

SUGÁRVÉDELMI ISMERETEINK GYARAPÍTÁSÁNAK EGY EDDIG MELLŐZÖTT, ÚJ LEHETŐSÉGE*

Bozóky László, Lehoczky Győző, Polyánszky Tibor

Országos Onkológiai Intézet, Budapest, Pf. 21, 1525

Kilencven éve, hogy W.C. Röntgen felfedezte az első ionizáló sugárzást, a róla elnevezett röntgensugárzást, amelynek fizikai mibenlétét azonban csak 17 évvel később sikerült végre a Friedrich-Laue-Knipping-triónak tisztáznia. A radioaktivitás, majd a rádium felfedezése után lassanként nyilvánvalóvá vált, hogy ilyen ionizáló sugárzások ősidők óta léteznek az univerzumban, Földünkön a levegő 1 cm^3 -ében másodpercenként átlagosan 9 ionpár keletkezik.

Röntgen felfedezésének messzemenő fizikai jelentőségén túlmenően különösen fontos új következményei származtak abból kifolyóan, hogy a mesterségesen előállított fotonsugárzások intenzitása sok nagyságrenddel meghaladta a természetes háttérsugárzásoknak az intenzitását, és így mintegy tálcán tarták az ember elé az ionizáló sugárzások biológiai hatásait, azaz a fotonok és az élő organizmusok közti kölcsönhatások előre nem láthatott káros és hasznos következményeit. A fizikai kölcsönhatások mechanizmusát sajnos ma sem ismerjük kielégítően, bár a röntgensugárzás makroszkópikus *egészségkárosító* hatását már nagyon hamar tudomásul kellett vennie az emberiségnek.

Igy például már 3 hét után erős rosszullét, hányinger, bőrpír jelentkezett annál a fiatalembernél, akit naponta órákon keresztül átvilágítottak, keresve az akkori röntgensöveknek, a Geissler-féle kisülési csöveknek az optimális képalkotáshoz szükséges paramétereit. A későbbi, több száz halálos kimenetelű károsodás világosan jelezte, hogy az ionizáló sugárzások ellen védekezni kell. A védekezés évtizedeken át csak immel-ámmal folyt.

A *sugárterápiás alkalmazások* szóhajóhető területeinek és optimális módszereinek a kidolgozása természetesen már több időt vett igénybe, hiszen minden elméleti utmutatás nélkül, kizárólag a közvetlen tapasztalati eredményekre támaszkodhatott, illetve támaszkodik ma is. A röntgen- és rádiumterápia, a röntgendiagnosztika, valamint a velük legszorosabban kapcsolódó sugárvédelem az orvosi radiológia tárgykörébe tartozott. Az első, sugárvédelemmel módszereiben foglalkozó nemzetközi bizottságot, az ICRP-t az Első Nemzetközi Radiológiai Kongresszus hívta életre 1925-ben.

Az ezt követő évtizedek nagy fizikai felfedezései, mint a neutron- és pozitronsugárzás, az atomenergia felszabadítása, a mesterségesen előállított

*A X. Sugárvédelmi Tanfolyamon elhangzott előadás /Balatonkenese, 1985. április 24-26/

radioaktív anyagok, az óriási energiájú lineáris és körkörös részecskegyorsító készülékek, az energiatermelő reaktorok stb. oda vezettek, hogy egyrészt az emberiség szolgálatába állított korszerű berendezésekben szükségszerűen keletkező ionizáló sugárzások mennyisége ma már sok nagyságrenddel meghaladja az orvosi célokra használt sugárzások *mennyiségét*, másrészt, az orvosi felhasználástól teljesen eltérő keletkezési és alkalmazási feltételek következtében, a sugárvédelem elé nemcsak mennyiségi, de *minőségi* szempontból is teljesen új, sok-sok kutatást igénylő feladat tornyosult.

Nyilvánvalóvá vált, hogy ilyen módon a sugárvédelem túlnőtt az orvosi radiológia keretein, és megszületett egy szerteágazó, komplex, új tudományterület: a precíz fizikai mérésekre alapozott ugynevezett "health physics". A sugárvédelemmel is foglalkozó orvosok helyét fokozatosan főállású fizikusok, mérnökök, vegyészek, sugárbiológusok stb. vették át. Számuk az 1940-es évek során erőteljes növekedésnek indult, elsősorban a fejlett országokban.

Az 1960-as évek során a kibővített ICRP figyelmét is elsősorban a radioaktív anyagok inkorporálásával kapcsolatos elvi és gyakorlati kérdések kötötték le, és 1977-ben megjelentette a sugárvédelmi célokra kidolgozott új fogalmakat, követelményeket, mérési és számítási előírásokat, korlátozásokat, ellenőrzéseket stb. tartalmazó, ICRP 26 néven ismert ajánlásait. Ennek alapos, több éven át folytatott, sokszor szenvedélyes nemzetközi megvitatása és néhány kisebb jelentőségű módosítása után 1982-ben az IAEA is kiadta a *Safety Series No. 9*-ben összefoglalt, nagyszámú táblázatot is tartalmazó, széleskörű használatra szánt ajánlási rendszerét, melynek nem régen magyar nyelvű változata is megjelent.

Az elmondott fejlődést próbáltuk, a rendelkezésünkre álló egészen durva becslések alapján, az 1. ábrán szemléltetni olyan módon, hogy az érzékeltesse egyben azt is, hogy a korszerű, komplex sugárvédelem és a sugárterápia vonala fokozatosan mennyire eltávolodott egymástól. Tekintetbe véve a mindkét területen bekövetkezett hatalmas fejlődést, ezt egyrészt egészen természetesnek kell tartanunk, másrészt azonban nem tarthatjuk szerencsésnek, hogy a kettő közötti egyre nagyobb távolság lassan egyre inkább csökkentette az egymás eredményei iránti érdeklődést, és ma már ez gyakorlatilag nemcsak teljesen megszűnt, de a sugárvédelem még a több évtizedes, bizonyított, régi eredményekről is egyszerűen megfélekedzik, nem vesz róla tudomást.

Hogy csak egyetlen példát említsünk, az ICRP legújabb koncepciójában a dózisegyenérték képletében:

$$H = D Q N,$$

ahol D az elnyelt dózis a testszövet adott pontján, Q a minőségi tényező és N az összes többi módosító tényező, az ICRP N -nek egységnyi értéket tulajdo-



1. ábra

nit, holott már fél év-
századdal ezelőtt ismer-
etes volt, hogy ugyan-
annak az elnyelt dózisnak
a biológiai hatását milyen
nagy mértékben befolyásol-
ja a *dózis leadásának idő-
tartama*, azaz, hogy egy
hét, egy nap, egy óra
vagy egy perc alatt ke-
rül-e ugyanaz az elnyelt
dózis az adott szervezet-
be. Holthausen klasszikus
szépségű könyvében már az
1930-as években megjelent
egy effektív adatokra tá-
maszkodó görbe, melynek
adatait a többek között
az Eötvös Loránd Rádium

és Röntgen Intézetben Czunft Vilmos igazgató főorvos is több, mint 1000 egyé-
ni gipszlenyomat alapján készített és egyedileg pontosan bemért rádiummulá-
zsaikkal kezelt betegein - széles intenzitástartományban - ellenőrzött. Az
N tényezőre ajánlott egységnyi érték viszont azt jelenti, hogy ezt a sokszo-
rosan bizonyított, jelentős következményekkel járó sugárbiológiai tényt a
sugárvédelem nem kívánja figyelembe venni.

Aztszokták mondani, hogy igen, igen, de a sugárvédelemben egészen mások
a dózisok, a besugárzási feltételek, pl. az esetek nagy részében egésztest-
besugárzásról van szó, mások a szempontok, mint a sugárterápiában, ahol vi-
szont legtöbbször - így a Czunft-féle rádiummulázsok esetében is - csak sok-
kal kisebb testrészeket, daganatokat sugároznak be. Viszont tény az is, hogy
másfél évtizede pl. rendszeresen folynak Oak Ridge-ben teleterápiás egész-
test-besugárzások olyan összkomfortos, televízióval, virágokkal, luxusbuto-
rokkal stb. felszerelt, kétszemélyes lakásokban, ahol a falakon kívül ugy
vannak elhelyezve különféle kisebb-nagyobb ^{60}Co -sugárforrások, hogy bárhol is
tartózkodik a két beteg a lakásban, azonos intenzitású sugárzási térben van,
napi 1, 10 vagy akár 24 órán át. Egy hétig a lakásból ki nem mehetnek, a su-
gárforrások ki-bekapcsolását nem látják, nem hallják, a dózisintenzitás és a
heti dózis is széles határok között variálható.

Nyilván az ICRP tagjai is megnézhetik, és tanulmányozhatják az eredménye-
ket, különös tekintettel az N értékének változására, ha akarják, illetve ha
akarnának!

A korszerű, interdiszciplináris törekvéseknek a semmibevevése, a legkövetlenebb szomszédos terület eredményeinek a figyelmen kívül hagyása annál szomorubb jelenség, mivel a sugárvédelmi kutatások számára sok esetben egyszerűen nincs meg a lehetősége annak, hogy a saját laboratóriumaiban, saját elképzelései szerint embereken sugárbiológiai kísérleteket végezzen. Ez szerinte a világon tilos! Különösen akkor, ha a radiológiai osztályokon számos olyan jól dokumentált, sugárterápiában részesült beteg adatai fekszenek el, amelyek a sugárvédelem számára is fontos kérdésekre adhatnának választ.

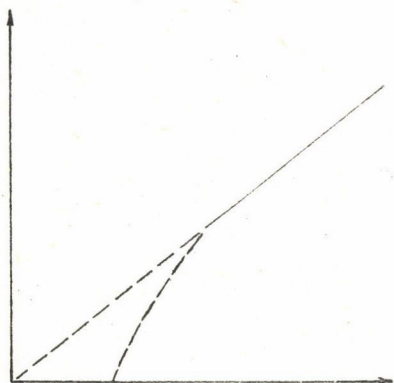
Véleményünk szerint azonban a baj éppen ott van, hogy a sugárterápia és a sugárvédelem, mint két külön tudományterület, már igen-igen messze került el egymástól, és érdekeik is egyre ellentétesebbek. Mintha külön volnának "gyógyító" fotonok és külön "egészségkárosító", a sugárvédelmet foglalkoztató fotonok, ahogyan a szabványokban szerepelnek a "hasznos" és "káros" sugárzások. Erről természetesen szó sincs!

Az ionizáló sugárzások *fizikai hatásmechanizmusáról*, mint már említettük, nagyon-nagyon keveset tudunk, de azt teljes bizonyossággal állíthatjuk, hogy a foton és testszövetek közti fizikai kölcsönhatás, más szóval a foton energiájának átadása pl az orvos testébe és az általa kezelt beteg testébe, teljesen azonos fizikai hatásmechanizmus szerint történik. Elképzelhetetlen, hogy egy ajakrák tüzelésénél, avagy egy nőgyógyászati rádiumbehelyezésnél ugyanabból a sugárforrásból kilépő fotonok a rendelkezésükre álló attoszekundum nagyságrendnyi idő alatt "tájékozódni tudjanak", hogy "én az orvos felé rohanok, tehát a sugárvédelmiek elképzelésének megfelelő hatásmechanizmus szerint azt károsítanom kell", avagy "a beteg felé repülök, és így a sugárterapeuták által elképzelt, másféle hatásmechanizmus szerint azt gyógyítanom kell". Így elvileg lehetetlen, hogy más *fizikai* hatásmechanizmusa legyen a fotonnak a sugárvédelemben, mint a sugárterápiában, ami természetesen nem zárja ki, hogy a vizuálisan észlelhető sugárbiológiai, biokémiai, funkcionális elváltozások, a különböző élettani körülményeknek és a különböző elnyelt dózisoknak megfelelően, lényegesen különbözőek legyenek. De az ezeket elindító fizikai kölcsönhatások, az ionizáció stb. csak a *fotonok energiájától* és a besugárzott anyagban levő *elemektől* függ.

Ez viszont azt jelenti, hogy a sugárterápia területén nyert alapvető tapasztalatok - azonos körülmények között - a sugárvédelemben is feltétlenül érvényesek, és viszont. De ha ez így van - és elképzelhetetlennek tartjuk, hogy másként legyen -, akkor ez új lehetőséget nyújt számunkra sugárvédelmi ismereteink gyarapításához. A következőkben egy ide vonatkozó konkrét javaslatunkat szeretnénk röviden ismertetni.

A sugárvédelemnek egy mai napig egyértelműen meg nem válaszolt alapvető kérdése: hogyan megy a *dózis-hatás* görbe a kis dózisok tartományában. A zérus

pontban végződik-e, avagy metszi a dózis-tengelyt, és így létezik egy *küszöbdózis*, amely alatt sugárhatás egyáltalában nem jelentkezik /2. ábra./



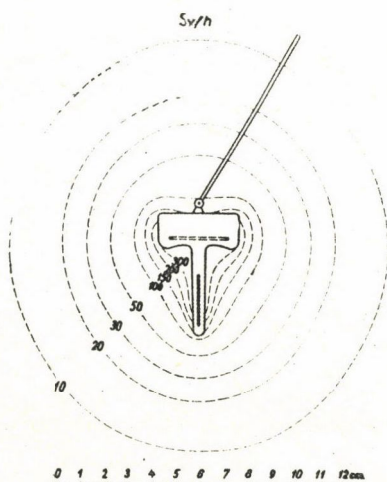
2. ábra

Nézzük meg pl. hogy mi is történik akkor, amikor egy méhnyakrákos beteg praeeoperatív rádiumkezelésben részesül! Nyilvánvaló, hogy a behelyezett, általában 80 mg ^{226}Ra -ot tartalmazó sugárforrás körül - szokászos 23 órás besugárzási idő alatt - egy, a daganatot is magában foglaló gömbszerű testtérfogat igen jelentős, 4-20 Sv-nyi átlagózist kap, tehát az ICRP tanítása szerint egy *sztochasztikus*, tehát determinisztikus jellegű sugárkárosodás lép fel. A daganatos sejtszaporodás megáll, a daganatszövetek elpusztulnak, felszívódnak, az ép szövetek regenerálódnak, és a beteg - amennyiben még nincsenek áttételek - teljesen meggyógyul, újra munkaképes lesz.

Ugyanakkor egy jóval nagyobb, 6-15 cm sugaru, gömbhéjszerű, inhomogén besugárzásu testtérfogat a jelentősen kisebb átlagdózis következtében *sztochasztikus* sugárkárosodást szenved el, azaz a dózis nagyságától függő valószínűséggel *újabb rák* jelentkezése várható.

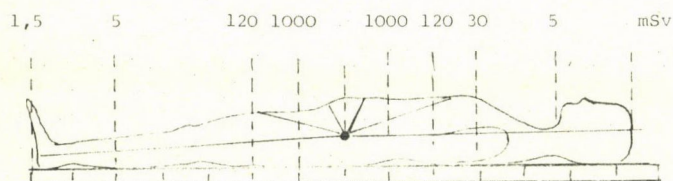
Végül a még nagyobb távolságban /30-80 cm/ fekvő testrészek már csak elhanyagolhatóan kicsiny sugárterhelésben részesülnek.

Egy konkrét esetre vonatkozó számításaink, illetve méréseink eredményeit a 3. ábrán láthatjuk, amely a háromnegyed évszázada folyó és ma is a legeredményesebbnek mondható méhüregi rádiumkezelés dóziseloszlását szemlélteti gomba alakú applikátor kerül. A 23 órás besugárzás alatt kapott összdózist a beteg különböző test-



3. ábra

$$H_E = \sum_T w_T \cdot H_T = 66 \text{ mSv}$$



4. ábra

részein a 4. ábra szemlélteti. Az effektív dózis-egyenérték kiszámítását az ICRP által megadott

$$H = \sum_T w_T D_T$$

képlettel végeztük az ábráról leolvasható D_T értékek behelyettesítéssel és megfelelő súlytényezők alkalmazásával:

$$\begin{aligned} H &= 0,25 \times 0 + 15 \times 30 + 0,12 \times 3000 \times \\ &\times 0,05 + 0,12 \times 37 + 0,03 \times 7 + 0,03 \times \\ &\times 3000 \times 0,1 + 0,03 \times 1000 \times 0,1 = \\ &= 66 \text{ mSv}. \end{aligned}$$

Összehasonlítva ezt a 66 mSv-et a sugárártalmas munkakörben dolgozók számára 1 évre megengedhető 50 mSv-es, azaz egy 30 éves munka periódusra vonatkozó összesen 1500 mSv-es effektív dózisegyenértékkel, azt mondhatjuk, hogy ez a dózisegyenérték ugyan nem nagy, de nem is elhanyagolhatóan kicsiny. Tűzdelekseknél általában egy nagyságrenddel kisebb értékekről van szó.

Az alkalmazott aktivitások és kezelési idők a *kórlapokon* megtalálhatók, tehát a számítások utólag elvégezhetők. Iyen módon tehát a dózis-hatásgörbe néhány, évtizedek óta várt, pontjának a birtokába juthatunk. A lényeg tehát abban foglalható össze, hogy a *sugárterápiás és sugárvédelmi ismereteink összekapcsolásából* egyértelműen következik, hogy a rákos daganatok brachiterápiás elpusztításával és a szervezetből való kikapcsolásával meggyógyított sok-sok beteg mindegyike elkerülhetetlenül egy sztochasztikus jellegű, azaz véletlenszerű, rákos megbetegedést kiváltható sugárterhelésben is részesül. Így a minimum 10 éves tünetmentességet megért, tehát az első rákos megbetegedésből feltétlenül kigyógyult betegek körében az ICRP szerint várhatóan nagyobb lesz a rákos megbetegedések száma, mint a soha orvosi besugárzásban nem részesült, de egyébként azonos koru, nemű, foglalkozásu stb. egyénekénél. Tehát *egyszerű statisztikai adatok begyűjtésével* él, vagy meghalt, mikor, miben/ minden további vizsgálat nélkül lényegesen és megbízhatóan kibővíthetők a kis dózisok hatására vonatkozó ismereteink, ha ilyen, tisztán rádiummal kezelt betegek kórlapjai kellő számban rendelkezésünkre állanak.

Igen lényeges körülmény, hogy *csak brachiterápiával* kezelt betegek jöhetnek számításba, mert teleterápiánál, azaz röntgen- és kobaltágyus kezeléseknél az effektív dózisegyenérték sokkal nagyobb, és nem számítható.

Ilyen beteganyag a világon nem sok helyen található, mert a negyvenes évek második felében már egyre több országban brachiterápia után kobaltágyuval teleterápiás külső besugárzásokat is alkalmaztak az akkor még gyakori áttétek kezelésére. Intézetünkben azonban csak másfél évtizedes késéssel építhettük meg hazánk első kobaltágyuját, és így páratlan nagy és értékes kórlapgyűjtemény várja, hogy 3-4 évtized után a világ elé tárják poros lapjaikról leolvasható sugárvédelmi vonatkozású titkaikat: nő-e, változatlan marad-e, avagy csökken a kis dózisu besugárzott személyeknél a rákos megbetegedések gyakorisága.