

Tisztaban vagyok azzal, hogy a fejlett világ számára a mi száznegyven évig való életünk nagyobb pénzmozgósító erő, de a tízmilliárd ember víziója nekem más lözöngöt, súlypontot sugall – igaz, lehet, hogy a kutatási tematika ugyanaz, vagy ahhoz közeli.

Ennek két egyszerű, bár inkább lélegzethez jutásnak tekintendő eredményről kell szólnom. Az 1980-as évek elején zárult sikerrel az az EUREKA-program, amely – kétszázmillió akkori ECU-ból – megépített egy „egyliteres gépkocsit”, azaz, amely 100 km/h sebességgel haladva, 100 km-en 1 l üzemanyagot fogyaszt. Az már társadalmi kérdés, hogy – mondjuk – a 2–3 l-es mikor válik szériakocsivá. Az ebben a projektben is szerepet kapott magas hőmérsékletet elviselő fémkerámiaik mást is lehetővé tettek: a 60%-nál jobb termikus hatásfokú gázturbinák, azaz a Carnot-hatásfokot jobban megközelítő ciklusú hőerőgépek kifejlesztését. Ezek biztosan adnak lélegzetvételnél is időt, hogy milyen legyen, illetve lehet a közlekedés, ha már tízmilliárdan leszünk... Ezek a találmányok az energiaigény-görbének a telítődésbe hajlását is szolgálják.

Itt kell megemlíteni a szakterületen kibontakozó két „forradalmat”: az érzékelők-beavatkozók forradalma az egyik, a világításé a másik.

Kezdjük a világítással. Nem igényel bizonyítást, hogy az emberiség pazarlóan világít. Sok ötlet ismeretes, de a fehéren világító diódából (LED) – mivel csak a láthatóan sugároz – 5 W elegendő egy gépkocsi reflektorába. Vagy az organikus félvezető LED (OLED) a következő csoda, amely sugárzó falfestékként is használható? Vagy a szinte hihetetlen, ismét csak az optika csodája, amely az izzólámpát különleges, wolframrudakból álló háromdimenziós fotonikus kristállyal<sup>7</sup> venné körül, és a hőszugárzás jelentős részét fényre konvertálva, jelentős hatásfokemlést érne el [4] – megmentve ezzel az izzólámpát?

Mit is értünk az érzékelők-beavatkozók szimbiózisán? Az érzékelők – mint aktív, funkcionális elemek, anyagok – hivatottak kielégíteni a számítástechnika és az adatforgalom adatéhségét, azaz megadni annak a joysticknak, vagy a

<sup>7</sup> A fotonikus kristályok (*photonic crystal*, vagy *photonic bandgap* anyagok) olyan háromdimenziós szabályosan lyukacsos/„átlátszó” (?) szerkezetek, amelyeken – a bennük létrejövő interferencia révén – bizonyos hullámhosszak nem képesek áthaladni. Az élővilágban az irizáló, gyöngyházfényű állatok színét rendszerint ez a hatás okozza.

virtuális valóságon túli értelmét: a tízmilliárd emberrel megrakott Föld életesélyét. Ma már az egész környezetünk kiokosítása a kutatási cél. A mindent mérni, szabályozni ma perspektivikus formájának *Ambience intelligence* nevet adtak. Ez arról szól, hogy minden tele van szórva intelligens, a gépeinkkel kommunikálni képes mérő-jelző, akár csak porszemnyi autonóm eszközökkel, amelyek egyike-másika (kon)föderatív módon be is avatkozik a világunk irányításába – az élő szervezet modellje szerint.

Szívesen leközlöm időnként azt a táblázatot, amely iparáganként és anyagcsaládonként mutatja be az élvonalbeli anyagkutatásokat (*2. táblázat*) – bemutatva, hogy vannak, lesznek eszközeink mindezen terv megvalósítására. Itt lenne az ideje, hogy rákerüljenek a táblázatra az anyagcsaládok sorai közé az élő vagy biomimetic anyagok...

Igaz, az a világ aligha lesz könnyen élhető, de legalább a humánus esély megmarad a homo sapiensnek. Köztudott, hogy 2050-re a fejlődő országok fajlagos energiafogyasztása eléri a mai OECD-szintet. Az *IEEE Spectrum* 2004. októberi száma írja a kínai fejlődésről, hogy ott ma is a szén a főszereplő... Jaj! Valami olyasmit kell, még komplexebbül megismételni, mint a korábbi olajválságok idején, illetve után. Valami fényt jelent az alagút végén, hogy a DOE szerint 1 dollár GDP megtermeléséhez szükséges energia az USA-ban évi 6%-kal csökken. Tehát megindultunk. A század végéig talán még van lehetőségünk...

És ha Magyarország ott akar lenni az élbolyban, akkor az ír modellnek csak a második felét szabad, kell lemásolnunk... Az első tizenöt évet, a gazdasági romlásához vezetőt, az EU-pénzeket elpocsékolót, semmiképp.

A régi viccel: „ДумаЙ, Сержа!”...

## Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom mind *Dr. Wolfgang Höhnlein*nek (Infineon), mind *Prof. Dave N. Jamieson*nak, tagtársamnak a Böhmsche Physical Society-ben (Melbourne-i Egyetem, Centre for Quantum Computer, Ausztrália), hogy készségesen hozzájárultak eredményeiknek felhasználásához.

## Hivatkozások

1. J.E. LILIENFELD – US Patent No. 1,745,175; 1,877,140; 1,900,018.
2. H. WELKER – Deutsches Patentamt, No. 980084.; *H.F. Mataréval* együtt *H. Welker* 1954-ben, de 1948-as franciaországi elsőbbségi igénnyel, az USA-ban is bejelentette a tús tranzisztort, illetve az azzal konstruálható erősítőt, US Patent No. 2,673,948.
3. J.S. KILBY – US Patent No.; R.N. NOYCE – US Patent 2,981,877
4. J.G. FLEMING, S.Y. LIN, I. EL-KADY, R. BISWAS, K.M. HO – Nature, 417 (2002) 52

# FIZIKA AZ ORVOSLÁSBAN

Köteles György

„Fodor József” Országos Közegészségügyi Központ  
Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézete

## Közös kezdetek

Physica–physicus–medicina: a gyökerek azonosak. Crômagnoni örökségünk a környezet megismerésének kényeszerű kívánsága – a fennmaradásért, „túlélésért”. Az *Oxford Dictionary*-ban a modern *physics*, *physical science* a termé-

zet erőinek és jelenségeinek megismerésével foglalkozik, amelyek nem élők. De a *physician* mint régi elnevezés az orvost jelenti a *physicist*tal, a fizikussal szemben.

Az ókori és középkori tudományoknak nem volt szorosan a mai értelemben vett jelentésük. Az akkori „grammatika” felölelte a stilszintikát és az irodalomtudományt, a „dia-

## Néhány adat a fizikai ismeretek felhasználásáról a korai orvosi tevékenységben

kb. 400 i.e.	<i>Hippokratész az ésszerű</i> (racionális) orvoslás iskoláját alapítja meg.
IX–XIII. sz.	A középkori arab orvostan ( <i>Averroes, Avicenna, Maimonides</i> ) összekötő láncszem az ókori és latin középkori kultúra között. Az araboknak igen pontos mérlegeik voltak, ingát használtak időmérésre, piknometerral határozták meg a fajsúlyt, gépeket és vízi motorokat építettek a homorú, domború, gömb alakú és hengeres tükrök hatását tanulmányozva, kibővítették a fénytanban a sugárviszaverődés tanát.
kb. 1267	<i>R. Bacon</i> leírja a kb. 1250-ben feltalált szemüveg használatát a távollátás javítására.
XVII. sz.	<i>A. Leewenhoek</i> mikroszkópot szerkesztett, s megfigyelt ázálékállatkákat, emberi ondszálakat. Magyarországon <i>Paterson Hain János</i> (XVII. század második felében) eperjesi városi orvos végzett először (1671) mikroszkópos vizsgálatokat bolhán, légyen, mikroszkópját ő maga szerkesztette.
1733	<i>S. Hales</i> a vérnyomás mérésére vonatkozó vizsgálatairól ír.
1761	<i>G. Auenbrugger</i> a mellkas kopogtatását írja le a tüdő állapotának akusztikus vizsgálatára.
1819	<i>R. Laennec</i> feltalálja a sztetoszkópot a mellkasban képződő hangok észlelésére.
1847	<i>Semmelweis Ignác</i> epidemiológiai, egészségügyi statisztikai módszert alkalmaz a gyermekágyi láz okának feltárására.
1851	<i>H. van Helmboltz</i> feltalálja az első eredményes oftalmoszkópot a szem vizsgálatára.
1861	<i>C. Wunderlich</i> megállapítja a normális testhőmérsékletet.
1866	<i>Tb. Allbutt</i> feltalálja a klinikai hőmérőt.
1881	<i>S.S. von Basch</i> leírja a szfigmomanómetert, az első olyan műszert, amellyel vérnyomást lehet mérni a bőr sérülése nélkül.

lektika” a logikát, a „retorika” a jogtudományt, a „geometria” a földrajzot, természetrajzot és az orvostudományt is.

Valamivel később használatos lett a *physica* elnevezés is: ezzel illették a *quadrivium*ba tartozó valamennyi tudományt (az aritmetikát, geometriát, asztronómiát, zenét) és velük együtt természetesen az orvostudományt is. És amint egy ideig a geometer névbe belefoglalták az orvosokat, úgy valamivel később a *physicus* nevet adták nekik, nyilvánvalóan szintén azért, mert éppúgy, mint a geometriában, úgy a „physicá”-ban (ti. a természetről szóló tudományban) is mindig túlsúlyban volt az orvostudomány, anyagának tömegénél, a vele való foglalkozók tekintélyénél, valamint gyakorlati értékénél fogva.

*Pápai Páriz Ferenc* nagy szótárában a „physica” a természetről írt könyveket jelenti, a „physicus” a természetet vizsgáló; a régi magyarországi szóhasználatban is a *physicus* orvost jelentett. A lényeg tehát a „physis”, a természet, az élettelen és az élővilág, beleértve az ember tanulmányozását, megismerését. S ez a két út párhuzamosan futott, egymásra is hatottak és ma is hatnak.

A beteg ember nyomorult, szenved, az orvos feladata, hogy segítsen. Így az orvosi tudomány mindig kora ismereteire alapozva igyekezett új és új kórismérési módszereket (diagnosztika) és gyógyító eljárásokat (terápia) alkalmazni. Így volt ez a civilizáció előtti kultúrákban, a varázsló, a tál-tos, a sámán, a javasasszony idejében éppúgy, mint az érzékelhető világról szóló tudás (fizika) kialakulása során.

Amikor tehát a fizika hozzájárulását kívánjuk vázolni az orvostudományhoz, akkor a fizika történetében a mindenkor felismerések alkalmazását vehetjük leltárba. A leltár természetesen koronként változik, bővül.

A fizika mint természettudomány (*natural science*-nek is hívták) bővülése során néhány fontos elv tudatosodott a mindenkor orvosokban is, nevezetesen

– a természet egészséges és kóros jelenségeinek *megfigyelésére kell alapozni* tevékenységüket,

– igyekezni kell az egészséges és a kóros közötti különbségeket *kvantifikálni*, azaz *mérni kell*, például a testsúlyt, hőmérsékletet, pulzust, majd a vérnyomást, látásélességet s így tovább egészen a szervek működése elektronikus ellenőrzéséig, a szervezetbe való beelátásig, a képpalkotó eljárásokig.

– Mindehhez eszközöket, műszereket kell fejleszteni.

– A fizikai jelenségek feltárása mint az anyag és energia megismerésének forrása számos biológiai–orvosi ismeret, tünet, folyamat értelmezését segíti.

Ma már arra a kérdésre, hogy mit adott a fizika az orvostudománynak, jelen kereteink között csak igen nagy ívű vázlatot lehet adni. Néhány példa a kultúrtörténetből, művelődéstörténetből rávilágít az egyes korok vonatkozásában a fizikatudomány alkalmazásaira.

Az 1. táblázatban néhány régi példa azt jelzi, hogy a fizika ma is ismert fő területeinek alkalmazásai – optika, hangtan, mechanika – korán szerepet kaptak az orvoslásban. De később is látjuk – például a sugárzások fizikája, az atomfizika megszületése után –, hogy a mindenkor fizikai ismeretek behatoltak az orvosi tevékenységbe. A fizika és az orvostudomány történetének tanulmányozása régen is, ma is az egyik legizgalmasabb kultúrtörténeti kalandozás.

1. ábra. Szemüveg 1375-ből [18]



## A modern fizikai felfedezések: az orvostudomány mérföldkövei

1895. november 8.	<i>Wilhelm Conrad Röntgen</i> würzburgi fizikaprofesszor felfedezi az X-sugarakat. „A XIX. század végén a fizikusok különös érdeklődéssel tanulmányozták az elektromos kisüléseket ritkított gázokban. A katódsugarakat a légritkított kisülési csőből először hazánkfiának, <i>Lénárd Fülöp</i> nek sikerült a szabad levegőre kihoznia. A kisülési cső üvegfalát <i>Lénárd</i> a megfelelő helyen átfúrta, és a nyílást olyan vékony alumíniumlemezzel fedte be, amelyen a nagy sebességű elektronok át tudtak hatolni. Röntgennek szokása volt mások kísérleteit, amelyek érdemes felfedezésre vezettek, megismételni. Ezért olyan kisülési csövet készített, amelyet <i>Lénárd</i> használt, sőt ilyet <i>Lénárd</i> -tól is kapott. 1895. november 8-án este, sötét laboratóriumában, kísérletezés közben észrevette, hogy a fekete kartonba burkolt kisülési cső közelében lévő bárium-platincianür ( $BaPt(CN)_6$ ) ernyő, valahányszor bekapcsolta kisülési csövet, zöldes fényben kezdett el fluoreszkálni. Ekkor a cső és ernyő közé deszkát, majd könyvet helyezett. Meglepetésére a zöldes fény csak gyengült, de nem szűnt meg, amint ez katódsugárzás esetében várható lett volna. Kezét helyezve az ernyő elé, megpillantotta kézcsontjainak „árnyékképét.” [4] Röntgen 1901-ben az első fizikai Nobel-díjas lett.
1896. január	Már 1896-ban, Röntgen első nyilvános előadása előtt <i>Klupathy Jenő</i> budapesti tudományegyetemi tanár és <i>Eötvös Loránd</i> jó röntgenfelvételt készítettek Eötvös kezéről. 1896 elején <i>Kiss Károly</i> egyetemi tanár a Műegyetemen állított fel egy röntgenkészüléket, majd tanműhelyét fokozatosan röntgenlaboratóriummá fejlesztette tovább.
1896. január 19.	<i>Hógyes Endre</i> az <i>Orvosi Hetülap – A hazai és külföldi gyógyászat és Kórbúvárlás Közönyében</i> felveti a sugarak biológiai hatékonyságának és orvosi terápiás hasznosításának lehetőségét: „Nem lehetetlen, hogy ezen új sugaraknak, melyeknek mechanikai tekintetben oly hatalmas szövet penetráló hatásuk van, a mellett kétségen kívül kémiai tekintetben is batnak, terapeutikai tekintetben is szerepük fog lenni a medikában.”
1896	<i>Wartba Vince</i> első közlése az X-sugarakról a <i>Természettudományi Közönyben</i> .
1896. március 1.	<i>Henry Becquerel</i> uránt tartalmazó ércben felfedezi a természetes radioaktivitást.
1898. december 26.	<i>Pierre Curie</i> és <i>Marie Sklodowska-Curie</i> a francia akadémián bejelentik a rádium és polónium felfedezését.
1901.	<i>W. Einthoven</i> kifejleszti az első megbízható elektrokardiográfot a szív elektromos aktivitásának jelzésére.
1902.	<i>A.G. Bell</i> először helyezett tokba rádiumot, hogy azt közvetlenül a testben helyezze el. Rádiumsókat vagy radongázt tűkbe, szemcsékbe vagy gyöngyökbe zárva 1905 óta alkalmaznak közelterápia céljára.
1904	<i>P. Curie</i> 1904-ben maga is megfigyelte, hogy a rosszindulatú daganatokat gyorsabban pusztítja a sugárzás, mint az egészséges szöveteket, ha azokat rádium sugárzásának teszik ki.
1903	<i>Hevesy György F. Paneth</i> -tel felfedezi a radioaktív nyomjelzéses technika lehetőségét, 1934-ben a nyomjelzéses technika „in vivo” módját.
1928	A II. Nemzetközi Radiológiai Kongresszus Stockholmban létrehozta az első nemzetközi sugárvédelmi szervezetet <i>International Committee on X-ray and Radium Protection</i> néven, melyet 1950 óta neveznek <i>International Commission on Radiological Protection – ICRP</i> -nek, Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottságnak.
1934	<i>F. Joliot-Curie</i> és <i>Irene Curie</i> felfedezi a mesterséges radioaktivitást.
1936	Budapesten megnyílik az Eötvös Loránd Rádium és Röntgen Intézet. 1937 óta az intézmény sugárfizikusa <i>Bozóky László</i> volt, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportjának alapítója és tiszteletbeli elnöke.
1944	<i>W. Kolff</i> kifejleszti az első vesedializáló készüléket.
1959	<i>I. Donald</i> ultrahangot használ a magzat vizsgálatára.
1960	<i>W. Greatbatch</i> szabadalmat jelent be a szív működést szabályozó pacemakerre.
1962	Először alkalmaznak lézeres szemsebészetet.
1972	<i>G.N. Hounsfield</i> kifejleszti a számítógépes rétegfelvételezés technikáját. Ezt hamarosan követi a mágnesesrezonancia-képzés és pozitronemissziós rétegfelvételezés.
1976	Az illetékes nemzetközi szervezetek, az ICRP (ICRP 26, 1977) és az ICRU (ICRU 33, 1980) kezdeményezésére egyes dozimetriai egységek elnevezésére bevezetik a gray és a sievert elnevezéseket. <i>L.H. Gray</i> , angol sugárbiológus jelentős kutatásokat folytatott a sugárterápia tudományos megalapozása, az oxigénhatás, a sugárzások dozimetriája területén. <i>R.M. Sievert</i> , svéd sugárfizikus és sugárvédelmi szakember jelentős munkát folytatott a sugárterápia dozimetriájában és mérés technikájában.

## A nagy áttörések: modern mérföldkövek

A fizikai módszerek robbanásszerű bevonulása az orvoslásba az 1895–1896-os évek néhány hónapján belül tett két óriási felfedezést követően történt, nevezetesen *Röntgen* felfedezése az X-sugárzásról, másrészt *Becquerel* felfedezése a természetes radioaktivitásról. Érdekes meg-

jegyezni, hogy a nagy fizikusok, például Röntgen és *Curie*-ék, felfedezéseiket követően elsőként arra gondoltak, hogy az új felismerések, az azokból származó technológiák az emberiség javára válnak a betegségek felismerésében és gyógyításában. A fizikai diadalmenet néhány állomását a 2. táblázat mutatja be.

Az orvosi műszerek fejlesztésében a fizikai és mérnöki ismereteknek egyedülálló szerepe van. A szó legszoro-



2. ábra. Röntgensövek, amelyekkel Röntgen dolgozott [14]

sabb értelmében is a *leglátványosabb* a képalkotó eljárások rohamos fejlődése, és ma már mondható, sokfélesége. Az eljárások alkalmazásával bele lehet látni a szervek morfológiai szerkezetébe, sőt ma már működésébe is, elkülönítve ezáltal az egészséges, normál állapotokat a kórosaktól. A képalkotó módszerek fejlődését a berendezések technikai színvonalának fejlődése és a számítástechnikai módszerekkel való kombinálása biztosította. Az eljárások alapelve változó, így a nagy áttöréseknek jelzett felfedezések, a röntgensugárzás és a mesterséges radio-



3. ábra. Emléktábla az Eötvös Loránd Rádium és Röntgen Intézet (később Bakáts-téri Kórház) falán [12]

izotópok felfedezése és előállítása hozta az első sikereket. Ezt követték a korszerű ultrahangvizsgálati módszerek, a mágnesesrezonancia-vizsgálati eljárások, mindezek kombinálása endoszkópos vizsgálatokkal önmagukban is és egymást kiegészítve, az orvostudomány nélkülözhetetlen eszközei. A 3. táblázat néhány fontosabb eljárás lexicuszerű rövid felsorolását adja.

Az „atomkori fizika” már eddig elért eredményei, az orvosi izotópdiaosztika és terápia, ciklotrontermékek előállítása alkalmazásával, képalkotó eljárások arzenáljával, vagy a gamma-, illetve neutronsugárzással végzett sebészi beavatkozások, nyilvánvalóan mutatják, hogy mit adott a fizika az orvoslásnak, mondhatjuk az „atomkori orvoslásnak”. S nincs okunk feltételezni, hogy az eljárá-

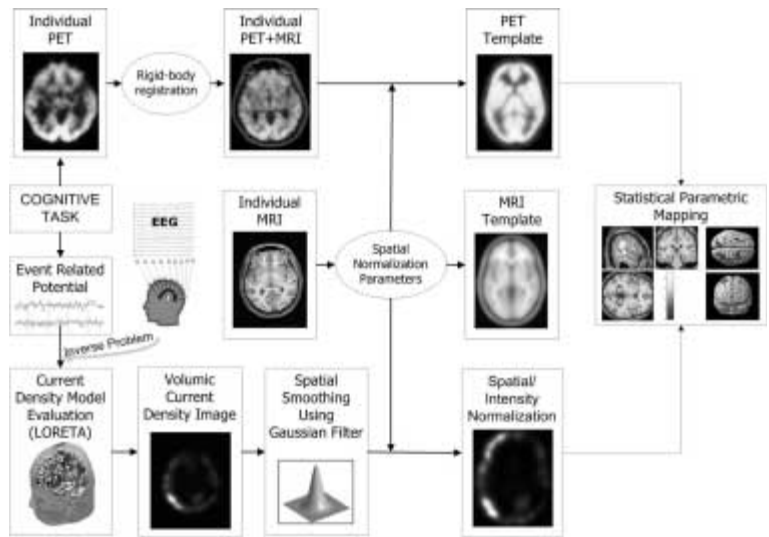
3. táblázat

### A fizikai felismerésekre alapozott egyes korszerű orvosi eljárások

Elektrokardiográfia (EKG)	A szív elektromos aktivitását jelzi, kimutatja például a ritmuszavarokat, és jelzi a szívizom károsodását.
Elektroencefalográfia (EEG)	Az agy elektromos aktivitását jelzi. Számos agyi keringési és egyéb szervi betegségben, az agyhalál kimutatásának fő eszköze.
Endoszkópia	A test belsejébe bocsátott eszközzel, amely két száloptikapályán részben fényt enged a belső terekbe, másrészt visszahozza a látványt a vizsgálóhoz. Használata során gyógyszerek célba juttatásához, elszíváshoz, öblítéshez, kis műszerekkel diagnosztikai minták vételére vagy terápia-céllal is alkalmazzák (biopszia).
Egyfotonemissziós számítógépes rétegfelvételezés ( <i>single photon emission computer tomography</i> , SPECT)	Nagyméretű szcintillációs kristályos gamma-kamerával megfigyelt felvillanások keltése radioizotópok alkalmazásával láthatóvá teszi a véráramlást a kiserekben, leképezi az agyat, olyan betegségeket diagnosztizál, mint például az agyvérzés, epilepszia, schizofrénia, Parkinson-kór.
Termográfia	Infravörös sugárzást mér és mutat ki a szervezet egyes részeinek hőterképezésével, kóros felmelegedés, vagy éppen lehűlés esetén (pl. gyulladások, ill. elhalások).
Ultrahangvizsgálat, szonográfia	Rendszerint 1 MHz tartományban bocsát ultrahang-frekvenciájú hanghullámokat a testbe. A visszhangot számítógépes képalkotó formálja. Jól alkalmazhatók a terhelességi vizsgálatoknál, kiváltotta a röntgenvizsgálatokat, de számos szerv helyzete, mérete, vagy daganata észlelhető általa.
Röntgenvizsgálat	A legrégebbi és legszélesebb körben használt képalkotó eljárás. Számos alkalmazási területei közül az orvosi alkalmazáson belül a számítógépes rétegfelvételezés (Computer tomography) rohamosan terjed, nélkülözhetetlen eljárás. Érdekes megemlíteni, hogy a korszerűség nem jelentett sugárterhelés-csökkenést a beteg számára, hiszen egy-egy vizsgálatnál 10–100 mGy is érheti a beteget.
Orvosi izotópdiaosztika – nukleáris medicina	A megfelelő gamma-sugárzó radioizotópok ( $^{99m}\text{Tc}$ , $^{131}\text{I}$ , radiojóddal jelzett vegyületek, $^{201}\text{Tl}$ , $^{67}\text{Ga}$ ) szervezetbe juttatásával számos szerv vagy éppen daganat helye, nagysága tehető láthatóvá gamma-kamerával.
Pozitronemissziós tomográfia (PET)	Ciklotronnal rövid felezési idejű izotópokat gyártanak, és így válik lehetővé olyan radiofarmakonok (radioaktív izotópokkal jelzett vegyületek) előállítása, például a glukóz, amely daganatok elhelyezkedését jelzi azok fokozott cukorfelvétele révén PET-kamerák segítségével.
Radioizotópos terápia	Radioizotópok bejuttatása a daganathoz és ezáltal közvetlen besugárzása.

sok nem fognak finomodni, érzékenyebbé válni, de azt is érzékelnünk kell, hogy minden új fizikai felfedezés megtalálja útját az orvosi gyakorlathoz. Ezt a tehetséges fizikusok, orvosok, mérnökök segítik, biztosítják.

Az ionizáló sugárzások biztonságos alkalmazásához megfelelő sugárvédelmi ismeretek, szerveződés és szabályok szükségeltetnek. Elsősorban azonban olyan mérőműszerek, amelyek a sugárzás jellegétől függően megfelelően mérik a dózisteljesítményt, szennyezettséget, az ember munkahelyi és környezeti viszonyai között. Magyarországi viszonylatban a sugárvédelem mindig is igyekezett a legkorszerűbb szinten működni, s megfelelni az iparilag fejlett országokban kialakult szintnek.



4. ábra. PET+MRI+EEG komplex vizsgálat

## Fizika a biológiában, orvosi kutatásban

Amikor orvoslásról van szó, bele kell érteni az arra való felkészülést. A fizika szerepének néhány példán való felvillantása egyértelművé teszi, hogy ezt az orvostanhallgatóknak és orvosoknak folyamatosan tanulniuk, alkalmazniuk kell. Egyrészt számos életjelenség fizikai értelmezésében, kutatásában, másrészt mérésében. Az orvosi biofizika mint tudományág és mint tantárgy ezeket a célokat szolgálja. A magyar érdeklődő közönség különösen előnyös helyzetben van, mert igen jó biofizikai könyvek állnak rendelkezésére, mint például *Rontó Györgyi és Tarján Imre A biofizika alapjai* című (tan)könyve, amely immár 10 kiadást ért el. Bemutatásképpen csak néhány a gondolatkör jellemzésére:

- az anyagszerkezet,
- fény- és röntgensugárzás,
- mikroszkópos és szubmikroszkópos módszerek a biológiai struktúrák vizsgálatában,
- orvosi elektronika,
- az ingerületi folyamatok biofizikája,
- a biokibernetika alapjai.

## Sejtések a jövőről

Számos közlemény és futurológiai vízió sejteti, hogy a fizika tudományának fejlődése folytatódik az anyag és energia mélyebb részleteinek megismerésében. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy az eddigi kultúrtörténeti tapasztalatok – például éppen az orvoslás segítségével – a fizikusokat arra fogja ösztönözni, hogy fokozottan törődjenek a fizikai ismeretek alkalmazásával, az alkalmazott kutatással. A biológiában és orvostudományban nagy kihívás a sejtek, komplex molekulaszervezetek, gének struktúrájának és mikrokörnyezetének vizsgálata nagy térbeli (1–10 nanométer) és időbeli (1–1000 mikroszekundum) felbontással. A mikroelektronika, a számítógép-technológia, a szuperkonduktivitás kutatásának fejlesztése egyre több információt fog szolgáltatni az egészséges és a károsodott élő sejt anyagcseréjéről, állapotáról, alkalmazkodó képességéről. Mindazonáltal, nemcsak a mikrotartomány-

ban tágul szemléletünk a végtelen irányába, hanem a makrovilágban is: a fizikának segítenie kell, hozzá kell járulnia az ember és a világ holisztikus szemléletének kialakításához, a „bio–psziho–szociális” összefüggések megértéséhez. Ezzel remélhetjük, hogy a fizika a tudomány mindenkori állása szerint továbbra is nagy támasza lesz az emberi tevékenységnek, ezen belül az orvoslásnak is.

## Irodalom:

1. BERÉNYI D.: *Atomkorban élünk* – Akadémia Kiadó, Budapest, 1977
2. BÍRÓ T., BOZÓKY L.: *A radioaktív izotópok hazai hasznosításának három évtizede* – Fizikai Szemle 36 (1986) 241–245
4. BISZTRAY-BALKU S., BOZÓKY L., KOBLINGER L.: *A sugárvédelem fejlődése Magyarországon* – Akadémia Kiadó, Budapest, 1982
5. *Fejezetek a magyar fizika elmúlt 100 esztendejéből* – szerk. Kovács L. – Eötvös Loránd Fizikai Társulat, Budapest, 1992
6. FÖLDES I.: *Nukleáris medicina az új évezred kezdetén* – Fizikai Szemle 51 (2001) 175–178
7. A.S. HORNLEY: *Oxford Advanced Learners's Dictionary* – Oxford Univ. Press, 2000
8. HÖGYES E.: *Csontváz-photographálás testen keresztül Röntgen szerint* – Orvosi Hetilap 40 (1896) 33–35
9. KLUPATHY J.: *Röntgen-sugarakról* – Matematika–fizikai Lapok 5 (1965) 4–11
10. KÖTELES GY.: *1895: Kezdődik a XX. század. Feljegyzések a Röntgen-centenáriumhoz* – Egészségtudomány 39 (1995) 1–7
11. KÖTELES GY., JÁNOKI GY., FÖLDES I.: *Nyomjelzéstechika és izotópal-kalmazás az orvostudományban* – Fizikai Szemle 51 (2001) 173–175
12. KÖTELES GY.: *Sugáregészségtan* – Medicina Kiadó, Budapest, 2002
13. KÖTELES GY.: *Sugárvédelem az orvosi izotópal-kalmazás során* – in *A nukleáris medicina tankönyve*, szerk. Szilvási István, B+V Kiadó, Budapest, 2003
14. W. PANOFKY: *Deutsches Museum München* – Peter-Winkler-Verlag, München, 1984
15. PÁPAI PÁRIZ F.: *Dictionarium* – Cibinity (Szeben), 1767
16. RONTÓ GY., TARJÁN I.: *A biofizika alapjai* – Semmelweis Kiadó, Budapest, 2002
17. SÓS J.: *Rektori megnyitó beszéd* – A Budapesti Orvostudományi Egyetem Radiológiai Tanszékének emlékkönyve, Budapest (1965)
18. SZUMOWSKI U.: *Az orvostudomány története* – Magy. Orvosi Könyvkiadó Társulat, Budapest, 1939
19. TARJÁN I.: *Fejlődésünk néhány mozzanata* – Izotóptechnika 22 (1979) 281–286
20. TRÓN L.: *Pozitronemissziós tomográfia* – Fizikai Szemle 51 (2001) 178–182
21. WARTHA V.: *A Röntgen-féle újfajta fotográfiákról* – Természettud. Közl. 1896/317 (1896) 53–54