

A BIOFIZIKA IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI

Tarján Imre

a Magyar Biofizikai Társaság Elnökségének tagja
(A Budapesti Orvostudományi Egyetem Fizikai Intézete.)

A fizika és biológia, valamint a fizika és a medicina kapcsolatát illetően több elnevezés használatos. Ezeknek egy része, mint pl. fiziológiai akusztika, elektrofiziológia, ez említett tudományok bizonyos részterületeire utal, más elnevezések viszont, mint pl. fizikális terápia, molekuláris medicina, kvantumbiológia önállósult, vagy önállósuló határterületeket jeleznek. A következőkben csak két fogalom tartalmi jegyeivel kívánok foglalkozni, az egyik az orvosi fizika, a másik a biofizika.

Úgy vélem, helyes úton járunk, ha orvosi fizikán a fizikának a medicina szempontjából különösebb jelentőségű fejezeteit értjük. Arról van szó tehát, amit külföldi szerzők „Fizika orvosok, biológusok számára” című tankönyveikben és kézikönyveikben összefoglalnak, Az orvosi fizika elnevezés a mi terminológiánkban is többet jelent, mint amire az egyszerű szóösszetétel utal és általánosabb értelemben a biológia szempontjából fontos fejezeteket tartalmazza. Akár a magyar, akár a külföldön használatos elnevezésre gondolunk, egyik sem utal önálló tudományterületre vagy valamilyen határtudományra.

Arra a kérdésre, hogy milyen mértékű és milyen mély fizikai ismeretekre van szüksége az orvosnak vagy a biológusnak, a válasz nem egyszerű és nem is meglepő, hogy a legkülönbözőbb véleményekkel találkozunk. Helyes talán, ha külön vizsgáljuk a kérdést a biológia és az orvostudomány (a későbbiekben a rövidség kedvéért csak biológia) egésze és külön az orvos, illetőleg biológus egyéni munkaköre szempontjából. A biológiai tudományok egészét tartva szem előtt nem emelhetők korlátok. A kapcsolat a fizika és a biológiai tudományok között máris sokoldalú, de még többet ígér a jövő. Ami ma a biológia szempontjából közömbösnek látszik, holnap érdekes lehet. „A ma fizikája a holnap technikája” megállapítás a fizika és a biológiai tudományok kapcsolatában is helytálló. Ezt igazolja a két nagy tudomány története, de sejti mindenki, aki figyelemmel kíséri az említett tudományok modern fejlődését.

Az orvos, illetőleg biológus egyéni munkaköre viszont rendkívül változatos és ennek megfelelően az egyén igényei is különbözők a fizikával szemben. Az általános biológus, zoológus, botanikus, a higiénikus, a sugárbiológus, radiológus igényei természetesen más méretűek és más területeken mozognak, mint pl. a szemész vagy a laboratóriumi orvos, a mikrobiológus, a belgyógyász igényei. Különbséget kell tennünk természetesen a

kutatómunka és a mindennapos rutinfeladatok között, sőt külön kell vizsgálat alá venni a biológus- és orvosképzés szempontjait is. Az igények természetesen az egyes tudományterületek fejlődésével koronként is változnak. Eppen az egyéni igények széles skálája miatt a kérdés második részére egyértelmű választ nem adhatunk.

A biofizika a biológiai problémákban rejlő fizikai jelenségek, folyamatok, törvények, stb. feltárására és megismerésére törekszik. A biofizikus fizikai tanulmányokat folytat a fizika módszereivel anélkül azonban, hogy elhagyná a biológia talaját. A biofizika azonban nem tekinthető csupán a fizika és biológia határtudományának, átnyúlik ugyanis a biokémia területére is, különösen, ha az élő anyagban lejátszódó elemi folyamatokat tanulmányozzuk. Eppen ezért a biofizikában az említett diszciplínák gondolkodásmódjának, elképzeléseinek, fogalmainak és munkamódszereinek szintézisével találkozunk.

A biofizika felismerései különös hatással vannak bizonyos speciális területekre, ahol azután nemcsak alkalmazást találnak, de tovább is fejlődnek. Gondolok pl. a fizikális terápiára, a daganatkutatásra, neurológiára, balneológiára, stb. Érvényes azonban a megállapítás a botanika, zoológia, bioklimatológia, táplálkozásban vonatkozásában is, a genetikában elért eredmények pedig kihatnak a növénytermesztésre és állattenyésztésre is. A biofizikának az utolsó évtizedekben mutatott fejlődése nem utolsó sorban éppen annak az ösztönzésnek köszönhető, amit eredményeinek az említett területeken való értékesítése váltott ki.

A fizikusok régebben is foglalkoztak a biológia területéről származó problémákkal és hasonlóképpen a biológusok és orvosok is fáradoztak azon, hogy problémáikat a fizika oldaláról is vizsgálat tárgyává tegyék. Nem beszélhetünk azonban biofizikáról olyan értelemben, mint ahogyan az az utolsó évtizedekben kifejlődött. Ezt megelőzőleg főként arról volt szó, hogy a biológiai vizsgálatokban fizikai mérőmódszereket alkalmaztak, vagy bizonyos kérdéseket matematikailag dolgoztak fel. A régi irodalomban sokhelyütt a biofizika fogalma főként a csontváz mozgásapparátusának leírására és vizsgálatára volt fenntartva, ami bizonyos mértékig összefüggésben volt az akkori mechanisztikus természetszemlélet elburjánzásával is. A mai biofizikában lényegesen többről és másról van szó.

Az anyagszerkezet mindig érdekelte az embert. Régi törekvés az, hogy a „makrojelenségeket” anyagszerkezeti sajátosságok alapján értelmezzük. Ha a modern biofizikát akarjuk röviden jellemezni, akkor azt kell mondanunk, hogy ennek is főjellemezője a mélységre való törekvés, amely a biológiai objektumokban is a molekuláris és atomi jelenségekig és folyamatokig kíván behatolni. A cél minden vonalon az anyagszerkezet minél mélyebb feltárása és a makroszkopikus folyamatoknak egyre mélyebb értelmezése. Ezzel nem azt akarom mondani, hogy a mélységre való törekvés régebben a biológiában nem volt meg. A törekvés megvolt, csak a lehetőségek voltak korlátozottabbak. Minden tudomány fejlődése során a „durvább” jelenségek megismerésétől halad a „finomabbak” felé, a makrojelenségektől az elemi folyamatok felé. A biológiában a makrojelenségek (ide sorolom a mikroszkópi megfigyeléseket is) rendkívüli gazdagsága és változatossága teljesen lekötötte a kutató elmét és nem is volt még elég érett a tudományos helyzet arra, hogy a mai megfogalmazás szerint a jelenségek mélyére hatoljon. A fizika és kémia sem volt elég fejlett ahhoz, hogy

akár csak saját területén is sok eredménnyel dicsekedhetett volna ismereteinek mélységét illetően. Tegyük még ehhez hozzá azt is, hogy a fizika és kémia vizsgálati területei összehasonlíthatatlanul egyszerűbbek, mint a biológiáé.

Ma már előbbre vagyunk. Ismereteink mélyülésének következménye a biokémia önálló tudománnyá való fejlődése és egyre fokozódó jelentősége a biológiai tudományokban. Hasonló folyamat, mint ami a kémia és biológia viszonylatában végbement nemrégiben, alakul ki napjainkban a fizika és a biológia kapcsolatában. Ez a kapcsolat ma még csak bizonyos „pontokon” van meg, de perspektivikusan sokat ígér. Amikor most világszerte nagy érdeklődés nyilvánul meg a biofizika iránt, és pl. a Szovjetunió tudományfejlesztési programja kötelezően írja elő a biofizika fokozottabb fejlesztését, inkább a tudományos perspektíva jut kifejezésre, mint a jelen helyzet tükröződése. Mindebben pedig kétségtelenül kevésbé a klasszikus fizikának, inkább a modern fizikának van szerepe.

Az új, forradalmi gondolatok betörése a fizikába és a nyomukban elért nagyszerű eredmények a molekuláris és atomi folyamatok megismerésében a kutató fantáziának és kezdeményezésnek azt az ösztönzést adták, hogy az atomi világ újonnan felfedezett törvényszerűségeinek tükröződését keressük az élő anyag világában. A modern biofizikai kutatás célul tűzte ki, hogy kövesse a fizikai folyamatok és törvényszerűségek szerepét az élő anyag felépítésében és a benne végbemenő folyamatokban, hogy azután ezeket az ismereteket beleillesszük az általános tudományos világképbe. Így születnek a biofizikán belül is új területek, mint a kvantumbiológia, molekuláris biológia stb.

Úgy vélem, hogy az eddigiek alapján már könnyen választhatjuk a biofizikai problémafelvetés módját és a biofizika főbb kutatási irányait. A biofizika alapvető feladata vizsgálat alá venni a különböző biológiai objektumokat, a vírusoktól, a sejttől, a különböző szöveteken, szerveken és szervrendszereken át a legfejlettebb szervezetekig, mindazon oldalokról és mindazon szempontok szerint, amelyekre a fizika lehetőséget nyújt. Így alakult ki a mikroorganizmusok, a sejtek, az izom biofizikája, vagy a szem és látás, a fül és hallás biofizikája, stb. További kérdések, pl.: a szervezet hőháztartásával, a hőtermeléssel, hőtranszporttal, az anyagcsere során keletkezett kémiai energiák átalakulásával kapcsolatos problémák, a sejtek, szövetek ingerlékenységének kérdése, a vér áramlásának a vér összetételével, viszkozitásával, az érfalak viselkedésével, a perifériás ellenállással való összefüggésének vizsgálata, a véráramlás kinetikája, energetikája stb.

A *sejtek biofizikájával* kapcsolatban: a nyugvó sejtek fizikai tulajdonságainak, a nyugalomban lévő protoplazmának a vizsgálata a viszkozitás, felületi feszültség, elasztikus tulajdonságok, töltésviszonyok, permeabilitás szempontjából, ezeknek kvantitatív jellemzése, a viszonyok megváltozásának kutatása a sejtoszlás során stb.

Az *izom biofizikájával* kapcsolatban: az izom működését számos fizikai jelenség kíséri és fordítva, az izomtevékenységet különböző fizikai és kémiai hatásokkal befolyásolhatjuk; vizsgálható az izom mint működési egység és vizsgálható az egyes struktúrelemek szerepe az izomműködésben; érdekes a fejlődés különböző fokán álló élőlények különböző eredetű izmainak vizsgálata is; alapvető problémák pl. az izom ingerlése különböző

viszonyok között, az ingerület terjedésének viszonyai, energetikai tényezők befolyása az izom működésére, az energia-átalakulások problémái stb.

A *szem és a látás biofizikájának* köréből: a fény útja a belépéstől a recehártáig, az itt végbemenő kvantumfizikai és fotokémiai folyamatok, ezek hullámhossz-függése, a retina különböző részeinek érzékenysége a különböző hullámhosszúságú sugarak hatására stb.

A *fül és a hallás biofizikájának* köréből: a rezonancia-elméletnek sok értékes vonása mellett sok hiányossága is van, amelyekre éppen az utóbbi évtizedek vizsgálatai mutattak rá; az újabb vizsgálatok bizonyos vonatkozásban módosítják, sok szempontból pedig kiegészítik a régebbi ismereteket.

Érdekes és sokat ígérő területet képeznek a biofizikában azok a törekvések, amelyek a *kvantummechanikának* már ismert módszereit felhasználják a szervezet felépítő molekulák tulajdonságainak és a legegyszerűbb biológiai struktúráknak a megismerésére. Ezek tekinthetők ma a legfejlettebb eljárásoknak, amelyekkel talán a legmélyebbre is tekinthetünk. Ilyen vonatkozásban kevésbé a biológusok — tisztelet a kivételnek — inkább a fizikusok optimisták és talán nem is ok nélkül.

Az alapvető tendencia mindenütt, és ezt ismételten szeretném hangsúlyozni, a strukturális viszonyok és az elemi folyamatok egyre mélyebb feltárása, amelyben a biokémiai és biofizikai kutatások — gyakran szétválaszthatatlanul — egymást egészítik ki.

A továbbiakban néhány biofizikai problémakörrel kissé részletesebben is szeretnék foglalkozni.

Az első problémakör, amire utalni kívánok, a *sugárzások és az élő szervezet kölcsönhatása*. Az utóbbi években az érdeklődés főként a *nagyenergiájú sugárzások* felé irányult, amit a gyakorlati vonatkozások is indokolnak. Itt a tiszta fizikai kutatásokkal párhuzamosan haladnak a biológiai vonatkozású vizsgálatok. A terület hatalmas: az élő és élettelen határán lévő mikroorganizmusoktól kezdve egyes sejteken, sejtcsoportokon, szöveteken, szerveken keresztül a legfejlettebb teljes élő szervezetig; a problémát tovább növeli és szélesíti az a körülmény, hogy a különböző elektromágneses és korpuszkuláris sugárzások éppen az élő anyag rendkívül bonyolult felépítése folytán a specifikus hatások nagy tarkaságát hozzák létre. Az ionizációt és gerjesztést követő szekunder folyamatok sokféleségére gondolok. A primer folyamatok következtében létrejött molekuláris diszszociáció szabad gyökök képződéséhez vezethet, amelyek viszont bonyolult kémiai folyamatok elindítói lehetnek. Ezek következtében biológiai objektumokban funkcionális és morfológiai elváltozások jöhetnek létre. Így jutunk el a biológiai hatásokhoz, amelyek tehát közvetett sugárhatásoknak tekintendők. A szekunder folyamatokat ezideig főleg fizikailag és kémiailag egyszerű felépítésű anyagokon vizsgálták, mint pl. víz és híg vizes oldatok. Még ezeken is a szekunder jelenségek nagy és nehezen követhető tarkaságát találták. Természetes ezek után, hogy sokkal bonyolultabbak a viszonyok az élő szervezetben, de akár egyetlen sejtben is. Olyan problémák várnak itt tisztázásra, amelyek elvi jelentőségük mellett a sugárterápia, a genetika, a munkaegészségügy, stb. tehát az orvostudomány, az általános biológia, a növénytermesztés, állattenyésztés és más tudományok szempontjából is alapvető fontosságúak.

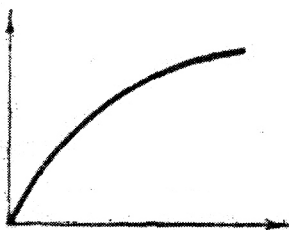
Külön területként jelölhetjük meg — továbbra is a sugárbiológián belül maradván — a *kisenergiájú elektromágneses sugárzások* hatásainak vizsgálatát. Ide sorolom az infravörös tartomány, a rövid, közép és hosszú hullámhosszúságú elektromágneses hullámok biológiai objektumokkal való kölcsönhatását. Nem intézhetjük el ezeket a területeket egyszerűen azzal, hogy itt oly kis fotonok abszorpciójáról van szó, amelyek ionizációt nem keltenek, legfeljebb gerjesztenek, nem érdemes tehát foglalkozni velük. A tapasztalat rácáfol erre a gondolatra, hiszen ismeretesek az infravörös sugárzás káros hatásai, az ultrarövid és rövid elektromágneses hullámokat terápiás célokra felhasználjuk, a rádióadó állomások közelében élő emberek gyakran különböző panaszokkal fordulnak orvosukhoz, amely panaszok feltehetően a nagyintenzitású elektromágneses tértől származnak. Az utóbbi terület jelenleg még meglehetősen üres és körültekintő alapkutatást igényel.

Az *ultraibolya sugárzásra* a nagyenergiájú sugárzásokkal kapcsolatban már utaltam ugyan, jelentősége azonban megérdemli, hogy egy-két szóval külön is beszéljünk róla. Értékes eredmények azok, amelyek az ultraibolya sugárzás eritémaképző, pigmentképző, antirachitikus, baktericid, karcinogén, konjunktivitiszt, keratitiszt, kataraktát előidéző hatásainak hatásgörbéire és ezekből a különböző mechanizmusokra levont következtetésekre vonatkoznak. Nem elhanyagolható jelentőségűek az eredményekből levonható gyakorlati következtetések sem. A mechanizmusok mélyebb tisztázása még a jövő feladata.

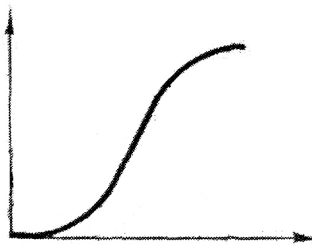
A sugárzások biológiai hatásával kapcsolatban igen értékes elmélet fejlődött ki, amely a hatásmechanizmusok finomabb részleteibe bizonyos betekintést enged. Ez az elmélet a *találat-elmélet*. Az elmélet jellegzetességét szeretném röviden fölidézni. Egy ismert modellből indulok ki. Képzeljünk el ugyanis, hogy egy falból vékony üvegrudacsok nyúlnak ki, amelyek végére vékony papírból 8—10 cm átmérőjű korongot erősítünk. A falat távolról csak úgy találomra légpuskából lövöldözik. Bizonyos ideig tartó lövöldözgetés után a korongok egy része leesik, „elpusztul”. Egy korongot több találat is érhet, mégsem esik le. Az „elpusztuláshoz” az szükséges, hogy a korongot „érzékeny” helyén, ott ahol fölfekszik az üvegrúdra, legalább egy találat érje. Minél hosszabb ideig lövöldözgetünk, annál több korong fog elpusztulni. Az elpusztult korongok számát rajzoljuk fel az idő, illetőleg a lövedékek számának függvényében. Hasonló eset képzelhető el akkor is, ha pl. kolloidum hártýára helyezett légytetét röntgenfényvel besugárzunk. Most a röntgenfotonok a lövedékek, a korongok szerepét pedig a légyteték veszik át, amelyeknek ugyancsak lehet érzékeny tartományuk, miként a korongoknak is volt. Most is fölrajzolhatunk egy görbét, amely arra ad felvilágosítást, hogy hogyan nőtt az elpusztult peték száma a kapott röntgendózis függvényében (1. ábra). — Az ilyenszerű folyamatok időbeli lejátszódása azonban matematikailag követhető. A valószínűségszámítás segítségével ugyanis kiszámítható, hogy bizonyos idő múlva hány korong leesése, illetőleg bizonyos dózis után hány pete elpusztulása várható. Tisztán matematikai úton is eljuthatunk tehát egy függvényhez, amely ugyancsak arra ad felvilágosítást, hogy hogyan nő az elpusztult korongok száma a leadott lövések számával, illetőleg hogyan szaporodik az elpusztult peték száma a kapott dózis nagyságával. A matematikai úton kapott formulában az érzékeny tartomány nagysága is szerepel, és a következők-

ben éppen ez a fontos. A papírkorongok esetében az érzékeny tartomány könnyen lemérhető, a peték esetében viszont ezt nem tudjuk megtenni, sőt azt sem tudjuk, hogy egyáltalában beszélhetünk-e érzékeny tartományról, vagy pedig a pete teljes térfogatában egyformán érzékeny. Meghatározhatjuk azonban a peték esetében is az érzékeny tartomány nagyságát közvetve. Kikeressük ugyanis azt a térfogatértéket, amit formulánkba be kell helyettesítenünk, hogy azután a formula jól illeszkedjék a tapasztalati görbéhez.

Számos különböző céllal végzett vizsgálatból arra kell következtetnünk, hogy a szöveteket felépítő sejtek valóban tartalmaznak mikroszkó-



1. ábra: Egytalálatos görbe



2. ábra: Többtalálatos görbe

A vízszintes tengelyre a dózist, a függőlegesre a kiváltott hatást, pl. az elpusztult peték számát mérjük fel.

pikus, vagy szubmikroszkópikus „alegységeket”, amelyek bizonyos beavatkozásokkal, hatásokkal szemben fontos szerepet játszanak. Ezeknek az egységeknek a mérete lemegy egészen a molekuláris méretéig, ill. rendszerekig. Struktúráikban és viselkedésükben felismerhető egyrészt a nagyobb atom, ill. molekulakomplexumok fizikájának minden lényeges vonása, ugyanakkor ezek biológiai sajátságokkal is rendelkeznek, amely képessé teszi őket arra, hogy az életfolyamatok aktív részesei legyenek. Részben biológiai, részben tisztán fiziko-kémiai vagy kvantumfizikai tulajdonságokat mutató tartományokról van szó. A találat-elmélet éppen azt teszi lehetővé, hogy meghatározzuk ezeknek a tartományoknak a kiterjedését.

Az említett példában a peték elpusztításáról volt szó, de vizsgálhatnánk azt is, hogy különböző mutációk keltése vagy egyéb tulajdonságok megváltozása hogyan függ a röntgensugár vagy más sugárzás dózisától. A kapott dóziszgörbék alakja a különböző esetekben különböző lehet (1. és 2. ábra). A találat-elmélet alapján azonban meg tudjuk magyarázni a különböző alakok létrejöttét. Az előzőkben olyan példáról volt szó, amelyben a hatás kiváltásához egyetlen találatra volt szükség. Vannak azonban esetek, amikor egy bizonyos változás vagy hatás létrejöttéhez legalább kettő, de esetleg több találat is szükséges. A találat-elmélet megmutatja, hogy ilyen esetben milyen alakú görbe várható. Ha tehát ismerjük egy hatás dó-

zsigörbójét, akkor összehasonlítva ezt az elmélet által megadott görbékkel, kikereseshetjük, hogy a mért görbe melyik elméleti görbéhez hasonlít legjobban, és ekkor meg tudjuk azt is mondani, hogy a hatás kiváltásához minimálisan hány találatra van szükség. Éppen az elmélet alkalmazásából következik, hogy egy biológiai objektum egy bizonyos hatással szemben esetleg nem egy, hanem több össze nem függő vagy esetleg egymással bizonyos kölcsönhatásban levő „érzékeny térfogattal” rendelkezik. Ha több érzékeny tartományról van szó, az elmélet segítségével ezek száma is meghatározható.

A találat-elmélet teljesítőkéességét mutatja, hogy a sugárhatásoknál végbemenő folyamatokon túl, az elmélet szemlélődési módja alkalmazást talál bizonyos mikrokémiai és biokémiai folyamatok értelmezésénél, pl. karcinogén anyagok által kiváltott rákképződésnél is.

A sugárzások biofizikája terén érdemes említést tennünk néhány közvetlen gyakorlati vonatkozású részterületről is. Ilyenek pl. azok a vizsgálatok, amelyek a *sugárdózis időbeli eloszlásának* jelentőségére vonatkoznak, tehát: a sugárhatás függése attól, hogy hogyan osztjuk szét az egész dózist különböző időintervallumokra tagozódott részdózisokra. Ezek a vizsgálatok vezettek az ún. időfaktor és kipihenési faktor megfogalmazásához a biológiai sugárhatásokban. Ugyancsak lényegesek a *sugárdózis térbeli eloszlására* vonatkozó vizsgálatok: pl. hogyan oszlik el a dózis a besugárzott objektumban, a primer és az objektum által szórt sugárzás intenzitásának eloszlása, a többszörös Compton-effektus jelentősége nagyobb objektumok besugárzásakor stb. Ezek a vizsgálatok alapvető jelentőségűek, ha racionális és sikeres mélysugárterápiát akarunk alkalmazni.

Lényeges problémakör a fizikai mértékegységek megállapítása a sugárbiológia számára, a *sugárdozimetria* fizikailag megalapozott kialakítása. Az utóbbi időben váltak jelentőssé azok a vizsgálatok, amelyek a *sugárvédelem* problémájára és a *maximálisan megengedhető dózis* vizsgálatára vonatkoznak. A mesterséges radioaktív anyagoknak gyors elterjedése a tudományos és rutinmunkák területén, az egészségügy vonalán, valamint az iparban, továbbá a gyorsító berendezések és atommáglyák alkalmazásának nagymérvű növekedése tették ezeket a problémákat elsőrendű fontosságúvá és aktuálissá. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a radioaktív anyagoknak már a legkisebb mennyisége, az egészen gyöngye sugárhatások is, ha hosszú ideig érik a szervezetet, káros következményekhez vezethetnek. A károsodás alsó határdózisa más korpuszkuláris sugárzások hatására, mint elektromágneses sugárzások hatására, és más ha külső vagy belső alkalmazásukról van szó.

Az eddigi példák a fizika modern fejlődéséhez kapcsolódnak és „divatos” kérdések a biofizikában. A következőkben más körből hozok fel példákat. Megemlítem pl. a különböző frekvenciájú elektromos áramok tovaterjedésére és hatásaira vonatkozó tanulmányokat. Ilyen vonatkozásban a biológiai szövet specifikus közegként viselkedik, amely számos különleges tulajdonsággal rendelkezik a fizika szokásos objektumaival szemben. Ezek a vizsgálatok teremtették meg az alapokat a *nagyfrekvenciás áramok orvosi alkalmazásához*, a *diatermia fizikai alapjainak* tisztázásához.

Itt teszek említést azokról a vizsgálatokról, amelyek az *ultrahangnak* az élő szervezetre való hatásaival kapcsolatosak és amelyek az utóbbi években több oldalról érdeklődést váltottak ki. Az utóbbi években az ultrahang

terápiás alkalmazására is sor került, az alapok tisztázása, az ultrahang által a szervezetben kiváltott hatás mechanizmusának feltárása azonban még sok vonatkozásban tisztázásra szorul.

Érdekes biofizikai kutatási feladatok adódnak a bioklimatológia és a balneológia területén. A szervezetet környező világ *klimatikus és balneológiai tényezőinek fizikai-biológiai analízise* jelenleg gyors fejlődésben van: az újabb kutatási munkák főbb irányait az atmoszféra sugárháztartásának, hőháztartásának, elektromos viszonyainak stb., kutatása, illetőleg e tényezőknek a szervezetre gyakorolt befolyása képezi. Érdeklődés mutatkozik abban az irányban is, hogy a levegő összetétele milyen befolyást gyakorol az organizmusokra. Előtérben áll az elektromosan töltött, vagy semleges aeroszokok, továbbá a levegőben nyomokban jelenlevő gázalakú és biológiailag aktív anyagok, mint pl. az ózon, a nitrogénoxidul szerepének vizsgálata. Az utolsó két évtized folyamán sikerült az összefüggéseknek egész sorát megállapítani, amelyek arra utalnak, hogy az aeroszokok az emberi szervezet funkcióinak lefolyására jelentős befolyást gyakorolnak. Kedvező hatásúaknak látszanak pl. a konyhasót, kalciumot, jódot tartalmazó természetes aeroszokok. Ezekkel magyarázható a tengeri levegő, barlangok atmoszférájának kedvező befolyása is. A hatásmechanizmus valószínűleg bonyolult és ebben szerepet játszik, hogy az aeroszokok töltéssel rendelkeznek-e vagy nem, töltésük pozitív-e vagy negatív. Nem valószínű, hogy a klimatikus hatások előidézői közvetlenül a légnomás-, vagy légelektromos változások legyenek, inkább arról van szó, hogy a változó körülmények megváltoztatják az aeroszokok, főként a töltéssel rendelkező aeroszokok koncentrációját, eloszlását, stb. és ezek idézik elő azután a különböző biológiai hatásokat. Ezek a kutatási területek jelenleg még fejlődésük kezdetén vannak. Jelentőségük azonban kétségen kívül áll, ha pl. az egészséges lakásépítés problémáira, vagy azokra a levegő higiénés problémákra gondolunk, amelyek kórházakkal, iskolákkal stb. kapcsolatban fennállnak. Az ún. levegőkondicionálás egész technikája várhatóan beható vizsgálatra szorul.

A természetes aeroszokokon kívül érdeklődés nyilvánul meg bizonyos *mesterséges aeroszokoknak* terápiás célokra való felhasználása területén is. Elsősorban légzőszervi megbetegedésekről van szó, a vizsgált hatóanyagok pedig pl. adrenalin és származékai, hipofízis hátsó lebenyének hormonja, porlasztott antibiotikumok stb. A hatás különböző paramétereiktől függhet, mint az aeroszokok ködsűrűsége, iontartalma, hatóanyag tartalma stb.

A biofizika túlnyomóan kísérleti tudomány. Az utóbbi időben azonban kialakult egy olyan irány, amely azt tűzte ki célul, hogy kifejlessze a *biológiai problémák matematikai, fizikai tárgyalását*. Ide tartozik a már említett találat-elmélet, de gondolok azokra a törekvésekre is, amelyek matematikai analízisnek vetik alá pl. a sejtoszlás folyamatait és az anyagcsere-folyamatokat. A rádióizotópoknak az anyagcsere-folyamatokban való alkalmazásával kapcsolatban fejlesztették ki a „rekesz-elméletet”. A szervezet különböző vizeit egymással párhuzamosan vagy sorba kapcsolt „tartályokkal” sematizáljuk. A „rekesz” szó helyett esetleg a „tartály” szót is használhatnánk. A séma lényegében durva modell, és jelentősége nem több, mint más modelleké, amelyeket fizikai problémák megoldásában is időként alkalmazunk. Szerepe azonban mégsem lebecsülendő bizonyos anyagok forgalmának kvantitatív analízise szempontjából.