy nem a hullám *abszolút* fázisát, hanem egy másik hullámhoz viszonyított *relatív* változását mérjük. Ebben az esetben éles határvonalakként tűnnek fel mindazon területek, ahol a fázis változik. Tehát a különböző részek határait felerősítve látjuk. Ezzel a módszerrel a térbeli felbontás is növelhető a hagyományos abszorpción alapuló technikával szemben. Példaként egy patkány fülében lévő finom érhálózatot mutatjuk (3. ábra). Megjegyezzük, hogy ez a technika csak nagyon kevés helyen, és jelenleg elsősorban még csak a kutatás szintjén áll rendelkezésre.

## A FIZIKA VILÁGÉVE HÍREI

# AZ EURÓPAI FIZIKAI TÁRSULAT PROGRAMJAI

Az 1968-ban megalakult Európai Fizikai Társulat (*European Physical Society*, EPS) elsősorban az európai nemzeti fizikai társulatok szövetsége, és így több mint 70 000 fizikust és fizikatanárt tömörít Európa szinte valamennyi or-

szágából. Az EPS alapító tagjai közé tartozik az Eötvös Loránd Fizikai Társulat is. Az EPS a Fizika Világéve 2005 (*World Year of Physics*, WYP2005) program egyik kezdeményezője és talán legaktívabb résztvevője.