

mennyiségek, mint a környezeti (H^*) és a személyi (H_p) dóziségenértékek.

A gyakorlatban felmerülő bonyolult sugárzási terek mérés technikájának fejlődése (in-situ foton-, illetve neutronspektrometria), a számítógépes modellezés (Monte Carlo módszerek, jelenleginél realisabb fantomok, újabb adatbázisok az ionizáló sugárzás és az anyag fizikai kölcsönhatására), és az effektív minőségi tényező pontosabb meghatározását segítő sugárbiológiai és mikrodozimetriai kutatások eredményei, remélhetőleg még precízebbé és ugyanakkor egyszerűbbé is fogják tenni a sugárvédelmi fogalomrendszert a nem túl távoli jövőben.

Irodalom

1. KÖTELES GY. (szerk.): *Sugáregészségtan* – Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest, 2002
2. International Commission on Radiation Measurement and Units; ICRU-report No. 10c, 19, 33, 39, 40, 43, 47, 51, 57
3. International Committee on Radiological Protection; ICRP publications No. 26, 60, 74

4. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Paris, 14 October 1999 (1999)
5. H.O. WYCKOFF, F.A. ATTIX: *Design of free-air ionization chambers* – NBS Handbook 64 (1957)
6. York IAEA; Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Safety Report Series No. 16 (2000)
7. International Standard Organization; X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose-rate meters and for determining their response as a function of photon energy: ISO-4037 Part 1 (1996), Part 2 (1997) and Part 3 (1999)
8. ISO standards, numbers: 6980, 8529, 8769
9. IEC standards, numbers: 61526, 61846, 61512, 61283
10. IAEA; Assessment of Occupational Exposure due to External sources of radiation, IAEA Safety Standard series, No. RS-G-1.3 (1999)
11. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories ISO/IEC 17025: 1999
12. Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO, IEC, OIML,...) 1993
13. ISO 3534-1 1993 Statistics Vocabulary and symbols
14. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration EA-4/02 1999
15. I. CSETE et. al.: BIPM Reports, numbers: 2000/05, 02/12, 03/08, 94/13

BIOLÓGIAI ISMERETEK ÉS SUGÁRVÉDELMI SZABÁLYOZÁS

Köteles György

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

Az ionizáló sugárzás és a radioizotópok 108–109 évvel ezelőtti feltalálása örömet okozott, mindenki azt hitte, nagyon fontos eszközökhöz jutott a betegségek kezelésében. Ez így is van azóta is, de hamarosan rádöbbenek, hogy ezek a sugárzások igen veszélyesek, súlyos károkat okozhatnak a szervezetben. A szakmai társadalom reagált: létrehozta azt a bizottságot, amelyik a védelem feltételeit vizsgálja. Ez lett a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP). A széles körű társadalom félelme akkor terebélyesedett, amikor a hirosimai és nagaszaki bombázás eredményeiről értesültek. Ezt fokozta a hidegháborús fenyegetések miatti aggodalom, majd az atomerőművi balesetek Pennsylvaniában és Csernobilban. Azóta a sugárzás, az atom szavak hallatán sokan megrémülnek, anélkül, hogy tudnák miről is van szó. Rendszerint ez a helyzet például a kisebb atomerőművi üzemzavarok bejelentésekor is.

A jelen tanulmány célja a jogos aggodalmakat ápolni, erre felhívni a figyelmet, az indokolatlan aggályoskodásokat pedig csökkenteni. Az indokolatlan szorongás, félelem önmaga is egészségkárosító tényező!

A sugárzás tehát veszélyes, mint a tűz, de mint ahogyan a tűzvédelem teszi lehetővé a tűz elengedhetetlen, biztonságos alkalmazását, úgy a sugárvédelem intézkedik a sugaras technológiák biztonságos alkalmazásáról.

Körülöttünk természetes és mesterséges sugárforrások vannak, ezektől jól ismert, jól mérhető sugárterhelést kapunk, ezek nagyságrendje kijelöli számunkra a „mi a sok és mi a kevés” határait, jogszabályi, szervezeti, műszeres felkészültségünk van a sugárzási viszonyok ellenőrzésére és ha szükséges a munkahelyeken dolgozók és a lakosság megóvására az egészségkárosító sugárterhelésektől.

Az alábbiakban részint a sugárvédelmi határértékek változása, másrészt a jelenlegi biológiai ismeretek szerinti biológiai–egészségi hatásokat kiváltó dózistartományok kerülnek tömör ismertetésre.

A sugárvédelmi határértékek változása

A röntgensugárzás és a rádium felfedezését követő első két évtizedben számtalan sérülés történt, hiszen nem ismerték a hatásokat. Ez különösen csúcsondott az I. Világháború idején, amikor igen egyszerű, védelem nélküli, hordozható röntgenkészülékeket használtak. A német röntgentársaság már 1913-ban ajánlásokat tett közze, a brit röntgentársaság 1915-ben realizálta a védelem szükségességét, és 1921-ben erre vonatkozó ajánlásokat fogalmazott meg. A 20-as évek elején más országok is felzárkóztak a sugárvédelmi gondolatkörre, mint Olaszország, Norvégia és a Szovjetunió. Az első hazai Sugárvédelmi Szabályok megfogalmazására 1930-ban kezdődtek törekvések. 1925-ben az I. Nemzetközi Radiológiai Kongresszuson a nemzetközi együttműködés szükségessége vetődött fel. Ennek eredményeképpen megalakult az ICRU és 1928-ban az ICRP (akkori nevén *International X-ray and Radium Protection Committee*). A Bizottság mintegy 3 és fél oldalas ajánlást adott ki a röntgen- és rádiumexpozícióval szembeni védekezésről, nem fogalmazott meg ugyan határértékeket, de ajánlotta sugaras munkahelyen dolgozóknak a hosszabb szabadságot és a munkaórák csökkentését. Néhány mérföldkő:

A sugárvédelmi dózishatárértékek változása		
év	foglalkozási	lakossági
1934	toleranciadózis 0,2 r/nap ¹	
1951	maximálisan 0,5 r/hét egészttest megengedhető dózis 1,5 r/hét kezek, karok	
1955	egészttest, gonádok, vérképző szervek, mint kritikus szervek 300 rem/hét ²	
1958	kumulált dózisegyenérték 5 rem/év	kumulált dózisegyenérték 0,5 rem/év genetikai dózis 5 rem/generáció
1977	50 mSv/év dózisegyenérték 500 mSv/év szervekre 300 mSv/év szemlencsére	5 mSv/év egészttest 50 mSv/év szervekre
1990	effektív dózis: 20 mSv/év, öt évre átlagolva egyenértékdózis: szemlencsére 150 mSv/év bőrre 500 mSv/év kezekre, lábakra 500 mSv/év	effektív dózis: 1 mSv/év egyenértékdózis: szemlencsére 15 mSv/év bőrre 50 mSv/év

¹ 1 r = körülbelül 9 mGy, 0,2 r/munkanap = 500 mGy/év

² 1 rem = körülbelül 10 mSv

1934-ben

Zürichi találkozásaikon használták először a „toleranciadózis” fogalmát, amit körülbelül 0,2 röntgenben jelöltek meg naponta.

1931-ben

A Népszövetség egy bizottságot küldött ki, amelyik a sugárzással járó kockázatokat és a sugárvédelmet lett volna hivatott tanulmányozni.

1950-ben

Újjászervezték az ICRP-t, *International Commission on Radiological Protection*, magyarul: Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ettől kezdve ezen a néven).

1951-ben

Már megjelentették ajánlásaikat, amelyben a „maximális megengedhető dózis” fogalmát vezették be, amit 0,5 röntgenegységben határoztak meg 1 hétre vonatkozóan egészttest-besugárzás esetére és 1,5 röntgenre a kezekre és karokra. Úgy gondolták ugyanis, hogy az előző határérték, azaz a 0,2 r/nap nagyon közel van a káros hatások valószínű küszöbéhez. Ekkor vezették be először azt az elvet, miszerint „mindent el kell követni, hogy bármilyen ionizáló sugárzás esetén az expozíciót a lehetséges legalacsonyabb szintre kell csökkenteni”. Ekkor jelenik meg a relatív biológiai hatékonyság (RBE) és a standard ember fogalma. 11 nuklidra maximálisan megengedhető terhelési értéket adtak meg.

1952-ben

H. Müller a genetikai dózis határérték bevezetését ajánlotta, miszerint a *per caput* gonád dózis ne legyen több, mint 20 r (kb. 200 mSv). Szerinte ezt nem haladnák meg, ha a foglalkozási dózishatárértéket 0,3 r (kb. 3 mSv) heti értékben szabnák meg.

1955-ben

Bevezették a kritikus szerv fogalmát a gonádokra és a vérképző szervekre és az új határértéket 300 millirem/hét értékben szabták meg. Erre alapozva adták meg immár 90 radionuklidra a maximálisan megengedhető koncentrációt (MPC). Érdekes az a megfogalmazásuk, miszerint „a természetes háttérnél nagyobb sugárzási szintek nem tekinthetők abszolút biztonságosnak... és olyan gyakorlati szintet kell választani a mindenkori sugárbiológiai ismeretek alapján, amelyek kockázata elhanyagolható”.

1956-ban

Immár nőtt a lakossági védelemre vonatkozó igény a sztochasztikus hatások kivédéséért. Ajánlották, hogy az ellenőrzött zónán kívüli személyek ne kaphassanak a foglalkozási háttérérték 0,1-nél nagyobb sugárterhelést.

1958-ban

Az ICRP 1. számú közleményében az akkumulált dózis egyenérték fogalmát vezette be, valamint az évi határértéket 5 rem-ben szabta meg.

1965-ben

A 9. számú közlemény vezette be a dóziskorlát fogalmát, ezt a foglalkozási kategóriában évi 5 rem-ben, a lakosság egyedeire 0,5 rem-ben ajánlotta.

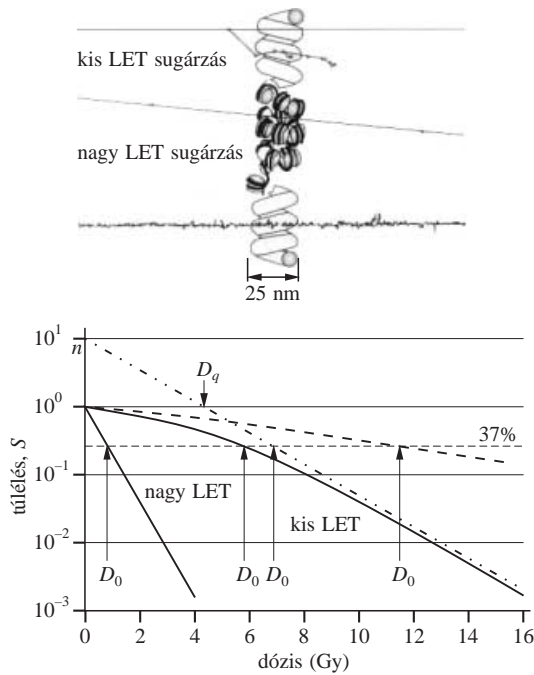
1977-ben

A 26. számú közlemény vezette be a rem helyett a sievert elnevezést, az effektív dózisegyenérték fogalmát, a sugárvédelem optimalizálása alapjául, az egészség károsodás (*Radiation Health Detriment*) fogalmát, a maximálisan megengedhető dózis helyett a dóziskorlát fogalmát. Ez utóbbi a foglalkozási kategóriára 50 mSv lett, a lakosság egyedeire 5 mSv, de úgy ajánlva, hogy hosszú távon átlagosan évi 1 mSv-nél ne legyen nagyobb. Elvetették a kritikus szerv fogalmát. A 30. számú közlemény maximálisan megengedhető koncentráció helyett (MPC) az évi felvételi korlát fogalmát (*Annual Limit of Intake*) vezették be. 1977-ben az ENSZ Atomsugárzás Hatásait Vizsgáló Tudományos Bizottsága (UNSCEAR) fordította először figyelmét a belső terek radonkoncentrációjára, ami hozzájárul az exponáltak effektív egyenértékdózisához.

1991-ben

A 60. számú közlemény a foglalkozási dóziskorlátot 5 évre átlagolva 100 mSv-ben szabta meg, azaz évente 20 mSv, de 50 mSv-nél nem nagyobb, a lakosság egyedeire pedig évi 1 mSv-ben.

A „toleranciadózis”-tól, a bőrpír kiváltását előidéző dózison át tehát hosszú út volt a mai dóziskorlátértékek bevezetéséig. Kezdetben alapvető szempont volt a de-



1. ábra. Különböző típusú sugárzások biológiai hatása. Fent: nagy és kis LET-értékű, sűrűn és ritkán ionizáló sugárzások energia átadásának szemléltetése a kromatin-struktúrában. Lent: nagy és kis LET-értékű sugárzások hatása oszló sejtek túlélésére. A túlélő sejtek részaránya (S) logaritmikus skálán, a dózis (D) – lineáris skálán – függvényében ábrázolva (ICRP 1991).

terminisztikus hatások elkerülése, majd a sztochasztikus hatások kockázatának csökkentése. Valójában tehát mindig az adott biológiai–sugárbiológiai ismeretek ösztönözték a határértékek változtatását, azaz egyre inkább a csökkentését.

A biológiai–egészségi hatásokat kiváltó dózistartományok

Ionizáló sugárzások biológiai hatását a szervezetben – szövetekben, sejtekben – elnyelt energia váltja ki. A hatás mértékét befolyásolja a különböző sugárzások minősége is. Minthogy csak az elnyelődő fotonok, illetve elemi részecskék váltanak ki biológiai reakciót, a rendkívül nagy energiájú és áthatolóképesű és ezért testszövetekben viszonylag kevésbé elnyelődő kemény röntgen- és gamma-fotonok kevésbé hatásosak, mint a nagyszámú iont létrehozó és rövid úthosszon elnyelődő részecske- (alfa, béta-, neutron-) sugárzások.

A lineáris energiaátadás (LET) a részecske haladásának nyomvonalán egységnyi távolságon belül átadott átlagos energia. Egysége: keV/ μm . Nagy LET-értékű sugárzás esetén a sejtek túlélési görbéje exponenciális lehet, azaz fél-logaritmikus ábrázolásnál lineáris (1. ábra). Jellemzője a D_0 érték, amely a 37%-os túlélést eredményező dózis. Kis LET-értékű sugárzások – úgynevezett ritkán ionizáló sugárzások –, mint például a röntgensugárzás, a dózishatás görbének a kezdeti szakasza kis dózisonál kevésbé meredek, mint a nagyobb dózisonál (1. ábra). Jellemzői az n érték, ami a görbe exponenciális szakaszának és a függőleges tengelynek a

metszéspontja és a „kvázi-küszöbdózis” (D_q), annak a görbe exponenciális szakaszának és a 100% túlélési szint vízszintesének metszéspontja. A kis és nagy LET-értékű sugárzások különböző biológiai hatását a relatív biológiai hatékonysággal (RBE) fejezik ki:

$$\text{RBE} = \frac{D_R}{D_T}$$

Az RBE a referenciasugárzástól (D_R) és bármely más ionizáló sugárzástól származó, ugyanazon biológiai hatás kiváltásához szükséges elnyelt dózisek (D_T) hányadosa. Vonatkoztatási sugárzasként a 250 kV röntgen- vagy ^{60}Co gamma-sugárzást alkalmazzák. Az RBE dimenzió nélküli szám, amely megmutatja, hogy a nagy LET-értékű sugárzás hányszor hatásosabb, mint a kis LET-értékű sugárzás. A LET-értékét kísérleti úton lehet meghatározni. Az RBE értéke függ az alkalmazott dózistól, dózisteljesítménytől és a használt biológiai rendszertől.

A fenti sugárbiológiai összefüggések rávilágítanak, arra, hogy a biológiai reagálásoknál a sugárzás fizikai tényezőit is figyelembe kell venni. Az RBE-érték ismeretének jelentőségét pedig éppen egy legutóbbi ICRP közlemény tárgyalja (ICRP92, 2003). A sugárzás okozta biológiai hatások kialakítását számos úgynevezett sugárhatást módosító tényező befolyásolhatja.

Sugárhatást módosító tényezők

Fizikai jellegűek: Sugárhatást módosító tényezőkkel már korábban is, mindig számoltunk. Így a sugárzás LET-értéke, a sugárzás dózisteljesítménye, a besugárzás jellege, azaz akut, krónikus, frakcionált. Maga az ICRP is bevezette a dózis–dózis teljesítménycsökkentő tényező értékét (DDRRF) (ICRP 60, 1991) a sztochasztikus hatások kockázatának becslésében.

A **kémiai jellegűekhez** az endogén és exogén antioxidáns és sugárvédő vegyületeket soroljuk. E téren az irodalomban az antioxidáns vegyületek és kapacitás feltérképezése folyik.

A **biológiai jellegűek** között ismert volt néhány sejtélet-tani jellegzetesség: oszló és nem oszló sejt közötti különbség, vagy a sejt oszlási cikluson belüli helye, a sejt-cikluson belüli fázisok szerepe. Újabbban e téren halmozódott fel sok ismeret, mint a génaktiválás és -gátlás jelenségei, a sejt-ciklus szabályozásának szerepe, a sejt–sejt közötti kommunikáció módozatai.

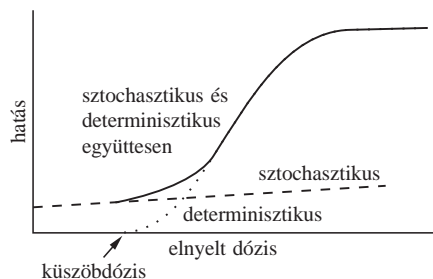
A sugárhatást módosító biológiai tényezők között újabbak is az érdeklődés előterébe kerültek. Ezek közül a kockázatot növelik:

- a gén- és kromoszómainstabilitás kialakulása,
- a közelhatás lehetősége, amikor a „találatot” kapott sejt szomszédjai is sérülnek.

Míg a kockázatot csökkentik:

- az alkalmazkodási válaszreakciók és a kis dózisú sugárzás sejt-folyamatokat stimuláló hatása, hormesis.

A sugárzás sejt-szintű biológiai hatásainak komplex ismerete hozzájárul a szervezeti szintű hatások megértéséhez.



2. ábra. Ionizáló sugárzás sztochasztikus és determinisztikus hatásainak dózis-hatás összefüggése.

A biológiai egészségügyi hatások a mérhető dózisértékekre vonatkozathatók. A hatások mértékét a dózishatás-összefüggések alapján becsüljük meg. Ez utóbbiak többféle modellel fejezhető ki. A sugárvédelemben két modell használatos (2. ábra):

- amikor a sugárzás dózisének növekedésével egy bizonyos biológiai hatás valószínűsége nő, ezek az úgynevezett sztochasztikus hatások, valamint

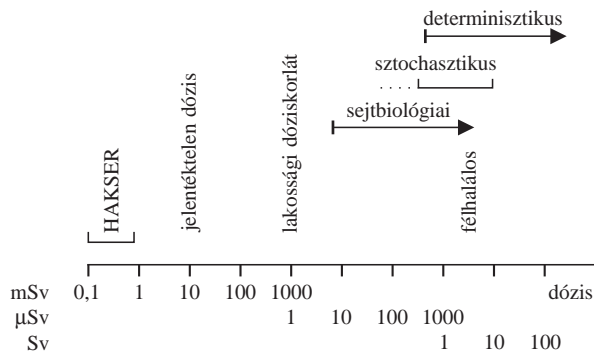
- amikor a sugárzás dózisének növekedésével egy „küszöbdózis” felett, egy bizonyos hatás súlyossága nő, ezek az úgynevezett determinisztikus hatások.

Sztochasztikus hatások a rosszindulatú daganat keletkezése és az örökletes károsodások. Determinisztikus hatások a szövetek, szervek sérülései, a sugársérülések, a sugárbetegség különböző tünetegyüttesei.

A sztochasztikus hatások közül örökletes hatásokat emberi népességben még nem észleltek. A rákkeletkezés valószínűségére pedig becslések vannak. A legnagyobb vitát az elmúlt években éppen az a kérdés váltotta ki, hogy vajon minden kis dózisonak tulajdonítható-e valamely valószínűség – bármilyen kicsi is –, vagy a sugárhatást módosító fizikai, kémiai tényezők, a biológiai védekezés hatására a kis dózisok kockázata lényegesen kisebb, esetleg elhanyagolható, akár nincs is. Ennek közegészségügyi jelentőségén kívül gyakorlati, pénzügyi jelentősége is van. A kérdés ugyanis az, hogy érdemes-e egyre többet költeni olyan szintű sugárterhelés-csökkentésre a nukleáris energia alkalmazása során, amely az évente természetes forrásoktól eredő terhelésnek ezredtizede része.

A determinisztikus hatások balesetek következtében fordulnak elő, ezek ellátására, kezelésére civilizált országokban az egészségügyi szolgálatokat jogszabályok kötelezik.

A kétféle hatás csoport elkülönítése, az elkülönítés tudatosítása a társadalomban azért is fontos, mert a sugárzashoz és annak hatásához sok téves elképzelés kapcsolódik. Ez sok indokolatlan félelem forrása. Az egyes sugárzási szinteket és az ezekhez kapcsolható biológiai hatásokat a 3. ábra szemlélteti. Látható, hogy a sztochasztikus, illetve a determinisztikus hatásokat kiváltó dózistartományok több nagyságrenddel különböznek egymástól. Hangsúlyozni kell azt is, hogy míg a determinisztikus hatások orvosi-biológiai módszerekkel diagnosztizálhatók, addig a sztochasztikus hatások az alacsony dózisok tartományában csak epidemiológiai módszerekkel mutathatók ki. Erre alapozta a kockázati tényezőket a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság



3. ábra. Dózistartományok és egészségi/biológiai hatások. (HAKSER: Hatósági környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszer, „jelentéktelen dózis”: évi 10 μSv, lakossági dóziskorlát: évi 1 mSv.)

(ICRP). A nagy dózisoktól származó megbetegedések gyakoriságából állapította meg a kockázati tényezőket. A kis dózisok felé lineáris extrapolációval lehet egy adott dózistartomány kockázatát megbecsülni. A rosszindulatú daganatos megbetegedésekre vonatkozó becslések emberi népességből származnak. Az örökletes elváltozásokra vonatkozó valószínűség becslése nem emberi populáción történt megfigyelésből származik, hanem sugárbiológiai kísérletekből, a genetikai kutatások különböző vizsgálati alanyaiból a növényektől a kísérleti állatokig.

Ami a 3. ábrából szintén nyilvánvaló, hogy a leginkább „rettegett” atomerőművi kibocsátásokból származó sugárterhelések normális működés esetén nagyságrendekkel a természetes háttér alatt vannak. Úgyisintén egyes balesetek, vagy üzemzavari esetek, amire volt példa, a természetes háttérnél lényegesen kisebb többletterhelést jelentettek a hazai lakosságra.

Ki mit tart kis dózissnak?

Az epidemiológiai tanulmányok alapján, a sugárexponált népesség rosszindulatú daganatos betegségeinek statisztikáját feldolgozó és összefoglaló szervezetek a mintegy 200 mSv effektív dózis alatti tartományt kis dózissnak tekintik. Ez az érték úgy adódott, hogy 200 mSv alatt a rákos megbetegedési statisztikák elbizonytalanodnak, nem volt kimutatható szignifikáns összefüggés a dózis és a hatás, illetve a sugárzás indukálta és a nem sugárzás okozta rosszindulatú daganatok gyakorisága között (lásd szaggatott rész sztochasztikus hatások alsó dózistartományában). Bizonyos epidemiológiai felmérések mutattak összefüggést, például pajzsmirigy, emlőrákok, valamint *in utero* besugárzott magzatok későbbi rosszindulatú megbetegedése eseténél, de a tapasztalatok alapján úgy tűnik, hogy a kis dózisok daganatkeltő hatásaira nem általánosíthatók az ICRP kockázati értékei.

Sejtbiológiai módon meglepő módon számos olyan biológiai jelenség érzékelhető, amelyet már 10–100 mSv kivált. Ezt a dózistartományt tekintik a kis dózis tartományának. Sejtszintű elváltozások vizsgálatánál indokolt a mikrodozimetriai megközelítés, amikor az energiaátadást sejtszintű méretekben vizsgálják, a találatok valószínűségét ilyen kis térfogatokra vonatkoztatják. Mikrodozimetriai megkö-

zelítésben azt tekintik kis dózisnak, amikor a célpont-terefogat 20%-át éri találat. A sejtszintű reakcióknál hangsúlyozni kell, hogy ezek nem vezetnek feltétlenül károsodásokhoz, hiszen a reakálás, a hibák, elváltozások kijavítását is magába foglalja.

Következtetések

- Az ionizáló sugárzás jól ismert sztochasztikus hatása a rosszindulatú daganatkeltés. A legkisebb dózis, amely statisztikailag szignifikáns módon emeli a kockázatot, 100 mSv körül van. Ez önmagában még nem jelenti küszöbdózis létezését, de arra utal, hogy az egyéb, rákkeltő hatások között ekkora sugárterhelés kockázata eltöppül.

- A mesterséges sugárforrásoktól származó mintegy 1 mSv évenkénti terhelés kockázata a természetes háttér felett, jelenleg nem különböztethető meg a mindennapos, különböző okú egészségkárosító veszélyek között.

- Megfelelő tájékoztatás, gazdasági, környezeti, etikai és pszichológiai ismeretek bővítése szükséges ahhoz, hogy a biztonságos alkalmazás megvalósuljon és azt a társadalom elfogadja éppen a saját jóléte, biztonsága, egészsége és közegészségügye érdekében.

- A kis dózissal szembeni aggályoskodás nem szabad, hogy eltérítse a társadalmat az orvosi alkalmazások jótékony hatásainak kihasználásától.

- További kutatások szükségesek a különböző hatások dózis-hatás viszonyainak tanulmányozására, a kisdózisú sugárzás biológiai hatásainak vizsgálatára, a sejtek és

a szervezet védekezési és alkalmazkodási mechanizmusainak megismerésére, az exponált emberi közösségek epidemiológiai elemzésének kiterjesztésére, finomítására.

Irodalom

- BISZTRAY-BALKU SÁNDOR, BOZÓKY LÁSZLÓ, KOBLINGER LÁSZLÓ: *A sugárvédelem fejlődése Magyarországon* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1982
- 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – ICRP60, Annals of the ICRP, 21, No. 1–3, 1991
- Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (W_R) – ICRP92, Annals of the ICRP, 2003, Pergamon
- B. KANYÁR, G.J. KÖTELES: *Dosimetry and biological effects of ionizing radiation in „Radiochemistry and radiopharmaceutical chemistry in life sciences”* – ed. Rösch, F., Handbook of Nuclear Chemistry, Vol. 4. Chapter 10., Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Boston, London, 2003
- KÖTELES GYÖRGY: *Ionizáló sugárzás kiváltotta biológiai hatások és közegészségügyi jelentőségük* – Egészségtudomány 38 (1994) 195–206
- KÖTELES GYÖRGY, TÓTH ESZTER: *Gondolatok az ionizáló sugárzás kis dózisainak hatásairól* – Fiz. Szle. 49 (1999) 394–400
- KÖTELES GYÖRGY: *Civilek és szakemberek a nukleáris arénában* – Környezetvédelem 2000. XII. 21.
- KÖTELES GYÖRGY: *A sugáregészségügyről dióhéjban* – Tisztiorvos 3 (2000) 11–14
- KÖTELES GYÖRGY: *Új szempontok a sugárvédelem biológiai alapjaiban* – Egészségtudomány 44 (2000) 312–321
- KÖTELES GYÖRGY: *A csernobili baleset miatt bekövetkezett lakossági sugárterhelés egészségi kockázatai* – Orvosi Hetilap 143 (2002) 1411–1414
- LÁZÁR ISTVÁN, KÖTELES GYÖRGY: *Sugárzás és biológiai rejtélyek* – Fiz. Szle. 52 (2002) 151–154
- LINDELL BO: *A brief history of ICRP* – NRPB Radiol Prot. Bull., No. 209, 210, 211 (1999)
- Sugáregészségtan* (szerk.: Koteles György) – Medicina Kiadó, Budapest, 2002
- Sources and effects of ionizing radiation* – United Nations, New York, 1993
- Sources and effects of ionizing radiation* – United Nations, New York, 2000

A HAZAI SUGÁRVÉDELMI MŰSZERGYÁRTÁS MŰLTJA ÉS JELENE

Bäumler Ede, Gamma Műszaki Rt.

Deme Sándor, KFKI AEKI

Vincze Árpád, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

A nukleáris mérőműszerek az ionizáló sugárzás mérésére szolgálnak, ezeken belül azokat tekintjük sugárvédelmi műszernek, amelyeket csak sugárvédelmi célra lehet használni, így a sugárzás dózisát, dózisteljesítményét, a felületi szennyezettséget mérő eszközök alkotják a csoport zömét. A sugárvédelem használ más műszereket is, például számlálókat, spektrométereket, de ezeket már nem soroljuk a sugárvédelmi műszerek közé, ahogy az orvosi célú sugázmérőket sem.

A sugárvédelmi műszerek együtt fejlődtek a sugárzás alkalmazásával. Kezdetben a rádium- és a röntgensugárzást kellett csak mérni, de attól a pillanattól kezdve, hogy működésbe lépett az első atommáglya, majd felvillant az első atombomba, a sugárvédelem mérés technikájának az új terület követelményeinek is meg kellett felelnie.

A múlt század ötvenes éveinek közepén már magas színvonalú nukleáris kultúra alakult ki hazánkban, első sorban a Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) vezetésével. Ez megnyilvánult a nukleáris, köztük a sugárvédelmi eszközök fejlesztésében és gyártásában is. Nem véletlen,

hogy már az első szovjet licencek honosításával egyidejűleg elkezdődhetek az első hazai fejlesztések, hiszen éppen állt a tudományos háttér, a szakembergárda. A kutató-fejlesztő intézmények között a KFKI mellett fontos szerepet játszott a debreceni Atommagkutató Intézet (ATOMKI), az Izotóp Intézet, a Mecseki Érbányászati Vállalat (MÉV), a Budapesti Műszaki Egyetem (BME), a Semmelweis Orvostudományi Egyetem (SOTE), a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem és más egyetemek, az utóbbiak általában egy-egy speciális kérdésben. Emellett az igények révén lényeges szerepük volt a felhasználóknak, köztük az orvosi intézményeknek, majd a nukleáris létesítményeknek, elsősorban a Paksi Atomerőműnek.

A hazai műszergyártás kezdetei

Az 1950-es években az atomháború veszélye reális fenyegetésnek tűnt, ezért sürgetővé vált a hadsereg és a polgári védelem ellátása sugázmérő műszerekkel. A