

SZEGEDI ORVOSTUDOMÁNYI EGYETEM

DÉLMAGYARORSZÁG LAKOSSÁGÁNAK MESTERSÉGES
EREDETŰ SUGÁRTERHELÉSE

Doktori értekezés



Milassin Tamás

1985

B 5129



E 2.499

T a r t a l o m

Bevezetés	2. old.
Előzmények	4. old.
Kitűzött céljaim	6. old.
Anyag, módszer	7. old.
Az ionizáló sugárzások élettani hatásainak rövid áttekintése	11. old.
I. Fizikai jellemzők	11. old.
A sugárzások mérése	13. old.
II. Az emberi szervezet sugárreakciói	14. old.
Genetikai hatások	21. old.
Az embert érő sugárhatások számbavétele	31. old.
I. Háttérjellegű sugárhatások	31. old.
Természetes háttérsugárzás	31. old.
Mesterséges eredetű háttérsugárzás	33. old.
A nukleáris technológiák hatása kör- nyezetünkre	35. old.
II. Sztochasztikus sugárhatások	43. old.
Foglalkozási sugárterhelés	43. old.
Röntgenvizsgálat páciensdózisai	46. old.
A sugárterápia egyes vonatkozásairól	64. old.
A röntgenvizsgálatokból eredő átlag- gos dózis meghatározása	67. old.
Izotópdiagnosztika	70. old.
A hazai lakosságot érő átlagos sugár- terhelés összegzése	75. old.
Az eredmények értékelése	80. old.
Javaslatok	82. old.
Összefoglalás	83. old.
Irodalom	85. old.
Függelék	92. old.

Bevezetés

A radioaktivitás és a röntgensugárak felfedezése a természettudományok történetének legnagyobb forradalmát indította meg: a klasszikus fizika mellett megszülető modern kvantumfizika a hozzá kapcsolódó matematikai apparátussal lehetővé tette az anyag elemi strukturájában való gondolkodást, ezzel forradalmian átalakítva a kémiát, majd napjainkra a biológiát is. Példátlan számú lehetőséget találtak a különféle sugárzások alkalmazására, melyek közül sok olyan természetessé vált, hogy elképzelhetetlen lenne nélküle életünk. Az alkalmazások olyan rendkívüli eredménnyel jártak, hogy szinte semmi tartózkodás nem nyilvánult meg a különféle sugárzásokkal szemben. Veszedelemességét az uttörők nemegyszer életük árán tapasztalták ki. A sugárzások alkalmazásáról ma sem mondunk le, viszont biztosítani kell a s u g á r v é - d e l e m segítségével azt, hogy a negatív hatásaik elhanyagolhatóan kicsinyek legyenek az eredmények mellett. Különösen fontos, hogy a sugárzás hatására bekövetkező biológiai hatások népességi szinten az emberiséget semmiképpen se veszélyeztessék. Ezt a népesség számára igen alacsony szinten megállapított dóziskorláttal kívánják biztosítani. Vannak azonban olyan sugarhatások, melyek az egyén érdekében végzett eljárások elkerülhetetlen részei.

Ezekre nincs korlátozás. Az ionizáló sugárzással végzett orvosi vizsgálatok növekvő száma és terjedelme miatt a korlátozás alá nem eső sugárhatások ma már a dóziskorlát többszörösét is kitehetik. Dolgozatomban e korlátozás alá nem eső sugárhatások mai hazai szintjét határozom meg, hogy összevethessük az "átlagember" átlagos sugárterhelését a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság /International Committee of Radiological Protection ICRP/ ajánlásaival. Az egészségügyi kockázat számításánál valamennyi sugárhatás növeli a kockázatot. Nem vesszük a kockázatszámításnál figyelembe az életmentő sugárkezelések hatását, mert itt az elért eredmény egyértelműen pozitív. Különösen élesen kell azonban megítélni az olyan, jelenleg ionizáló sugárzással végzett vizsgálatokat, melyek veszélytelenebb módszerrel való kiváltására megérték a technikai feltételek. Az eredmények alapján a sugárvédelem jobbítására, egyes eljárások korszerűsítésére teszek javaslatot, összhangban a WHO /World Health Office, az ENSZ Egészségügyi Szervezete/ 1983. évben közzétett új röntgendiagnosztikai koncepciójával, mely az indokolatlan vizsgálatok jelentős visszaszorítását szorgalmazza /CSÁKÁNY, 1984/.

Előzmények

Sugáregészségügyi munkánk mellett a közelmúltban az Egészségügyi Minisztérium részére felméréseket végeztünk a munkaterületünkön lévő orvosi röntgen, és ipari radiográfiás munkát végzők sugárvédelméről. Kiegészítette e munkát az Országos "Frédéric Joliot Curie" Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézettel végzett munkánk az ernyőképszűrés általános helyzetéről. Ennek során vizsgáltuk először a betegek sugárterhelését. A vizsgálatokról, azok tapasztalatairól előadásokban számoltunk be /MILASSIN 1980, CSISZÁR 1984, SALY 1985/.

A betegek sugárterhelését jelenleg semmilyen előírás nem korlátozza. Az OSSKI-val közösen végzett felmérésünk során határoztam el, hogy megkísérlem feldolgozni és meghatározni a lakosságot érő mesterséges eredetű sugárhatás nagyságát. Ennek sokfélesége végül a vártnál nagyobb feladatot jelentett, és az információk között eltörpült saját munkánk adatbázisa. Nagy segítséget és inspirációt jelentett Tóth Árpád munkája, "A lakosság természetes sugárterhelése" /1983/, mely módszertani és sugáregészségügyi szemléletében felfogásunkhoz igen közel áll. Hasonlóan nagy jelentőségű a sugárvédelem nemzetközi szervezetének, az ICRP-nek 26. kiadványa, mely új sugárvédelmi szemléletet vezet be. A szemléletváltozás lényege, hogy míg az eddigi sugárvédelmi alapelvek valamely

észrevehető szervi ártalom kivédésére alapozták a dóziskorlátozás rendszerét, addig az új alapelv a sugárveszélyes foglalkozású emberek teljes foglalkoztatási tartamára /30 év/ vett egészségkárosodási kockázat csökkentését tűzi ki célul. Jelenleg ugyanis a sugárveszélyes munkát végzők kockázati faktora pl. a bányászattal mérhető össze, és az új szemlélettel végzett dóziskorlátozás alapján kívánják az átlagos ipari foglalkozásokkal összevethetővé csökkenteni. E szemléletbeli változások ösztönöztek arra, hogy megvizsgáljam, hazai viszonyok között mekkora az átlagos mesterséges eredetű sugárterhelés.

Kitűzött céljaim

A sugárvédelem új szemléletét a sugárveszélyes munkát végzőkre dolgozták ki. A hazai lakosság jobb védelme érdekében továbbfejleszttem e szemléletet. Dolgozatom megkezdésekor az alábbi célokat tűztem ki.

1. A sugárbiológiai ismeretek feldolgozása, összefoglalása.
2. A népességi sugárterhelésre vonatkozó hazai és külföldi információk feldolgozása.
3. A nemzetközi sugárvédelmi szervezetek új ajánlásainak továbbfejlesztése a lakossági sugárterhelés vizsgálatára.
4. A különösen nagy népességi sugárterheléssel járó eljárások páciensdózisainak vizsgálata a délmagyarországi területen. A területünkön érvényes átlagos dózis meghatározása.
5. A kiszámított sugárterhelés alapján meghatározom jellemző esetekre a népességi kockázatot.
6. Áttekintem azokat a lehetőségeket, melyek reális ráfordítással lényegesen csökkentik a népességi sugárterhelést.

Anyag, módszer

Dolgozatomban a hazai lakosság sugárterhelését vizsgálom, és ennek várható egészségügyi hatásait. Különösen a mesterséges eredetű sugárhatásból származó többletterhelést vizsgálom, mert a természetes sugárhatások évezredek alatt is közel állandók, és hatásuk az emberiség életébe beépült.

A vizsgálati "anyag" hazánk lakossága lenne. Természetes, hogy ma élő emberek életkilátásairól csak modellek alapján lehet valamit is megállapítani. Modelleket a Japán elleni atomtámadások túlélőinek vizsgálata és az atomipar nagyüzemeiben dolgozók egészségügyi ellenőrzése során kapott információk alapján állítottak fel először emberre. Ezeket folyamatosan pontosítják. Munkámban az ICRP, az International Radioprotection Agency /IRPA/, és az United Nations Radioprotection Agency /UNRA/ legújabb megállapításait használom fel. Ezért lényegesen pontosabbak egyes adatok, illetve egyes fogalmak, melyek használatában megegyezés született. /Pl. a megbetegedés és a halálozás elhatárolásáról, ami az adatok összevethetőségét nagyon zavarta./ Mindebből következik, hogy az információk igen nagy része szakirodalomból származik. A hazai adatok és információk ismert és a nem közzétett része is egybevághat a szakirodalmi adatokkal. Saját vizsgálati eredményeink nem kísérleti eredmények, hanem az országot átfogó, egy-

séges mérőszolgálat helyi részeredményei, melyeknek önállóan csak kis jelentőségük van. Ezért különös kivételektől eltekintve a helyi adatok nem lesznek elkülönítve a hazai adatbázistól.

Dolgozatom lényege a sugáregészségügyi helyzet vizsgálatánál alkalmazott új szemlélet. A legutóbbi időkben fogalmazták meg a foglalkozási sugárvédelem új alapelvét: a sugárveszélyes foglalkozások veszélyeztetettsége ne legyen nagyobb, mint bármely átlagos ipari foglalkozás esetén lenne. A fejlődést a veszélyeztetettség valószínűségi megfogalmazása jelenti: a korábbi dóziskorlátozási elvek valamely szerv /eredetileg a bőr/ még éppen regenerálódó károsodását tekintette alapnak, a hozzátartozó dózissal. A kockázat-elvet elfogadva, a lakossági átlagos sugárterhelés dóziskorlátját abból lehet meghatározni, hogy a várható élettartamra vonatkozó kockázat ne befolyásolja érdemben az átlagember várható életkorát. Azt kívánjuk tehát, hogy lényegesen alacsonyabb legyen ez a kockázat mint pl. a dohányzás hatása.

Komplex, minden sugárhatást figyelembevevő szemlélettel kívánom meghatározni a hazai lakosság teljes radiokockázatának mértékét. A kockázat számítását nehezíti, hogy kis dózisu, alacsony fajlagos ionizációképeségű sugárhatások dózis-válasz függvénye nem eléggé meghatározott. Több közelítés készült, a tapasztalatok leg-

jobban a lineár-kvadratikus modellt igazolják. Ezt alkalmazom a számításoknál, a valószínűségi értelemben vett népességi, illetve személyi kockázatok számítására.

Felméréssel gyűjtöttünk adatokat a sugárveszélyes tevékenységek műszaki és személyi feltételeiről. A röntgenintézetek betegforgalmát, felvételi teljesítményét, dolgozóik sugárvédelmi helyzetét vizsgáltuk. Hasonlóképpen vettük fel az ipari radiográfiát végzők munkakörülményeit. E vizsgálatok a hivatásszerűen sugárveszélyes tevékenységet végzők munkafeltételeit és sugárvédelmi helyzetüket tisztázták. Már e felmérések során kiterjesztettük a vizsgálatokat a betegek sugárvédelmét érintő feltételekre is. Lehetőség szerint páciensdózist is mértünk. Az általunk mért páciensdózisok kiterjesztésére hazai és néhány német, svéd intézményben felvett adatot használtunk fel /GUSTAFSSON, 1984; BUNZL, 1983/. A páciensdózisok meghatározásában nagy segítséget kaptunk az OSSKI munkatársaitól. Sajnos, a mért páciensdózisok lényegesen magasabbak, mint az irodalmi értékek. Ebből felvételtechnikai és műszaki hiányosságokra következtettünk /SALY, 1985/.

Az izotópdiagnosztikai vizsgálatoknál a SZOTE Központi Izotópdiagnosztikai Laboratóriumában igen sok tapasztalatot szereztünk, és mérésekkel, igen jó együttműködés-

sel alapoztuk meg a munka vonatkozó részét. A hazai forrásból meg nem szerezhető információk nagy része W. KEAM /1983-1984/ munkáiból származik /forgalmi, páciensdóziometriai adatok, csontvelő dózisok/. A felméréseken szerzett és szakirodalmi adatokkal kiegészített forrásadatok alapján elkészitem a népességi sugárterhelés számítási alapjául szolgáló dózisösszegzést. Ebből az átlagos sugárterhelés, csontvelődózis, genetikai dózis számítható. Ezek alapján a szakirodalomban szereplő számítások útján meghatározom a népességi átlagos sugáreredetű kockázatot. Ennek összevetése más kockázatokkal tanulságos, de nem feledtetheti, hogy egyes emberek nagy dózisokat is elszenvedhetnek, és egyéni érzékenységük is súlyosbithatja a sugárhatások következményeit.

Dolgozatomban több forrásból származó - valóságos helyzetekben szerzett adatok szerepelnek. Ezekre vonatkozóan az egyes források különféle adatvédelmi előírásokat fogantatosítottak. Több esetben kellett hazai adatot lényegében egyenértékű irodalmi forrásadattal helyettesíteni a fentiek miatt. Ezért a kialakított adatbázis több forrásból származik, melyek koherenciáját a körülmények, mérési módszerek gondos elemzésével biztosítottam.

Az ionizáló sugárzások élettani hatásai- nak rövid áttekintése

I. Fizikai jellemzők

Ionizáló sugárzásnak nevezzük mindazon korpusz-
kuláris vagy fotonsugárzásokat, melyek az anyagon átha-
ladva kölcsönhatásba lépnek azzal és egyes semleges a-
tomokat ionokká alakítanak át. Az ionizációs mechaniz-
mus többé-kevésbé jellemző egy-egy sugárzásfajtára. Az
egyes sugárzások jellemzői röviden:

Alfasugárzás

A magból kilépő He^{++} ionokat nevezzük alfarészecskének.
Energijuk 4-10 MeV között változik. Az ionizációsűrűség
a részecske pályája mentén 20-60.000 ionpár/cm. Előfor-
dul, hogy az alfarészecske atommaggal ütközik. Ekkor e-
nergijája nagyrészt elveszti és irányt változtatva halad
tovább /Rutherford-szórás/, végül vagy semlegesítődik,
vagy valamely magreakció során "tűnik el".

Bétasugárzás

Az atommagból kilépő elektronokat nevezzük bétarészecs-
kének. Energijuk folytonos, néhány MeV-ig terjed. Kis
tömegük miatt a kölcsönhatások során erősen szóródnak,
a pálya zezugos. Hatótávolság a közeg sűrűségével for-
ditottan arányos. Leggyakrabban a héjelektronokkal ke-

rül kölcsönhatásba, villamos erőterben fékeződve energiáját gamma-fotonként sugározza le.

Neutronsugárzás

A neutronok semleges magalkotók, melyek igen sok magreakcióban játszanak fontos szerepet. Maghasadásnál, és /alfa,n/ reakciók során keletkezik. A neutronok csoportosítása energia szerint a reakciók típusa szerint történik: lassu, termikus, közepes, gyors, igen gyors neutronokra. A neutronok hatótávolsága levegőben igen erősen energiatfüggő, néhány cm-től 2-2,3 km-ig terjedhet.

Gamma-sugárzás

A magreakciókat és az elemi részecskék kölcsönhatásait igen gyakran kíséri gamma-sugárzás. A gamma-fotonok hordozzák a reakciók energiamérlegének többletét, illetve ugyanígy, egyes folyamatok csak akkor mennek végbe, ha a szükséges energiatöbbletet pl. egy gammafoton-találat biztosítja. A gamma-reakciók három fő csoportba sorolhatók: fotoelektromos hatás, Compton-szóródás, párképződés. A gammafotonok maximális hatótávolsága levegőben kb. 3,5 km.

Röntgensugárzás

A gamma-sugárzással azonos tulajdonságú elektromágneses sugárzás, melyet keletkezése különböztet meg: az atommagból származó gamma-sugárzással szemben a röntgensu-

sugárzás az elektronok antikatódon való lefékeződése során keletkezik. Az elektromos erőterben fékeződő elektronok folytonos energiaspektrumú röntgensugárzást bocsátanak ki, a magelektronokkal kölcsönhatásba kerülő elektronok az ún. karakterisztikus röntgensugárzást bocsátják ki.

Az ionizáló sugárzások mérése

Az ionizáló sugárzások mérésével kapcsolatban elvi és gyakorlati nehézségek vannak. Elvileg: igen nehéz bármely mérési módon egy adott térfogatelemen áthaladó valamennyi részecskét, ill. fotont detektálni. Ezért a sugárzások mértékegysége, a dózis azt a sugárzásmennyiséget jelenti, mely az adott térfogatelem anyagával kölcsönhatásba lépett./elnyelt dózis/. Az ionizáló sugárzások mérési elvét Szilárd Leó fektette le 1914-ben, a levegő ionizációjának mérésével. A Szilárd-féle besugárzási levegődózis egysége lett a röntgen /R/, mely 1 cm^3 normál állapotú levegőben 1 elektrosztatikai egységnyi elektrópárt kelt. Ez megfelel $87,7\text{ erg/cm}^3$ fajlagos ionizációs energiának. 1980-tól a dózis S.I. mértékegysége az adott közegben elnyelt energia, J/kg. Az egység neve: gray /Gy/. A nyolcvanas évek elején az S.I. mértékegységek bevezetésével valamennyi ionizáló sugárzásról szóló szabványt átdolgozták. Dolgozatomban az új mértékegységeket és jelöléseket alkalmazom. A régi és új mértékegysé-

gek közötti átszámítás megkönnyítésére táblázatot állítottam össze /függelék 1. táblázat/. A mérési utasításokat, módszereket, technikai előírásokat e szabványok részletesen tárgyalják, ezért külön nem ismertetem. A méréseket e szabvány előírásai szerint végeztem. /MSZ 14341-78, MSZ 14342-78, MSZ 14349-78, MSZ 62, MSZ 824-80, MSZ 836-80, MSZ 10344/1-80, MSZ 10344/2-80./BISZTRAY-BALKU, 1979, VIRÁGH, 1985/.

II. Az emberi szervezet sugárreakciói

Emberi szervezetet kísérletnek kitenni nem szabad, így adataink és ismereteink a reaktorbalesetek áldozatainak, valamint az atombombatámadások túlélőinek vizsgálatából származnak. E kevés adatot igen sok állatkísérlet eredménye, valamint sugárterápiás tapasztalatok egészítik ki. Már 1906-ban megfogalmazták, hogy a sejtek sugárérzékenysége morfológiai fejlettségüktől és fejlődési stádiumuktól erősen függ. Muller kísérletei 1927-ben kimutatták, hogy a morfológiai károsodásoknál lényegesen kisebb dózisok hatására súlyos genetikai változások között sugárspecifikus elváltozás nincs. A genetikai hatások közül pl. a dicentrikus kromoszómák kizárólag besugárzás hatására jönnek létre. A morfológiai és genetikai hatások együttes vizsgálatával következtetni lehet a kapott dózis nagyságára. Igen sok vizsgálati eredmény fel-

használásával meghatározták az élő szervezetek általános dózis-válasz függvényét, mely megfelelő fajspecifikus paraméterek helyettesítésével /megfelelő nagy sokaság átlagára/ leírja a sugárhatásra bekövetkező károsodásokat /RADFORD, 1980; BURKART, 1982/.

A dózis-válasz függvény:

$$I /D/ = / \alpha_0 + \alpha_1 D + \alpha_2 D^2 / e^{-\beta_1 D + \beta_2 D^2}$$

ahol

$I /D/$: a sugárzás következtében bekövetkező halálozás esetszáma, rendszerint eset/millió fő év mértékegységben megadva;

α_0 : a besugárzatlan egyedeken bekövetkező, a sugáreredetűtől el nem határolható esetek száma milliónként, évente;

α_1 : a dózissal egyenesen arányos folyamatok paramétere /lényegében az "egytalálatos" eseményekre jellemző/,

α_2 : a dózis négyzetével arányos, közvetetten ionizáló folyamatokra jellemző paraméter.

A $[-\beta_1 D + \beta_2 D^2]$ exponenciális tag az un. túlélési tényező. A benne szereplő β_1 és β_2 mennyiségek értelmezése az α_1 és α_2 paraméterekéhez hasonló, de míg az alfa-paraméterek a karcinogenezist írják le az adott folyamat kapcsán, addig a béta-paraméterek a sejtpusztulás egy adott hatásmechanizmussal leírható arányossági tényezői.

Adott élő szervezet statisztikus sokaságaira az egyenlet kb. 30 %-os bizonytalansággal adja meg a sugárhatásra bekövetkező direkt és indirekt halálozás mértékét. A bennünket érdeklő kis, 1 Gy alatti dózisok tartományában a modellezés nehéz, mert a sugárindukált folyamatoknál sokkal erősebb hatások is érvényesülnek /pl. ember esetén: balesetek, dohányzás, foglalkozási ártalmak, stb./.

A kis dózisok tartományában α_0 -t önkényesen nullának lehet választani, ha az adott népesség csak a háttérsugárzást szenvedte el a vizsgálat kezdetéig. A hosszú túlélést feltételezve a sejtpusztulás hatása minimális, tehát az exponenciális, direkt sugárhalált leíró tagot 1-nek vehetjük. Már 3 Gy dózis alatt β_1 és β_2 értéke $1-3/10^{-5}$ közötti. Ugyanezen dózishatárnál α_1/α_2 és β_1/β_2 értékei reciprokai annak a dózisnak, melynek lineáris és kvadratus hatásai megegyeznek, azaz ha pl.: $\alpha_1/\alpha_2 = 0,01$, akkor ez a dózis 100 R, azaz 1 Gy. Ha a hányados 0,002-nél kisebb, a dózis-négyzetes tag súlya igen kicsiny, lényegében elhanyagolható. Ez a helyzet 50-300 R, azaz 0,5-3,0 Gy között.

A dózis-válasz függvény formája eltér a nagy és kis fajlagos ionizálóképességű sugárzásoknál. Nagy ionizálóképességű sugárzás nagy dóziséknál a csoport rákeset-növekményét az



$I/D = \alpha_1 D \cdot /1 + 0,003 \cdot D/ \cdot \exp/-0,01 \cdot D/$ formula adja, α_1 az 1. táblázatból vehető. E függvénynek 1,28 Gy-nél van a maximuma. Kis fajlagos ionizálóképességű sugárzás nagy dózisára

$I/D = \alpha_1 D \cdot /1 + 0,01 \cdot D/ \cdot \exp /-0,001 \cdot D /1 + 0,01 \cdot D/$ alakú a kifejezés. Alakja szigmoid, a 0-2 Gy tartományban lényegében egyenes a "hatásgörbe" /1. ábra/.

A közelítő formulák összehasonlítását W. Burkart munkája nyomán az 1. táblázat foglalja össze /BURKART, 1982/.

Ebből választhatók az α_1 , α_2 paraméterek a közelítésnek megfelelően. Látható, hogy a legkisebb szórású lineáris-négyzetes közelítésnél a paraméterek bizonytalansága igen nagy. A függvények alakját, az egyes közelítések összevetését az 1. ábra segíti, amely a BEIR III. jelentésben szerepelt./U.S. National Research Council, Advisory Committee of the Biological Effects of Ionizing Radiation. Report III. "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" 1980./.

Kitűnik, hogy kis dózisoknál nem nagy eltérést okoz a különböző függvények használata. Különösen a direkt sugárkárosodás szakában nagyok az eltérések, itt közelítő formulát használni nem szabad. /RADFORD, 1980/

A 2. ábrán a tapasztalati adatok /Nagasaki túlélőinek leukémia incidenciája 1950-1971 között/ összevetése látható a kvadratikussal és a lineáris közelítésben.

1. táblázat: Az ionizáló sugárzások biológiai hatásának számítására használt különféle közelítések összehasonlítása /BURKART, 1982/

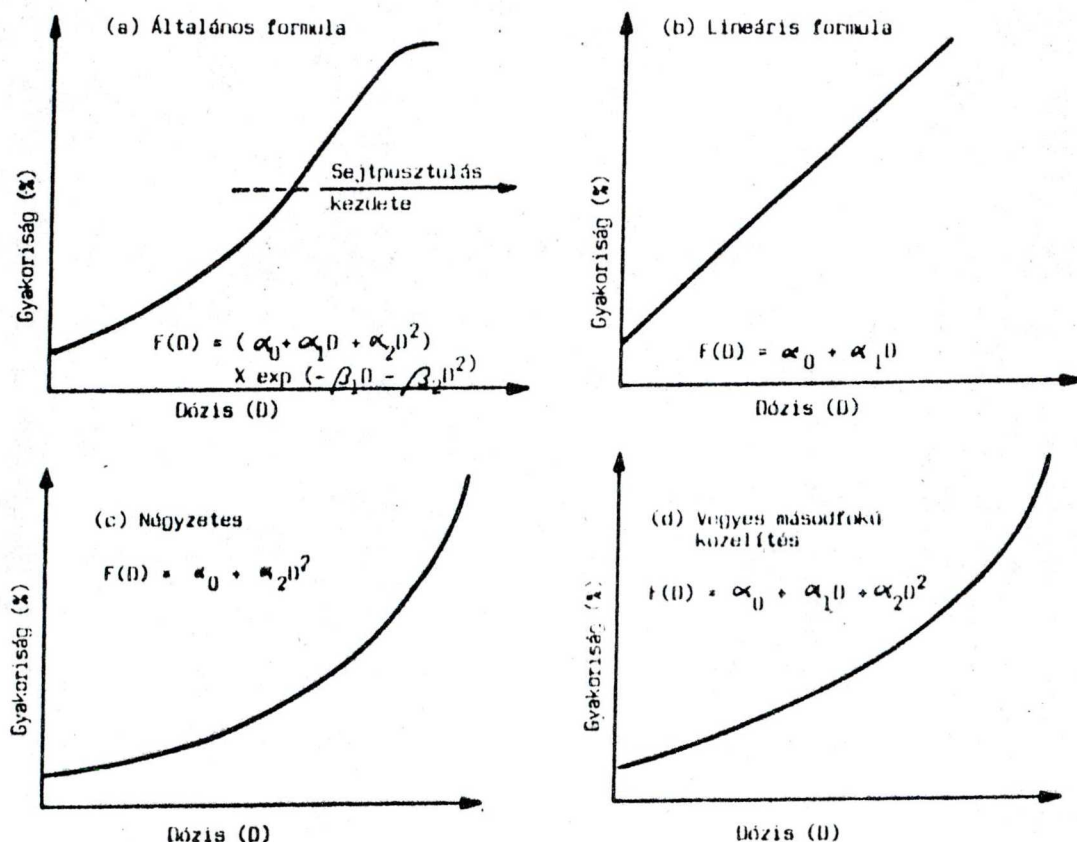
Modell és formula	Paraméter α_1, α_2	Szórás /x ² /
Lineáris	$\alpha_1 = 25 \pm 6$	6,9
Lineáris-négyzetes	$\alpha_1 = 10 \pm 12$ $\alpha_2 = 10 \pm 8$	6,3
Négyzetes	$\alpha_2 = 16 \pm 4$	7,7

Nagyobb dózisokkal végzett kísérletek alapján határozták meg a biológiai egyenérték /relativ biological effectivity, RBE/ formuláját:

$$RBE = \frac{\alpha_H}{\alpha_L \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} D\right)}$$

ahol

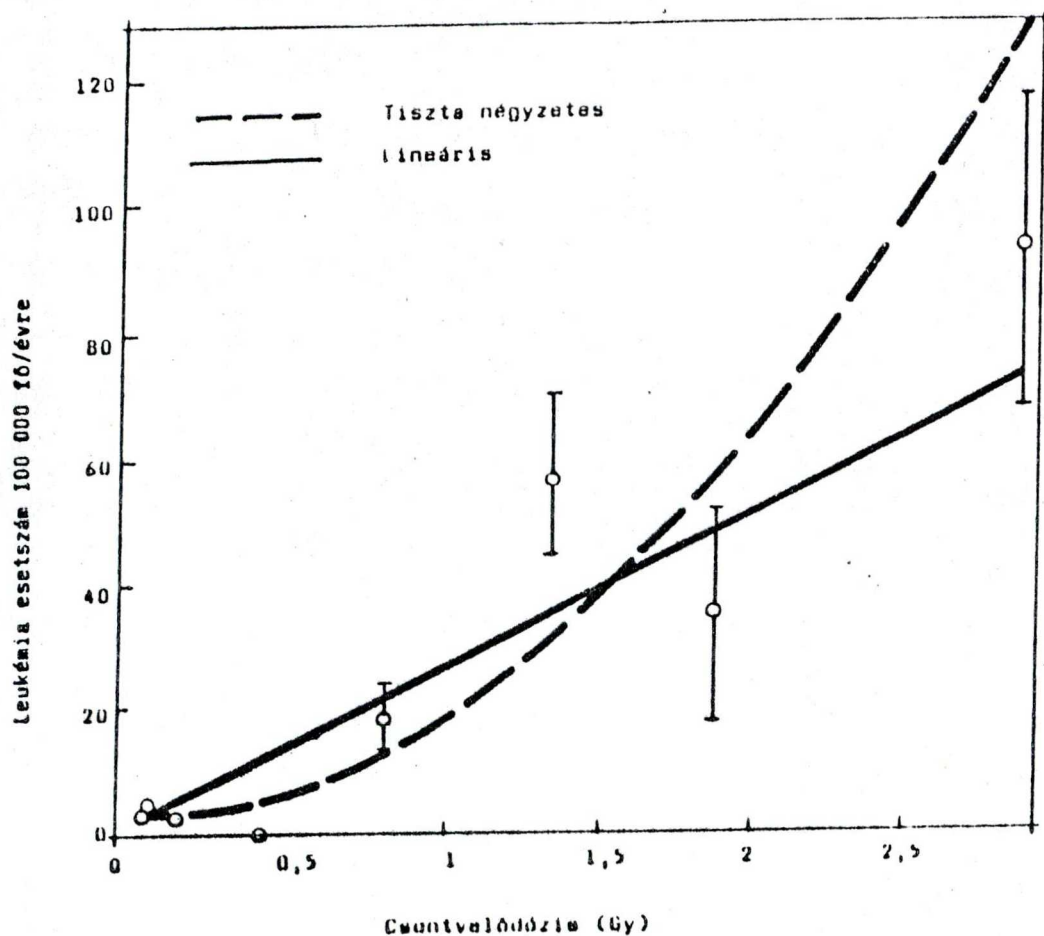
α_H a magas, α_L az alacsony fajlagos ionizálóképességű sugárzás koefficiense. Látható, hogy R értéke hiperbolikusan függ a dózistól és a sugárérzékenységi paramérektől is. A különböző formulákhoz tartozó dózis-válasz függvények az 1. ábrán láthatók. A formula alkalmazhatóságára megvizsgálták a japáni katasztrófák áldozatainak



1. ábra: A különböző közelítő formulák alakja
/RADFORD, 1980/

károsodását, és ebből α_2 / α_1 értékére 0,0086 értéket kaptak. Csak leukémiára vizsgálva ugyanezen terület lakosságát, a 2. ábrán kapott görbe írja le az esetek és a dózis közötti kapcsolatot. A mellérajzolt modell eltérései sugallják a dózis-négyzetes formula alkalmazását. A sugárhatás után bekövetkező elváltozások alapján emberre az alábbi dózistartományokat határolhatjuk el:

..



2. ábra: Dózis-válasz viszonyok Nagasaki túlélői között, az 1950-1971 közötti időszakban, csak leukémiát tekintve /BURKART, 1983/

5 Gy felett: halálos /az életbenmaradás orvosi segítségével sem valószínű/

1-5 Gy között: akut sugárbetegség /általában jól regenerálódnak a betegek. Késői hatások valószínűek/

1 Gy alatt: tünetmentes /a késői hatások főleg fokozott karcinogenitásban jelentkeznek/

Hosszabb katasztrófamentes időszakot tekintve a lakosság sugárterhelése az 1 Gy alatti dózistartományban várható. A személyenkénti dózist sok véletlen esemény befolyásolja. Az akkumulálódó sugárhatás ebben a tartományban közvetlen egészségkárosodást nem okoz. A sugáreredetűnek tekintett folyamatok lappangási ideje is 7-20 év közötti, a csökkenő dózissal növekvő időtartamot mutat. Mint a dózis-válasz függvényeken is látszik, a kis dózisok tartománya még nem jellemezhető exakt függvénnyel. Magyarázza ezt a dozimetria hiánya, a hosszú lappangási idő, egyéb faktorok erősebb hatása, valamint a sugárvédelmi szemlélet viszonylag késői változása. Nagy lélekszámú csoportokra a hatvanas évektől végeztek csak ilyen vizsgálatokat. Az eredményeket csak sztochasztikus módszerekkel lehet értékelni, a használt mértékegységek:

man Sv: $\frac{\text{Sv}}{\text{év} \cdot \text{millió fő}}$

/Az adott létszámú csoportban személyenként évente átlagosan lekötött dózis/

risk Sv: $\frac{\text{esetszám}}{\text{dózis/Sv/év} \cdot \text{millió fő}}$

/A népességcsoport sugáreredetű megbetegedésének kockázata/.

Az egyes szervek sugárérzékenységét sem könnyű meghatározni, az e téren tapasztalható feszültségek jól lát-

hatók. BURKART /1983/ összeállításából, melyben a legjobb kutatási jelentések adatait vetette össze /2. táblázat/. Láthatóan nehezíti az összevetést az "eset", "rizikó", "megbetegedés", "halálozás" fogalmak nem kellően pontos kezelése. /Ezt más információk esetében is ellenőrizni kellett./ A szervek sugárérzékenysége az izolált szerveken lényegesen eltér az élőben végzett besugárzásoknál tapasztaltaktól, nem lehet eltekinteni bizonyos, sugárhatásra felszabaduló anyagok kölcsönhatásairól sem. E tekintetben sok információt a sugárkezelt betegek életani változásaiból kaptak, melyeket azonban fenntartással kell fogadni.

Igen nagy probléma az alacsony dózisu egésztest-besugárzás hatásainak felmérése. Különösen a már említett késői hatások követése nehéz. Nagyobb csoportok adatai csak kivételes esetekben állnak rendelkezésre. Ilyenek: Hiroshima és Nagasaki túlélő áldozatai, a Hanford Laboratórium és Livermore National Laboratórium dolgozói, uránbányászok és a sugárterápiával meggyógyított embereken tapasztalt késői hatások. E csoportok sugáreredetű megbetegedéseit - azok valódiságát és dózisát is - orvosi kutatócsoportok elemezték. A legélesebben a japán városok adatai mutatják a hatásokat, ahol megfelelő orvosi utókezelést sem tudtak biztosítani. A dozimetria itt becslésekre alapozott, a tartózkodási helyek, és a számított dózishatárok alapján sorolták dózistartományok-

ba a lakosságot. Ezt a helyszínen talált keramikus anyagok termolumineszcens tulajdonságai felhasználásával lényegesen pontosították. A túlélők rendszeres orvosi ellenőrzése kimutatta, hogy a leukémia előfordulása messze kiemelkedik a japán népesség átlagából. Más rosszindulatú folyamatokra is igaz a megfigyelés. 1965-ben Nevadában reprodukálták a hiroshimai, majd a nagasakii robbantást. A kísérleti eredményeket összevetve a helyszínen dózismeghatározásra felhasznált anyagokkal, a dózisok a számítotttnál alacsonyabbnak bizonyultak. Ebben a látszólag "jó" eredményben az a "rossz", hogy eszerint a súlyos következményeket a kb. 20 %-kal kisebb dózis váltotta ki /LOEWE, 1981, 1982/.

A Hanford-tanulmány a Hanford Laboratórium 3500 elhalt dolgozójának vizsgálata alapján készült. Az 1975-ig végzett vizsgálatoknál 28 %/rad rák-kockázatot állapítottak meg a dolgozók körében. Ezzel szemben a sugárkezelt betegek sugárkockázata 2 %/rad értéket mutatott. Hasonló az atombombák túlélői között tapasztalt kockázati arány is. A hanfordi munkások között kiemelkedett a mielomák és a hasnyálmirigy-rák rendkívül magas száma. Feltételezhető, hogy itt más toxikus hatások is növelik a sugárzás hatását. A Livermore National Laboratóriumban a mielomák előfordulása volt kiemelkedő. A vizsgálat során a radio-kockázat mellett a megnövekedett vegyi kockázatot is meg-

állapították, de a növekedés nem volt szignifikáns. Több más vizsgálat eredményét is közzétették, de a nem kellően bizonyított adatokat nem használhatjuk fel.

Igen fontosak számunkra egyes orvosradiológiai eredmények. Nagylétszámú lakosság rendszeres szűrővizsgálatát, és röntgenterápiás /nem rákos folyamatok besugárzására alkalmazott/ kezelésének késői következményét vetik össze a hirosimiai túlélők megbetegedési arányával. A 3. ábra csak emlőrákra vonatkozik. BOICE /1979/ vizsgálatai szerint az emlőgyulladás besugárzással végzett kezelése három-ötszörös rák-kockázatot eredményezett, mint az atomrobbantás túlélőinél tapasztalták. A röntgenvizsgálatok jó részét kitevő mellkasi vizsgálatok veszélyeztetettségét a Massachusetts államban végzett vizsgálat mutatja. A kockázat elemzéséhez annyit fűzhetünk hozzá, hogy a tüdő és az emlő a legsugárérzékenyebb szövetek közé tartozik. A gazdaságilag fejlett államokban megállapíthatatlanul nő e két rákfajta előfordulási aránya. A több mint egyértelmű kapcsolat figyelmeztet a sugárveszélyes diagnosztikai tevékenység megfontolt tervezésére.

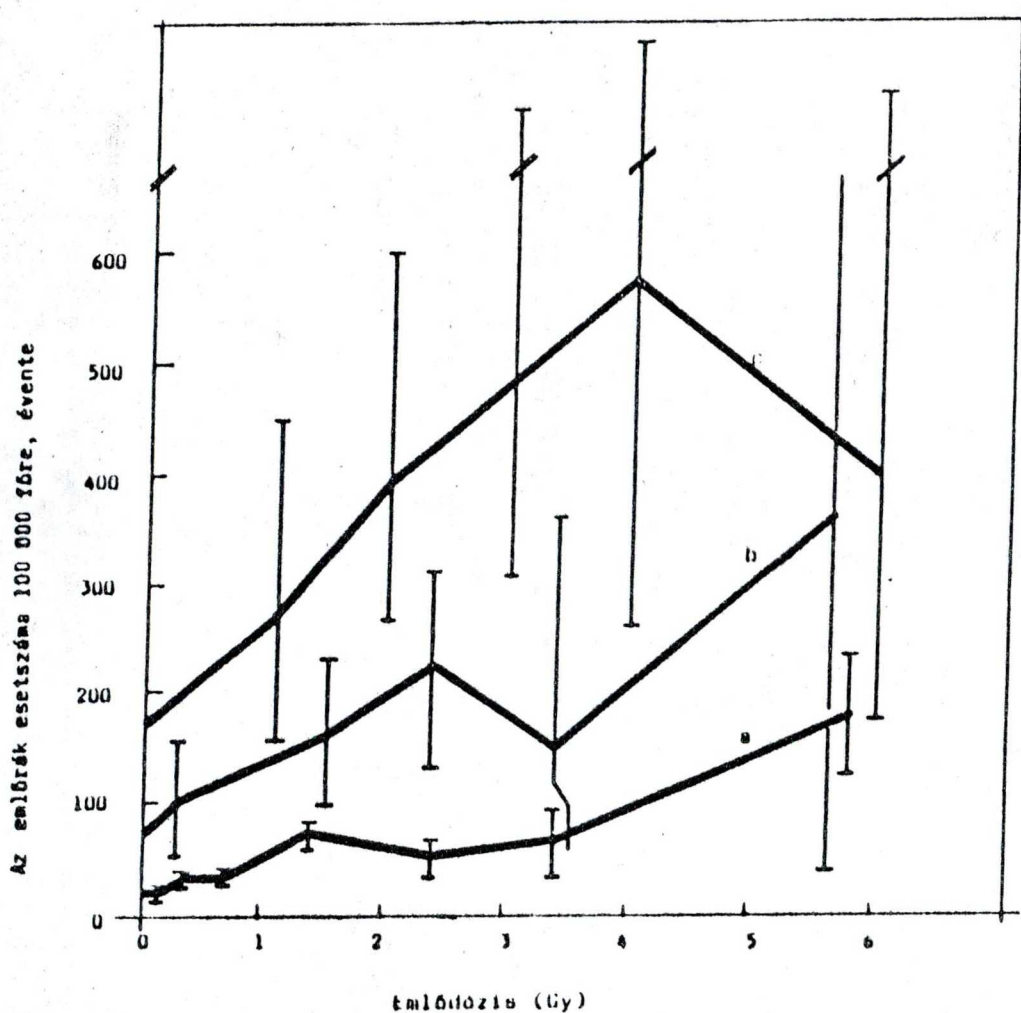
2. táblázat: Az egyes jelentések mortalitásadataink összevetése

Egyes szervek rákos megbetegedésének esetszámai 10 ⁶ man rem, azaz 10 ⁴ manSv dózis hatására 10 ⁶ lakosra számítva				
S z e r v	F O R R Á S			
	BEIR ⁺ III	UNSCEAR 77	ICRP 26	UPTON
Emlő	116	100-300 /50-150/	/50/	200 /100/
Máj	14	/10-29/	-	60 /50/
Leukémia		/10-50/	/29/	50 /40/
Csont	22	/0-10/	/5/	30 /15/
Tüdő	76	/20-100/	/20/	140 /130/
Pajzsmirigy	80	200-400 /10-20/	/5/	120 /10/
Összes	384	350-850 /110-440/	250 /125/	772 /472/

/Zárójelben a mortalitás értékei/

⁺Az utolsó 20 évben lényeges növekedés volt

/BURKART, 1983/ nyomán



3. ábra: Az emlőrák dóziszfüggése különféle besugárzásoknál. a./ az atomrobbantások túlélői, b./ Massachusetts államban a röntgenvizsgálattal kapcsolatba hozható esetek, c./ mastitis /emlőgyulladás/ miatt besugárzottak /BOICE, 1979/

Genetikai hatások

A sugárzások élettani hatásainak vizsgálatánál, sajátos módon, az egyéni sugárvédelem korabeli igényeit messze meghaladó sugárgenetikai óvatosság nyilvánult meg. A populáció védelme meglepően erősen tudatosult, szemben az egyéni sugárvédelem igényeivel. A sugárgenetika első nagy eredménye Muller kísérlete volt, melynek során *Drosophila*-kon besugárzással mutációk sokaságát hozta létre /MULLER, 1927/. E kísérletek nyomán ismerték fel a sejt-magban lévő kromoszómák /illetve végső soron a DNS-RNS/ szerepét az öröklődésben, és sérülésének szerepét a mutációk keletkezésében. A rovarokon végzett vizsgálatoknál rendkívül sok mutáns fejlődött ki, és a letális mutációk száma is igen nagy volt. Érthető, hogy a faj jellegének védelme a harmincas években nagyobb szerepet kapott az egyes ember védelménél. Muller vizsgálatai nyomán feltételezték, hogy az emberi nemnél megállapított normális mutációs rátát lényegében a természetes háttérsugárzással lehet kapcsolatba hozni. Ennek megfelelően kiszámították a kétszerező dózist, melynél - az érintett népeiséget tekintve - a genetikai halálozás rátája kétszeres lesz. Ugy számították, hogy egy populáció létét a fennálló genetikai halálozás megkétszereződése már veszélyezteti. Embernél mutációfajtként 33-700 mGy-ig változó, átlagosan 400 mGy a kétszerező dózis. Ugyanakkor a több-

letmutációt hordozók fokozott veszélyeztetettségét is ismerve, azt feltételezve, hogy a genetikai halálozás során a legtöbb káros gént hordozók esnek ki az öröktésből, egy káros gén eliminációjához mintegy 40 generációra van szükség, ez legalább 1000-1200 év!

Mai ismereteink szerint az emlősöknél sokkal erősebb a "kontroll", amely a faj állandóságát őrzi. Ennek megfelelően igen sok magzat eliminálódik olyan fiatal korában, hogy azt nem is lehet megkülönböztetni a normális élettani ciklustól. Az elvetélt magzatok elemzése sokkal több mutációt mutat ki, mint az a születéskor igazolható. E nagyfoku szelekció egyes érintett csoportok látszólagos csökkent termékenységében jelenik meg. Így a hazai vizsgálatok szerint 1638 sugárexpozícióban dolgozó személy 2390 terhességében a spontán vetélés és halvaszületés aránya nem különbözött a kontrollétól. Megvizsgálva a fehérvérsejtek kromoszómáit, a sejtek 6,4 %-ában figyeltek meg kromoszóma-mutációt. Leggyakrabban a sugárhatásra különösen jellemző dicentrikus kromoszómák voltak megfigyelhetők, mégpedig a radiológusok 70 %-ában! /CZEIZEL, 1980/.

E tapasztalatok egyeznek a hiroszimai és nagasakii sugársérülteken, még 20 év multán is megfigyelhető kromoszóma elváltozásokkal és a terápiás besugárzáson viszonylag fiatalon, nemzőképes korban átesett betegeken tapasztaltak.

taltakkal. Ezt hazai vizsgálatok is bizonyítják /CZEIZEL, 1984/.

Megállapítható, hogy a sugárzások hatására, különösen a nagy népességet érintő 0,1 Gy alatti dózistartományban nem a genetikai ártalmak fogják a sugárkárosodás következményeinek legnagyobb részét adni. A termékenység látszólagos csökkenésének egyéb indokai is vannak, és normális népességi strukturában messzemenőleg kikompenzálódik a népesség kis részét kitevő besugárzott csoport hatása. Nagy, folyamatosan növekvő veszélyt jelent viszont a szöveti sejtek mutációja, amely a rák-keletkezés kulcsa. Tény, hogy sok más mutagén anyag és hatás is károsítja a DNS-kódot, de e téren nem a kölcsönös türés, hanem a minden hatást halmozó folyamat miatt különös óvatosság szükséges. A veszélyek közül a sugárhatás károsítóképesége és hatása ma kiemelkedő. A sugárbiológiában és egyéb karcinogének tanulmányozásánál is kitűnt az egyéni érzékenység nagy szerepe. Ennek kulcsa a fokozott kromoszóma-törékenységben keresendő, mely a szervezetet a sugársérülésekre különösen érzékennyé teszi. Ma még vitatott, hogy az immunológiai védekezés a károsodások következtében gyengül-e, vagy a legyengült védekezőképességű egyedek tudnak a torz sejtek burjánzásnak indulni. A kis dózisok latenciaideje dózistól függően 7-20 év. Ez nagymértékben nehezíti a következmények egyértelmű összekap-

csolását a besugárzással. Ilyenkor nyújt segítséget a kromoszómák vizsgálata. A dicentrikus kromoszómák jelenléte egyértelműen sugárhatásra utal.

Az embert érő sugárhatások számbavétele

I. Háttérjellegű sugárzások

Itt tárgyaljuk mindazokat a sugárzásokat, amelyek mindenkit közelítőleg egyenletesen érnek, térben és időben jó közelítéssel egyenletesen oszlanak meg. A háttér-sugárzás természetes és mesterséges eredetű részekre osztható.

Természetes háttérsugárzás

A természetes eredetű sugárzások Földünkön évmilliók óta hatnak, a mai élővilág természetes környezetének tekinthetők. A világegyetemből érkező kozmikus sugárzás a magaslégkörben erős ionizációt és magreakciókat okoz. Ennek során keletkeznek a kozmogén radioizotópok. A Napból eredő kozmikus sugárzás nagymennyiségű töltött részecskéből és erős fotonsugárzásból áll. A légkör erősen gyengíti ezek hatását, a földfelszínen hatásuk nem túl jelentős. A háttérsugárzás másik részét a Földet alkotó radioaktív anyagok adják, melyek ősi eredetűek, vagy kiülepedett kozmogén radioizotópok. Ezek az építőanyagoknak is alkotói, így épületeinkben is mérhető valamelyes sugárhatás. Az épületek általában csökkentik a kozmikus sugárzás erősségét, de anyagfajtánként különböző járulékos sugárzást is kibocsátanak. Az építőanyagok ismeretében számítani lehet a helyiségek belsejében mérhető sugárzást. A talajfajták,

kőzetek, építőanyagok átlagos radioaktivitásáról és a várható dózisiról az általunk végzett mérések, az UNSCEAR /United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation / 1977. évi jelentése, TÓTH I. 1983, SZTANYIK 1980, KOBLINGER 1984/ munkája alapján megállapítottuk, hogy Magyarországon az átlagos természetes radioaktivitás valamivel kisebb a világátlagnál. A talajfelszínen kiugró értékek nem mérhetők, az uránelőfordulások környékét kivéve.

Az élőhelyre jellemző a természetes radionuklidok sugárzása, mely a belégzett, ivóvízzel, táplálékokkal felvett anyagok természetes radioaktív anyagaiból ered. A beléggzéssel főleg ^{220}Rn és ^{222}Rn kerül szervezetünkbe. A nagyobb bomlási állandó $/\tau = 45,78/\text{h}/$ miatt a ^{220}Rn -től származó aktivitás lényegesen nagyobb, mint a ^{222}Rn -től származó $/\tau = 7,55 \cdot 10^{-3}/\text{h}/$, noha a talaj és épületalkotó anyagok ^{238}U és ^{232}Th koncentrációja nem nagyon tér el egymástól.

Zárt helyiségben az építőanyagoktól, azok felületi zárástól, a szellőzés mértékétől függően nagyobbak lehetnek a dózisek. Az alapérték, melyet 30.000 lakás vizsgálata alapján adtak meg, szabad levegőre 430 ± 40 az átlagos lakásra $590 \pm 90 \mu\text{Gy}/\text{év}$ /UNSCEAR 1977/. A hazai vizsgálatok szerint $464 \mu\text{Gy}/\text{év}$ dózis mérhető egy átlagos lakásban évente /TÓTH, 1983/.

A szervezetbe kerülő további természetes radionuklidok a ^{40}K , ^{87}Rb , valamint az urán- és a tórium sorozat elemei. Az átlagos inkorporált dózisokat a 4. táblázat foglalja össze, összevetve a külső sugárzásokkal is.

Mesterséges eredetű háttérsugárzás

Általában a nukleáris folyamatok, technológiák termékeit, és nem nukleáris technológiák radioaktív hulladékainak hatását kell e körben vizsgálni. A nem nukleáris technológiák termékei általában nem túl nagy terület népességét érintik. Jellemző források: a széntüzelésű erőművek pernyéjében feldusulnak az ősi radionuklidok, és egyes elemeik a táplálékkal is bekerülhetnek az ott élők szervezetébe. Becslés szerint a széntüzelésű erőmű környezetében élők dózislekötése, ha ott termelik meg táplálékuk meghatározó részét, egésztestre 0,21, csontokra 2,25 mSv/év értékben becsülhető átlagos, $1-2 \cdot 10^{-6}$ %-os U- és Th-tartalom esetén, feltételezve, hogy a pernye 1 %-a kerül a kémenyen át a környezetbe.

A dózislekötéseket atomerőművek környezetében egésztestre 0,13, csontokra 0,21 mSv/év értékben adták meg. Meg kell említeni még a foszfátfeldolgozáskor keletkező gipsz, az uránmeddő, egyes kohósalakok, a vörösiszap gyakori magasabb fajlagos aktivitását, ami felhasználásukat korlátozza. Különösen lakossági célokra nem engedhető meg felhasználásuk. Egyes földgázok radontartalma is jelenthet

némi növekményt a főzés során, különösen ahol a szellőztetés nem megfelelő /TÓTH, 1983/.

Kismennyiségű radioaktív anyag egyes fogyasztási cikkekben is előfordul. Ismeretes a gázharisnyák, világító számlapok tóriumtartalma, mázak, zománcok urántartalma. Az újabb alkalmazásokból: pacemaker-tápegységek, gáz- és füstérzékelők, műszerelemek készülnek radioizotópokkal. Külön érdekesség, hogy sok fogászati porcelán készül urános színezéssel, mert a napfényben enyhén lumineszkálva a színeket a természeteshez közelíti. Veszélyt az jelent, hogy az alfasugárzás közvetlenül a nyálkahártyát éri, és ott a kb. 30 μm -es rétegben évi 300-600 mSv dózist köt le a nyálkahártya, melyet itt nem véd a bőrnél számításba vett elszarusodott hámréteg! Néhány porcelánkészítményt megvizsgáltunk laboratóriumunkban, ezek nem mutattak radioaktivitást. A manapság felhasznált urán- és tórium sók mennyisége elenyésző a fogyasztási cikkekben, a világító festékeket is más anyagokkal igyekeznek pótolni. Így e klasszikus sugárforrás ma már jelentéktelen.

A nukleáris technológiák hatása környezetünkre

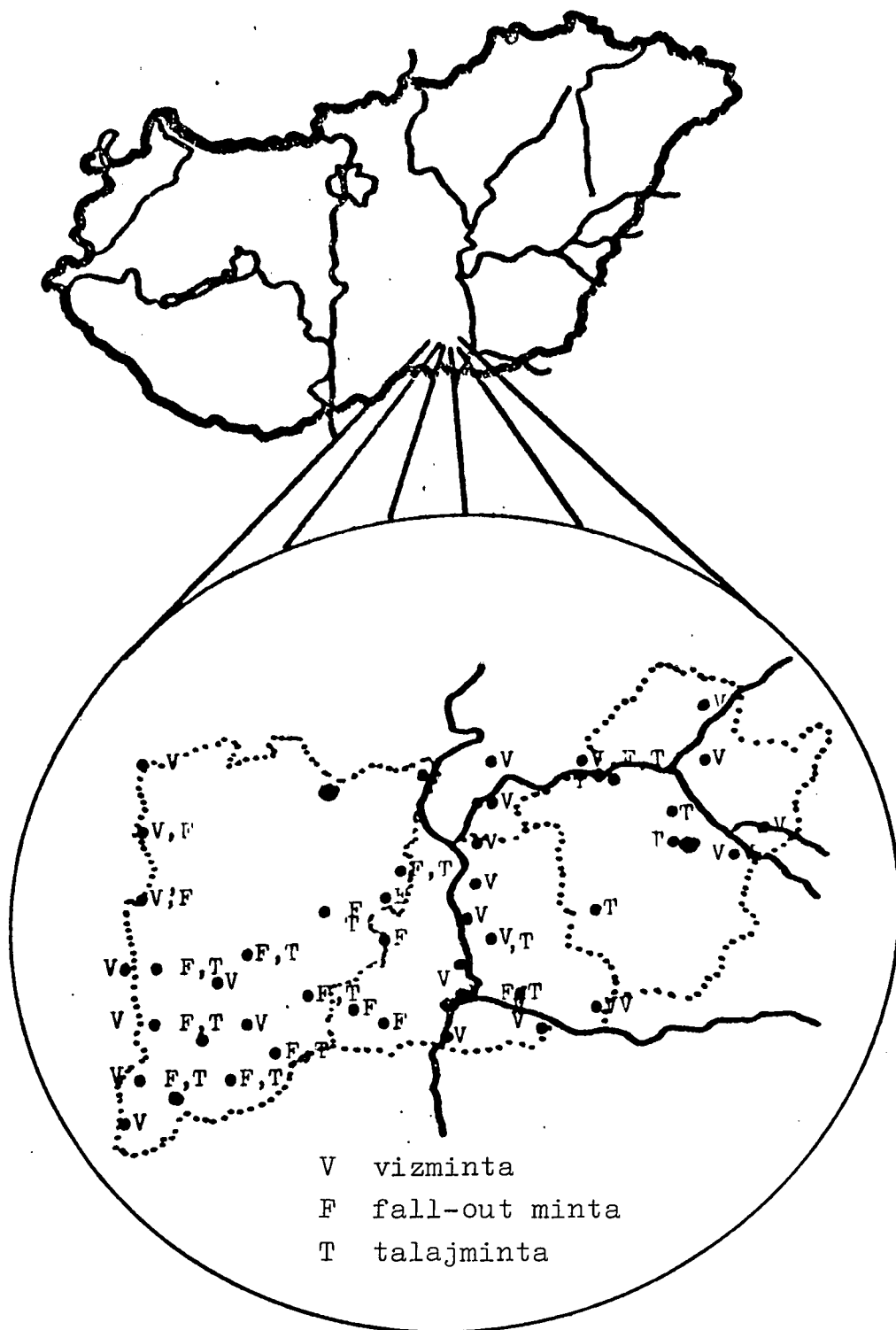
A radioaktív anyagok felhasználása során óhatatlanul keletkezik hulladék, radioaktív melléktermék is. Vizsgálataink szerint a növekvő izotóplaboratóriumi felhasználás ellenére a mesterséges eredetű háttérsugárzás legnagyobb része a nukleáris ipartól származik. Akármilyen célra is használják fel a dúsított uránt, plutóniumot, stb. az előkészítés, feldolgozás folyamata azonos. Ehhez kell még sorolni az atomerőművek normálüzemi nuklidkibocsátását és a légköri atomrobbantások hasadási termékeit. A légköri robbantások a Föld teljeskörű, jelentős nukleáris szennyezését okozták. Ezek során keletkezett kb. $170 \cdot 10^{18}$ Bq ^3H -nuklid, mely több mint a természetes készlet, $220 \cdot 10^{18}$ Bq ^{14}C , mely a tekintett 10 éves szakasz természetes úton keletkezett ^{14}C nuklidmennyiség tízszerese. Ugyancsak nagy mennyiségben keletkeztek egyéb, a szervezetünk felépítésében részt vevő anyagok radionuklidjai. Az élettanilag fontos radionuklidok jellemzőit a 6. táblázatban foglaltam össze.

A hazai radionuklid kibocsátás az atomerőmű üzembehelyezéséig csak laboratóriumi hulladékból és az uránbányászat hulladékaiból állt. A laboratóriumok, izotópfelhasználó munkahelyek folyamatos ellenőrzése, vizsgálata mellett fel kellett készülni atomerőművi kibocsátások észlelésére is. Nagyarányu program keretében vették fel



az alapértékeket, melyek az erőmű megindulása előtti állapotokat rögzítették. Ugyanezen mérési pontokon folyik a környezet rendszeres ellenőrzése. A mérésekben területi sajátságainknak megfelelően folyamatosan részt veszünk, az eredményeket rendszeresen összevetjük a környezetellenőrzésben részt vevő laboratóriumokkal. A levegőből a gázokat, az aerosolt, a kimosódott /dry-out/ vagy a kiülepedett /fall-out/ anyagokat lehet mintázni. Adottságainknak a fall-out mintázás felelt meg, így a három megye területén ez lett a légköri viszonyokra jellemző adat, mely 16 mintavételi pontot reprezentál. A felszíni vizek közül valamennyi folyóvizet és tavat rendszeresen ellenőrizzük. /E mintában a kihulló nuklidok mellett több-kevesebb szennyvizzel kibocsátott nuklid is van./ A talajminta a kimosott és kiülepedett nuklidokat és talaj nuklid-megkötőképességét egyaránt jellemzi. A mintavételi előírások folytán /felső, gyökerekkel átszőtt réteg eltávolítása/ nem annyira alkalmi kihullásokra, mint a talaj nuklidháztartására jellemző az érték. /VIRÁGH, 1976/.

Rendszeres mintavételi helyeinket a 4. ábra mutatja.

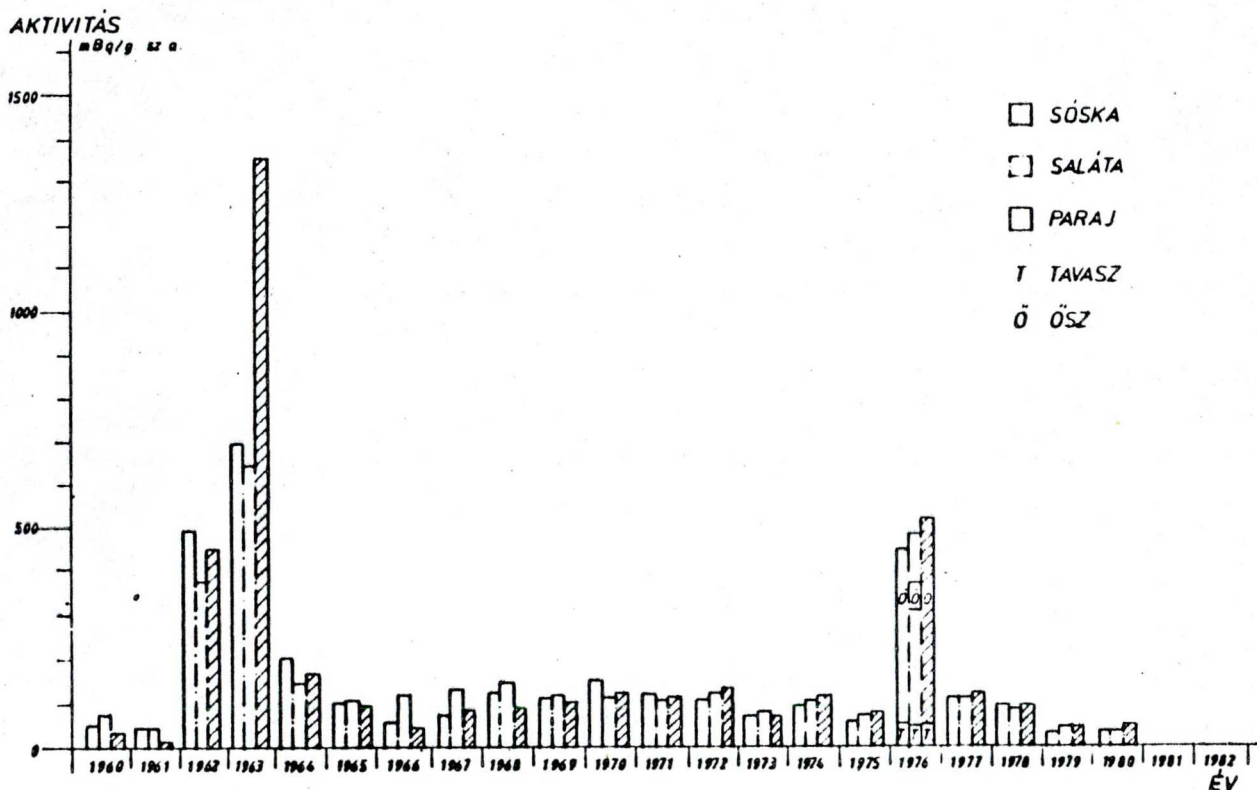


4. ábra: A környezeti radioaktivitás ellenőrzésére kialakított mintavételi helyek. A telepítésnél a Paksi Atomerőmű fő kibocsátási irányát vettük figyelembe

Az élelmiszernövények közül három indikátornövényt használunk: sóska, spenót, saláta. Gyorsan növő, nagy levélfelületük jól megköti a kihulló és megtapadó aktivitást, felszivódásuk átlagos, és a gyors növekedés miatt a csapadék lemosó hatása nem jelentős. Az indikátornövények segítségével jól tudjuk követni a ^{90}Sr , ^{137}Cs kihulló mennyiségét /5. ábra/.

A nukleáris robbantások kihullási zónájában /első 32 hónapig/ jelentős szennyező a radiojódok keveréke. Atomerőművek környezetében is előfordul, normálüzemben minimális mennyiségben, alkalmi kibocsátások esetén nagyobb mennyiségben is. A kihullott jód a legelőkről rövid idő alatt a tejbe kerül, és ezzel közvetlen emberi fogyasztásra kerülhet. A gyors lebomlás miatt csak a kihullási területen kell vizsgálni, külön-külön a legeltetett és szánával táplált állatok esetén a tejben megjelenő össz-radiojód aktivitást, és annak mértékét, hogy lakosságnál a tej- és tejtermékek az összes fogyasztás mekkora részét adják. A biztonsági tervekben megadják a határértékeket, melynél a tej csak feldolgozott-tárolt formában, illetve semmilyen formában sem kerülhet fogyasztásra.

Rendkívüli esetekben, illetve egyes személyeknél a radiojódok gyorsított eliminációját nagymennyiségű inaktív jód beadásával lehet segíteni. Pl. az EKG tagállamaiban a környezetbe került radiojódok inkorporálásából



5. ábra: Az indikátornövényekkel kimutatott radioaktivitás tendenciája területünkön

származó 50 mSv pajzsmirigy-dózisértékig nem tekintik szükségesnek, 250 mSv dózisegyenértéket meghaladó esetben kötelezően előírják a stabil jódkészítmények adagolását. Természetesen ugyanez áll a foglalkozási eredetű radiojód-inkorporációra is /ICRP Basic Safety Standards 1984, SZTANYIK 1985/.

A radiojód / ^{125}I , ^{131}I / izotóplaboratóriumokban is általánosan használt nuklid. A felhasznált mennyiségek arányában rendszeresen ellenőrizzük a laboratóriumok kibocsá-

tását. A kezelés nélkül kibocsátott szennyvizben esetenként kimutatható, de a befogadó folyóvizben /ez esetben a Tisza/ a többezerszeres hígítás miatt többé nem kimutatható. A vizsgálataink kiterjedtek halakra is, de kimutatható mennyiséget nem találtunk /KESZTHELYI, 1984/.

Az izotóplaboratóriumok lehetőleg rövid felezési idejű radionuklidokat alkalmaznak, ha valamilyen tulajdonság elkerülhetetlenné teszi a hosszú életű nuklid alkalmazását, lehetőleg béta-sugárzó, vagy lágy gamma-sugárzó anyagot választanak. E csoport legjellegzetesebb képviselői a ^3H és ^{14}C izotópok. Lassu lebomlásuk és nagy helyettesítőképességük ellenére a kisenergiájú sugárzásuk következtében alacsony veszélyességi osztályba sorolták ezeket. A szén radioizotópjának felhasználásával és a nukleáris növekménnyel a radiokarbon-kormeghatározás módszere válhat egyes esetekben kritikussá. Már ma is csak a nukleáris robbantások növekményének figyelembevételével lehet helyes eredményt kapni.

A legkorszerűbb izotópdiagnosztikai módszer ma a metastabil nuklidok egy csoportjához kötődik. Az $^{113\text{m}}\text{In}$, a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ nuklidok folyamatosan keletkeznek reaktorban felaktivált anyaelemükből, az ^{113}Sn , ^{99}Mo radioizotópokból. A keletkezett leányelemek metastabilis, gerjesztett állapotban vannak, és viszonylag rövid idő alatt /2, 4 óra, 12,6 óra felezési idővel/ gamma-fotonként kisugározzák ezt

az energiát, majd hosszúéletű béta-sugárzóként bomlanak tovább. Felhasználásuk a gamma-foton szakaszra korlátozódik. E nuklidoknál nem szokás vizsgálni a béta-sugárzó szakaszt, noha a szennyvizrendszert lényegében csak ebben az állapotában terheli. /Ugyanis a módszer "veszélytelensége" miatt az izotópdiaosztikai laboratóriumok szennyvizkezelő, dezaktiváló rendszerrel a legritkább esetben rendelkeznek./ E metastabil izotópok jól kapcsolódnak az élettani folyamatokhoz, illetve megfelelő vegyületekkel kapcsolhatók. Ma az in vivo izotópdiaosztika 90 %-a hazánkban is technéciumizotóppal folyik /9. ábra/.

A kibocsátás ellenőrzésére több helyen is végzünk vizsgálatokat. A laboratórium összes hulladékát, és a kibocsátásra kerülő nuklidmennyiséget számítással lehet megadni. E mennyiség hígul a munkahely szennyvizével, majd általában az épület összes szennyvizével. Ezt a keveréket vizsgálva, még kimutathatók érdelemleges mennyiségek, a csatornarendszerben már igen erős a hígulás. Végző soron, mire a befogadó vizet /a Tiszát/ eléri az izotópos hulladék, sokszorosára hígul. Mintázásaink alapján pl. a Szeged III. szennyvizbeömlő mutat igen kicsiny többletet, mely kapcsolatba hozható e hulladékokkal. A háttérjellegű sugárzások dózisviszonyait a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat: Természetes és mesterséges környezeti
forrásokból származó éves effektív dózisegyenérték
/SZTANYIK, 1980/

Besugárzás forrása	Effektív dózisegyenérték / μ Sv/év/			
	külső	belső	összes	összes %-ban
<u>Természetes:</u>				
kozmikus eredetű				
ionizáló sugárzás	280	-	280	15
neutron sugárzás	21	-	21	1
izotópok	-	8	8	
földi eredetű izotópok				
^{40}K	120	170	290	16
^{87}Rb		4	4	
^{238}U - ^{234}U		1		
^{230}Th		7		
^{226}Ra	80	8	1006	54
^{222}Rn - ^{214}Po		780		
^{210}Pb - ^{210}Po		130		
^{232}Th		7		
^{228}Ra - ^{224}Ra	120	21	248	13
^{220}Rn - ^{208}Tl		100		
Összes/természetes/	621	1236	1857	99
<u>Mesterséges:</u>				
nukl. robbantások				
^3H	-	1	1	
^{90}Sr	-	4	4	
^{137}Cs	7	3	10	
Összes /nukl.robb./	7	7	14	1
<u>Összes</u>				
/termész.+mesterség./	630	1240	1870	100

II. Sztochasztikus sugárhatások

A mesterséges eredetű háttérsugárzás és különösen a környezet radioaktív szennyeződéséből területünkön mért sugárhatás kis dózisa sugallja, hogy vegyük számba a további előforduló radiációkat is. Ezekre jellemző, hogy nem egyenletesek térben és időben. Ilyen sugárhatások a sugárveszélyes munkát végzőket, a sugaras diagnosztikai eljárások /röntgen és radioizotóp/ valamint a sugárkezelés pácienseit érik. A diagnosztikai és terápiás sugárterhelésre nincs dóziskorlátozás. Az ICRP 26. a sugárterhelés optimalizálását írja elő. E szerint a beteg gyógyulása érdekében végzett sugaras tevékenységnek a legkisebb szomatikus és genetikai ártalom /kockázat/ mellett kell gyógyulását szolgálnia. Ezek a sztochasztikus sugárhatások. Az érintett személyek, dózisok, sőt az időbeli eloszlás sem meghatározott, így itt statisztikai módszereket kell használni. A népességi dózis mértékegysége a man. rem illetve a /100-szorosa/ a man-Sv, mely általában 10^6 ember 1 Sv dózissal való besugárzódására értelmezett.

Foglalkozási sugárterhelés

Vegyük a legjobban vizsgált területet először, a foglalkozási besugárzást. A dolgozók személyi dózisellenőrzésben vesznek részt, általában filmdoziméter felhasználásával. Szigorúan korlátozzák a felvehető radionukli-

dok mennyiségét, a dolgozót érő besugárzás nagyságát. Az ICRP 26. kiadványa a dóziskorlátokat a szomatikus sugárártalmak kivédésére ajánlja. Ez az érintett dolgozók számára már konkrét kockázat, melynek mértékét igyekszünk csökkenteni. A korszerű sugárvédelem alkalmazásának eredménye, hogy a sugárveszélyes munkát végzők kockázata az USA adatai szerint a korábban bányászokéval összemérhető /30.000 haláleset/1 millió dolgozó/ halálozás lecsökkent az átlagos ipari szintre, mintegy 3.000 halálozás/1 millió dolgozó értékre. Eközben a kimutatott sugárterhelés átlagos értéke több, mint tízszer kisebb lett. E statisztikai elemzésnek egy hibája van. Kizárólag a foglalkoztatás alatti halálozást tekinti, és abból is csak azokat az eseteket, melyek konkrét oki kapcsolatban állnak a foglalkoztatással. Ennek következtében a sugárzásra jellemző hosszú lappangási idő miatt igen sok eset kívül kerül a felmérések adatain. Ezzel együtt a sugárvédelem javulása a foglalkoztatottak körében a kockázatot lényegesen csökkentette, és a sugárbetegség, sugárégés esetei minimálisra csökkentek.

A hazai sugárveszélyes munkát végzők dózisterhelését az OSSKI Filmdozimetriai Szolgálatánál végzik. Nyilvántartásuk valamennyi sugárveszélyes munkát végzőre kiterjed. Az utóbbi évek egy főre számított éves dózisát a 4. táblázat mutatja. A foglalkozási besugárzások közül az egészségügyben dolgozók közül a rádium, kobalt közelterápiát

Az egészségügyben sugárveszélyes munkát végzők közepes dózisának és kollektív
dózisának alakulása öt év alatt

Tevékenység	Az évi dózis középértéke $\bar{D}$ /mGy/					Éves kollektív dózis, $\bar{S}$ /man.mSv/				
	1979	1980	1981	1982	1983	1979	1980	1981	1982	1983
Izotópdiagnosztika	0,14	0,22	0,22	0,24	0,40	62	119	120	138	247
Kutató laborató- riumok	0,09	0,11	0,03	0,02	0,02	21	37	11	5	6
Közelbesugárzás terápia	3,45	2,95	1,96	1,61	1,78	724	737	524	456	491

BOJTOR 1984. nyomán

4. táblázat

végzők szenvedik el a legnagyobb dózist. Növekvő a izotópdiagnosztika dolgozóinak terhelése. Míg néhány éve legfeljebb a meglelaboratóriumban dolgozók sugárterhelése volt feljegyzési szinten, ma már olyanoké is magasabb, akik csak beteggel foglalkoznak! Jelenlegi adataink szerint éves mért dózisuk messze, a szomatikus ártalmak megelőzésére megadott 50 mSv/év dóziskorlát alatt marad.

A röntgenvizsgálat páciensdózisai

A röntgensugárzást szinte felfedezése óta a gyógyítás szolgálatába állították. A beteg testén áthatoló sugárzást ernyőn vagy fotóanyagon felfogva a szervezet speciális leképezését kapjuk, mely igen sok tájékoztatást nyújt a szakorvosoknak. A képalkotásban a belépő sugárnyaláb igen kis része vesz részt, a többi a szervezetben szóródik, elnyelődik. Azt a sugárzásmennyiséget, mely a páciens testében nyelődik el, páciensdózisnak nevezzük. Értéke - a diagnosztikus jellemzők után - a legfontosabb mértéke egy röntgenvizsgálati eljárás megítélésének; annál előnyösebb egy módszer, minél kisebb páciensdózissal jár.

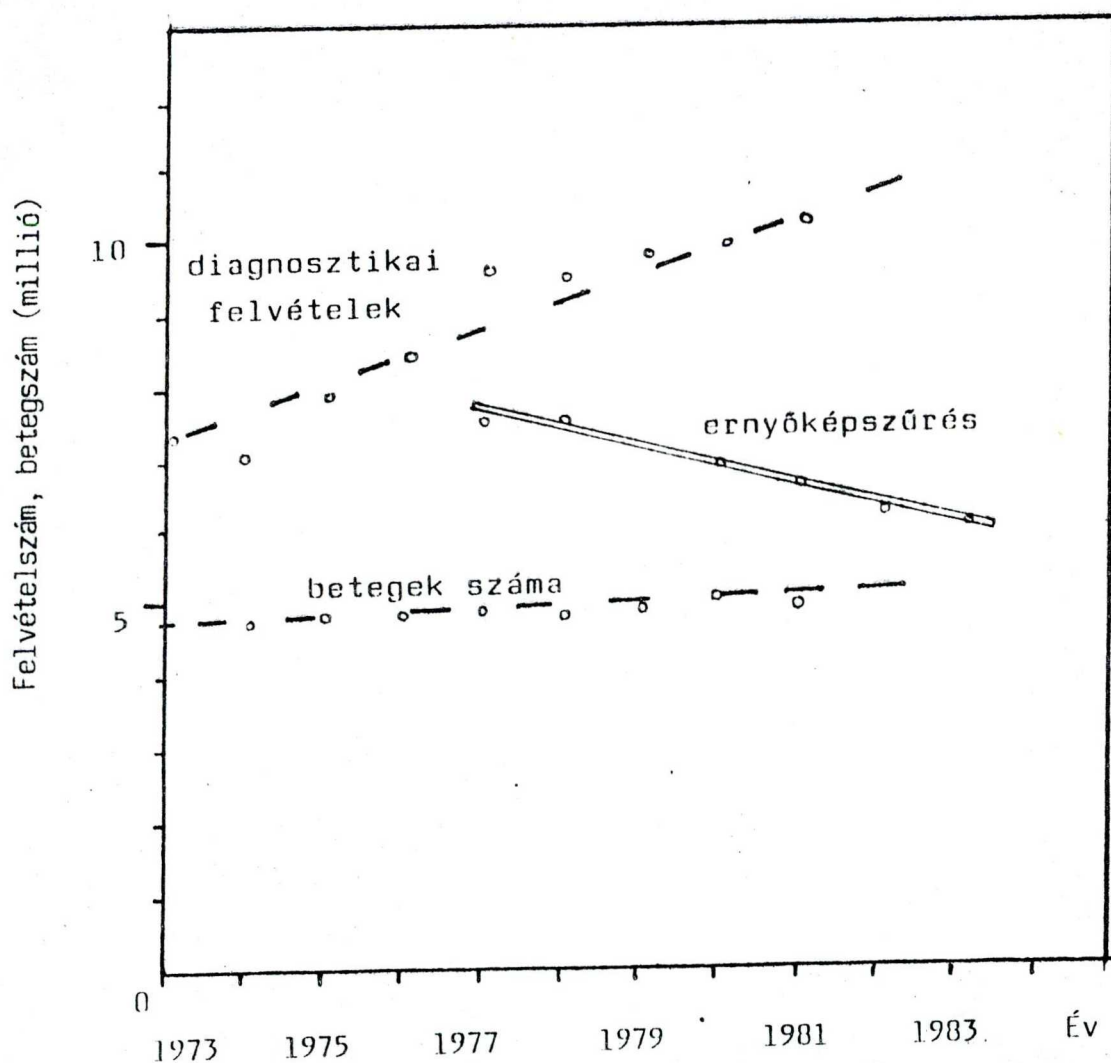
A hazánkban évente végzett közel 16 millió röntgenvizsgálat elemzése a röntgendiagnosztikai munkastatisztika és a tüdőgyógyászati munkastatisztikák összesített adatai alapján végezhető el. A röntgendiagnosztikai adatokat az Országos Röntgen és Sugárfizikai Intézet

/ORSI/ 1983-ban kiadott összesítéséből, a tüdőgyógyászati adatokat az Országos Korányi TBC és Pulmonológiai Intézet 1975-84. éves összesítései alapján dolgoztam fel. Az a vizsgálati mennyiség, mely nem az Egészségügyi Minisztérium felügyelete alatt álló intézetekben végeznek, nincs nyilvántartva. Becslés szerint néhány százalékkal növelné a statisztika számadatainak nagyságát. A hazai tendenciákat a 6. ábra mutatja, melyen a fenti források adatait dolgoztam fel. A vizsgált betegek számának minimális növekedése mellett igen feltűnő a diagnosztikai vizsgálatok expozíciósza-
mok gyors növekedése. Valamennyi vizsgálati módszer alapfeladata a lehető legpontosabb diagnózis megállapítása. Ezért a beteg vállalja a kockázatot, de mindig törekedni kell arra, hogy a lehető legkevesebb sugárhatással érjük el az eredményt. Mielőtt az egyes jellegzetes vizsgálati módszereket tekintenénk, érdemes a páciensdózis csökkentésének általános elveit megvizsgálni.

Röntgenátvilágítás

A röntgenvizsgálatok közel egytizedét végzik át-
világítással. A módszer igen plasztikus, a beteg mozgásával, életfunkcióinak követésével fontos információk nyerhetők.

A csőfeszültségtől, csőáramtól és az átvilágítás tartamától is függ a közölt dózis. A képalkotáshoz szükséges dózisteljesítményt túl kicsire venni diagnosztikailag értelmetlen, a páciensdózist legjobban a vizsgálati időtartam rövidítésével lehet korlátozni. Gyakori, hogy az átvilágító ernyő csökkenő fényerejét, az orvos adaptációs nehézségeit a csőfeszültség megnövelésével egyenlítik ki. A 10-30 kV-nyi feszültségtöbblet átlagosan



6. ábra: A hazai röntgenfelvételek száma az utóbbi években



20 %-nyi dózistöbbletet jelent a páciensnek. A szokásos átvilágító készülékek 3-6 mA csőárammal üzemelnek. A kép fényessége növelhető a csőáram növelésével is, de a testszövetek nem lineáris sugárabszorpciójából következően a csőfeszültség emelése lényegesen eredményesebb, mint az áram növelése. Korszerű átvilágítókon a csőfeszültséget az ernyő melletti távszabályozóval is lehet módosítani, éppen a csőfeszültségtől függő elnyelődés kihasználására. Az un. keménysugártechnikánál 100-120 kV csőfeszültségnél a mészárnyékok "átlátszó", a szerveket nem takarja pl. a bordastruktúra. Igen előnyös, ha "egy menetben" lehet a különböző keménységű röntgensugárzással a vizsgálatot elvégezni. Képerősítő alkalmazásával a csőfeszültséget kb. felére, a csőáramot ötödére lehet csökkenteni. Optimális esetben majdnem tizedére csökken a páciens dózisa is. Sajnos a képerősítő rendszerek hibái nem szembeszökőek, egyszerű utánállítással szokták kiegyenlíteni az erősítés csökkenését. Több olyan képerősítő rendszert találtunk, ahol közönséges átvilágító paramétereivel dolgoztak.

A képerősítő képét közvetlenül lehet fotózni, ami ötször kisebb expozíciót igényel, mint egy célzott felvétel, és közel huszadannyit, mint egy ernyőkép felvétel. Dinamikus vizsgálatoknál a TV-lánc jelét lehet videotechnikával rögzíteni, tárolni, demonstrálni, sőt fotózni, vagy di-

rekt nyomtatással rögzíteni. E kiegészítő eljárások az-
zal, hogy a dokumentálást többletsugárzás nélkül oldják
meg, igen előnyösek. Sajnos magas ára miatt alig terjed,
noha a legdrágább elem, a képerősítő minden röntgenosz-
tályon biztosított.

Röntgenfelvételezés

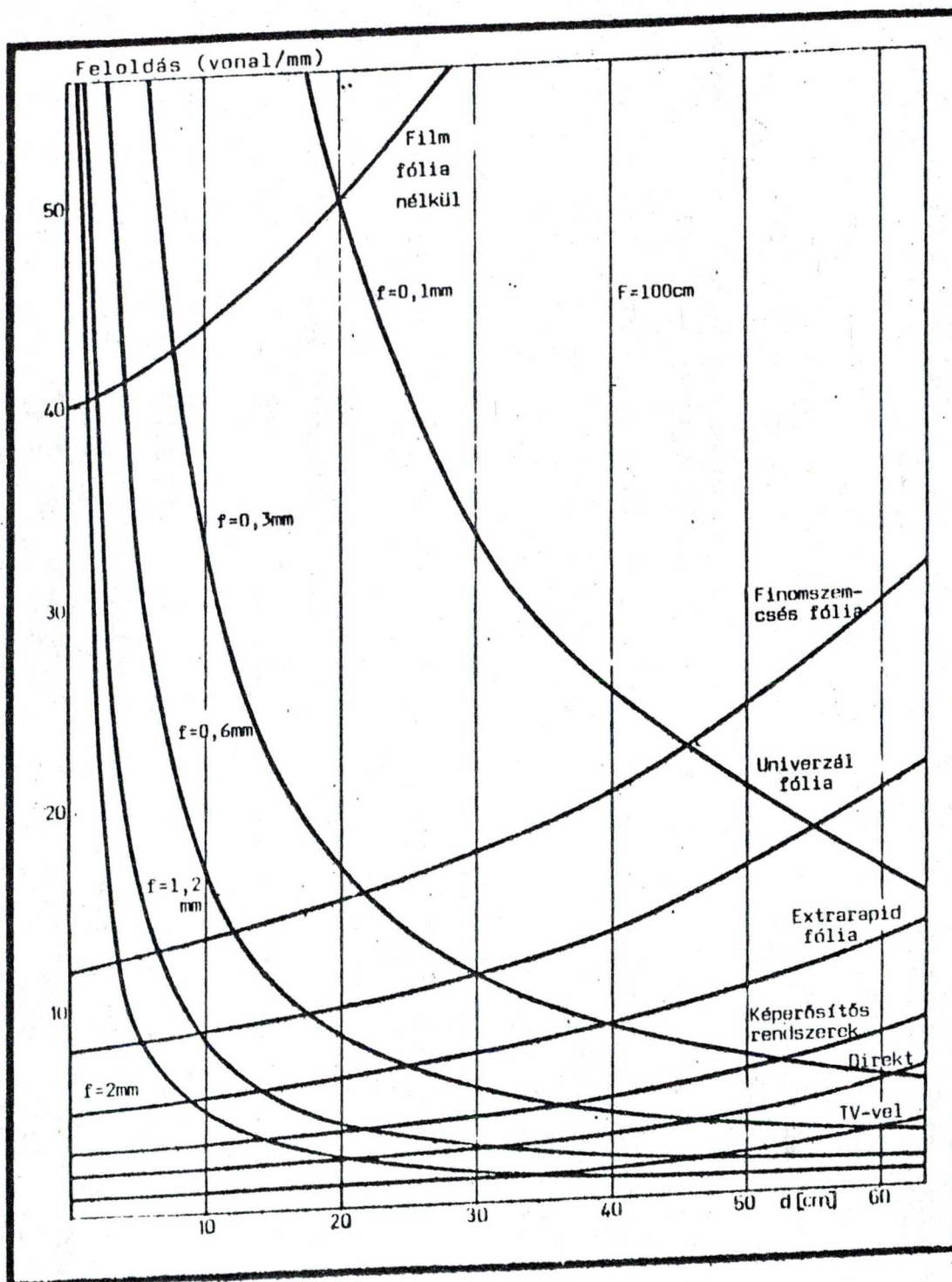
A röntgenvizsgálatok legnagyobb részét felvétele-
zéssel végzik. A röntgenfelvétel sok előnye közül néhány:

- dokumentum értékű,
- asszisztencia készíti, megfelelő sugárvédelmük
biztosítható,
- archiválható,
- utólag elemezhető, demonstrálható,
- páciensdózisa töredéke egy átvilágításnak.

A felvételezés módszertanát meglehetősen jól standardi-
zálták, így azonos felvételek valóban összevethetők,
bárhol készítették is azokat. A vizsgált szervekre irá-
nyított sugárnyalábot rekeszeléssel szűkítik le úgy, hogy
még a teljes filmfelületet kihasználják. Ólomgumilapokkal
takarják a beteget úgy, hogy csak a vizsgált terület le-
gyen besugározva. A gonádok takarása különös gonddal tör-
ténik.

A dózist alapvetően korlátozza, hogy a tulleponálás a
filmet értékelhetetlenné teszi. Átlagos röntgenasszisz-
tenstől is elvárható, hogy expozíciós hiba miatt igen

ritkán kelljen felvételt ismételni. A követelményt annyira jól teljesítik, hogy az automata hívógépek üzembehelyezésével sem lényegesen romlott az ismétlési arány. Ennek ellenére nyilvánvaló igény az expozíciós automatika, mely kívánt filmfeketedési dózissal lekapcsolja a generátort. A felvételek minőségét azonos készülékek mellett a filmanyag minősége, a filmhez használt erősítőfóliák minősége, és erősítési tényezője, a filmkidolgozás befolyásolja. Az erősítőfóliák jelentőségét különösen ki kell emelni: a szükséges expozíciós időt közel századrészt csökkenti. A feloldóképesség /hasonlóan a röntgenernyőhöz/ a szemcsék finomításával növelhető, de az erősítési tényező valamelyest csökken. A 7. ábra az egyes erősítő fóliákat a fólia nélküli filmhez szükséges dózis alapján hasonlítja össze, a feloldóképességet is figyelembe véve. Kitűnik, hogy a fólia nélküli felvételezés milyen nagy páciensdózissal jár. Az elérhető dózismegtakarítás jól jellemzi az egyes fóliákat. A fóliák ultraibolya tartományban sugároznak, ezért a röntgenfilmek e tartományra érzékenyítettek. Az UV-tartomány levegőbeni abszorpciójának kizárására szorosan a film két oldalára simítják a fóliákat, egyes mammográfiás rendszerek vákuumos összezárással biztosítják a legszorosabb érintkezést. A filmkidolgozás emberi tényezői az automata hívógépek terjedésével egyre kisebb jelentőségűek.



7. ábra: A dózisszükséglet függése a felvételi technikától, erősítőfóliától, fókuszmérettől /f/, mezőmérettől /d/ /BARKE, 1979/

A röntgendiagnosztika célja a lehetőleg biztos diagnózis megállapítása. Ennek érdekében használunk fel minden lehetséges eljárást. A módszerek végrehajtásánál azonban lehetőség szerint védeni kell a beteget az indokolatlan besugárzástól. A lehetőségek szemléletes számbavételére szolgál a WACHSMANN és mtsai által készített faktor-táblázat /5. táblázat/, melyen az egyes dóziscsökkentő és dóziszrontó tényezők szorzófaktorait adják meg. A táblázatnak minden munkahelyen ott lenne a helye, hogy segítse a dolgozókat az optimális feltételek megválasztásában.

A sugárvédelmi szempontból leglényegesebb szervek dózisviszonyait több éves méréssorozattal vizsgáltuk. Eltérően a hagyományos gonádcentrikus sugárvédelmi szemlélettől, a karcinogenitásban legveszélyeztetettebb szervek szerint jelöltem ki a sorrendet. Így a többszörösen érintett szervek, mint a mellkas, a medence és combnyak területe lett a legfontosabb. Sugárérzékenysége miatt külön figyelemmel kísérjük a szem, a herék, petefészkek, emlők károsodását is.

A teljes képhez szükséges további információk VÁRTERÉSZ /1963/, KEAM /1983-84/, SWINDON /1983/ munkáiból származnak. A széles szakirodalomból e források adatai illeszkednek legjobban a radiológiai eljárások, gépellomény mai hazai gyakorlatához.

5. táblázat: A röntgenvizsgálat végrehajtásakor befolyásolható feltételek hatása a páciensdózisra /WACHSMANN, 1979/

Befolyásoló tényezők	Kedvezőtlen	f_u	normál f_n	Kedvező	f_g
Indikáció	széles	1,3	1		0,75
Direktfelvétel	ernyőfénykép	4,0	1	képerősítő felvétel	0,2
Csőfeszültség /az f értékek a tüdőfelvételre vonatkoznak/	lágy sugárzás 60 kV	3,0	1	kemény sugárzás 150 kV	0,2
Filmérzékenység	relative kicsi	1,2	1	optimális	0,8
Fóliák - univerzál fólia	finom szemcséjű	2,0	1	Nagy erősítésű	0,5-0,2
Sugárkapu /mezőnagyság/	túl nagy	2,0	1	nagyon szűk	0,75
Az átvilágítások részaránya /normál 10 %/	nagy /20 %/	1,2	1	kicsi /5 %/	0,9
Ismételt felvételek /normál 10 %/	gyakori /20 %/	1,1	1	ritka /2 %/	0,9
Sötétkamra-technika	elégtelen hívás	2-10!	1	optimális	0,9
Védőberendezések /gonád-dózis/	nincs	20-200!	-	van	1,0

Hazánkban a leggyakoribb a mellkasi röntgenvizsgálat. Évente több mint nyolc millió felvételt készítenek, és közel kétmillióra tehető az átvilágítások száma. A mellkasban életfontosságú szervek helyezkednek el. Sajátos módon, lényegesen más paraméterekkel kell a tüdőt, a szívet, gerincoszlopot vizsgálni. Ezért is többszörös a vizsgálat, mert a más célra készített felvételek nem adnak elég értékes információt.

A kiemelten veszélyeztetett szervek /tüdő, emlők, vörös csontvelő/ karcinogenitási kockázata igen magas - lényegesen magasabb, mint a morfológiai károsodásból következnek! Feltehetően hozzájárul ehhez, hogy a kémiai és biológiai karcinogén anyagok jelentős hányadának is e szervek a tipikus támadáspontjai. Nem zárhatók ki addíciók és multiplikációk sem e tényezők között. Akárhogyan tervezik is a mellkasi vizsgálatokat, e szervek, illetve igen jelentős részük elkerülhetetlenül besugárzódik. Gyakori eljárás a mellkas egyes részleteinek ábrázolására a rétegfelvétel, ami különleges technikával készül. Sugárhatása igen nagy, a közel 2 s-os expozíció alatt folyamatosan változó sugáriránnyal készül a felvétel. Emiatt megfelelő takarás sem biztosítható. A felvétel diagnosztikus értéke csak előzetes átvilágítás esetén megfelelő, ha a rétegmélységet megfelelően meghatározzák. A hibalehetőség csökkentésére dolgozták ki az ún. szimultán kazettákat, melyekkel 6-10 réteget lehetett

6. táblázat: A mellkasi röntgenvizsgálatok megoszlása
vizsgálati technika szerint 1982-ben

Vizsgálat fajtája	Vizsgálati szám
átvilágítás	240.000 (1.)
célzott felvétel	700.000 (2.)
felvétel síkfilmre	741.205
ernyőkép felvétel	513.395
Tüdőgyógyászati átvilágítás felvétel	530.000 (3.)
Szűrővizsgálat átvilágítással ernyőképfelvétellel	25.701 5.662.209

1. becsült adat, a SZOTE adatainak egyeztetésével

2. Az 1.524.524 célzott felvétel becsült arányos
része

3. A jelentésben nincs bontás a módszerek szerint

/CSÁKÁNY, 1984, SCHWEIGER, 1976-1984/

egyszerre leképezni. Ezek azonban nem biztosították a várt gyakorlati előnyöket. Az átlagos rétegfelvételi dózis 45-50 mSv nagyságu.

A páciensdózist az OSSKI hitelesített SIEMENS gyűrükamrás doziméterével, a környezeti és munkahelyi sugárvédelmi méréseket VAJ.15.2A. Vakutronik gyártmányu hitelesített ionizációs kamrával végeztük. A "bőrdózis" alapján a sugárterápiában alkalmazott Mayneord-formulával lehet az integrál elnyelt dózis értékét kiszámítani. A formula:

$$D_i = 1,44 \cdot D_o \cdot A \cdot d_{1/2} \cdot \left(1 + \frac{2,88 \cdot d_{1/2}}{f} + \frac{4,16 \cdot d_{1/2}^2}{f^2} \right)$$

ahol:

D_i : az integrál elnyelt dózis Gy-ben /v. R-ben/

D_o : a felületi dózis Gy-ben /v. R-ben/

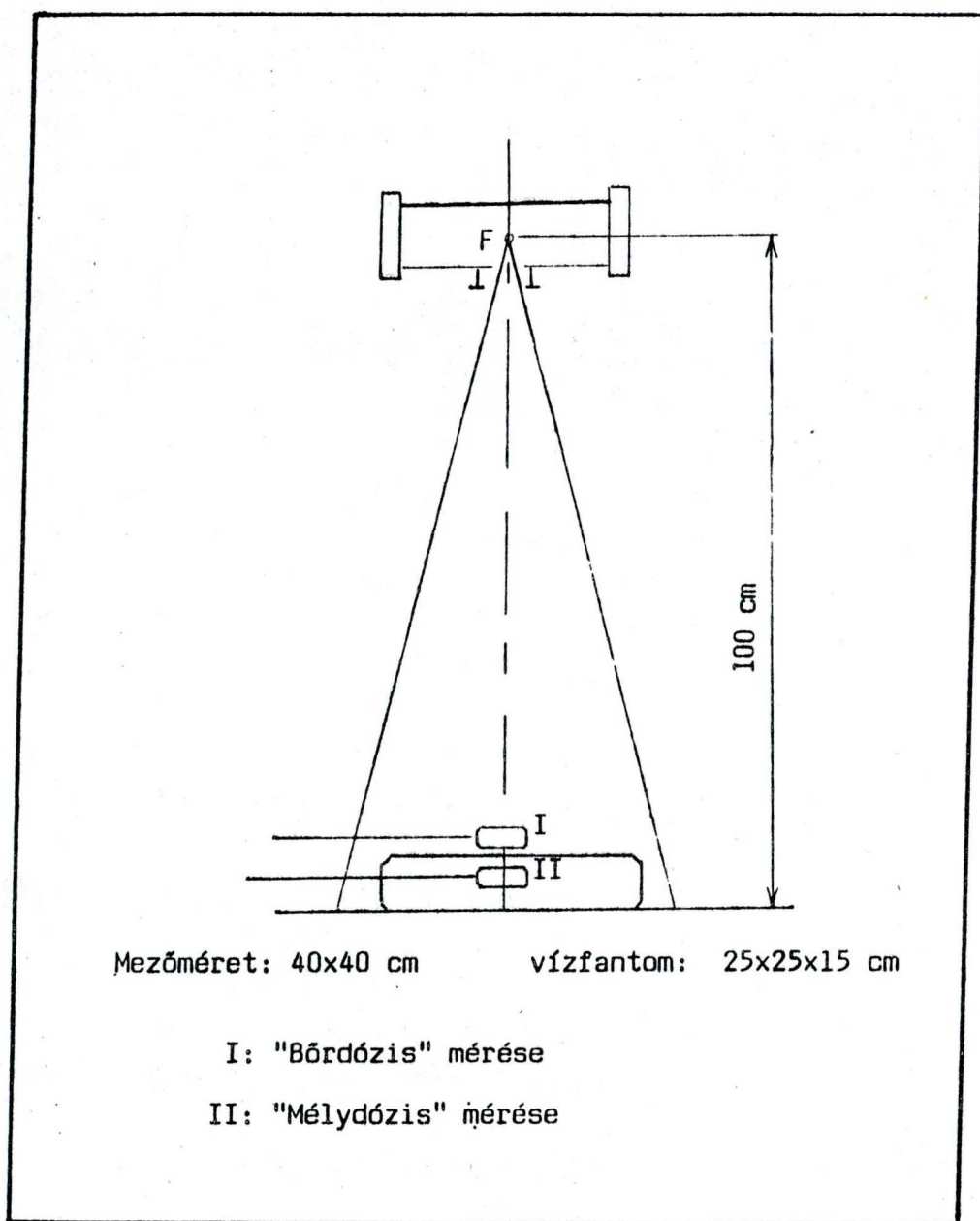
A : a besugárzott mező cm^2 -ben

$d_{1/2}$: a dózist felező testmélység /felezőrétegvastagság cm-ben/

f : a fókusz-bőr távolság, cm-ben.

Ezzel akár személyenként is meg lehet határozni az elnyelt összdózis nagyságát.

A mérésekhez szabványos vizfantomot használtunk, mellyel a relativ méréseink igen egyszerűvé váltak. Az azonos szórásviszonyok miatt csak egy faktossal tér el az integrál elnyelt dózis a felületen mért dózistól. A



8. ábra: Páciensdózis mérése vízfantommal

7. táblázat valamennyi vizsgált ernyőkép felvételi munkahely adatait mutatja.

A mellkasfelvételezést kiemelt intézetekben vizsgáltuk; a készülékek jellemzőek a Délmagyarországon használt típusokra. A 8. táblázatból kitűnik, hogy a régebbi "kW-automatikával" dolgozó szerkezetek nagyobb páciensdózist okoznak. /Ebben a nagyfeszültség előállításánál alkalmazott módszer is közrejátszik./ Különösen előnyösnek ígérkezik az új EDX 800 generátor, melyben a nagyfeszültség simított egyenáram, azaz a csőfeszültség pulzálását is kiküszöböli. E típus bemérésére még nem volt alkalom.

A hasi szervek röntgenvizsgálatában különösen fontosak a kontrasztanyaggal végzett vizsgálatok. Ezek nagy körültekintéssel, több felvétellel, és szükség szerint akár több percet is kitevő átvilágításokkal járnak. A gonádok kielégítő védelme a legtöbbször megoldatlan. A viszonylag kevés jól védhető esetben sem szokták a gonádvédelmet biztosítani. Az elnyelt dózisok a gyomor, epehólyag, vese vizsgálatánál sokkal nagyobb eltéréseket mutatnak, mint azt a mellkasnál tapasztaltuk. A fontosabb vizsgálatok dózisait a 10. táblázat foglalja össze. A medencét, veséket, hólyagot érintő vizsgálatoknál a gonádvédelem lehetősége is szűkös, használata pedig minimális. E területen a csontvelődózis is igen jelentős, mert a medence illetve a combcsont fejének vörös csontvelőállományát biztosan éri az expozíció. A csontvelő besugárzása a leukémia lehe-

Az ernyőfényképező berendezéseknél mért
dózisok

Sor- szám	kapcsolóhely μGy	környezet μGy	páciensdózis mGy
1	0,06	háttér	-
2	0,04	háttér	40
3	0,05	háttér	62
4	0,36	háttér	40
5	0,1	háttér	41
6	0,06	háttér	63
7	0,5	0,01	69
8	0,4	háttér	44
9	0,6	0,015	80
10	0,5	háttér	72
11	0,04	háttér	49
12	0,24	0,01	88
13	0,32	háttér	-
14	0,23	háttér	-
15	0,3	háttér	-
16	1,35	0,02	-
17	0,06	háttér	-
18	0,03	0,02	42
19	0,2	0,02	38
20	0,05	háttér	-

7. táblázat



folytatás

Sor- szám	Kapcsolóhely	Környezet	Páciensdózis
21	0,13		53
22	0,13	0,01	52
23	0,12	háttér	47
24	0,21	0,02	66
25	0,5	0,21	84
26	0,17	0,01	50
27	0,06	háttér	32
28	ü z e m k é p t e l e n		-
29	0,15	0,01	-
30	0,06	háttér	-
31	0,52	háttér	44
32	0,26	0,01	89
33	1,2	0,5	76
34	0,5	0,2	64
35	0,06	háttér	43
36	0,08	0,01	57
37	0,4	0,05	-
38	0,06	háttér	-
39	0,02	háttér	40
40	0,05	háttér	39
	Á T L A G É R T É K E K		
	0,226	háttér	55,1

8. táblázat: Mellkasfelvételek mért páciensdózisai

Készülékek	Munka- hely	Paraméterek				Dózis- átlagok
		fólia	kV	mA	s	
DIAGNOMAX M 125	I	UNIVERZÁL	70	400	0,02	6,1
	II	UNIVERZÁL	65	400	0,02	6,8
	III	UNIVERZÁL	75	350	0,04	7,5
NEO DIAGNOMAX	I	UNIVERZÁL	70	400	0,02	5,4
	III	UNIVERZÁL	75	400	0,01	3,8
	IV	UNIVERZÁL	75	350	0,04	4,4
EDR 750 B	I	UNIVERZÁL	70	350	0,02	4,2
	IV	UNIVERZÁL	60	400	0,01	3,8
	V	UNIVERZÁL	70	400	0,01	4,0

10. táblázat

Hasi szervek fantommal mért felvételenkénti és vizsgálá-
tonkénti dózissai

Szerv	Csőfeszültség kV	Felvételenkénti dózis mSv	Vizsgálati dózis mSv
Gyomor	80 /75-85/	21 /15-30/	105 /min./
Epehólyag	80 /80-90/	14,5 /16/	44 /min./
Vese	75 /70-85/	22,2 /14-25/	66
Medence	75 /70-75/	23 /20-25/	23
Terhességi felv.	90 /90/	42 /30-60/	42

Zárójelben a testmérettől függő beállítási határok, ill. ezzel változó dó-
zishatárok

tősségét jelentősen növeli, különösen fiatal korban. Ezért különösen elítélendő csecsemők csipőficam-szűrővizsgálatának röntgenfelvételezéssel való megoldása. E fiatal korban 0,01 Gy dózis hatására is lényeges leukémia kockázattal kell számolni! A koponya vizsgálata magában sugárvédelmi problémát nem okoz. A szemek azonban igen sugárérzékenyek, a szokásos sorozatfelvételes vizsgálati módszerek esetén /carotis angiographia/ egyoldali vizsgálat szemlencse dózisa kb. 170 mSv. Kétoldali vizsgálatnál 600-700 mSv a szemlencse dózisa, amelynél már nem elhanyagolható a késői lencsehomály kockázata /UPTON, 1953, MERRIAM, 1957/. A végtagfelvételek érdemi sugárvédelmi problémát nem jelentenek. Kiemelkedő a combcsont baleseti ellátása során tapasztalt eljárás. A műtét alatt végzett képerősítő vizsgálat gonád- és medence dózisa nem túl nagy. A műtét után /hetenként/végzett kontroll-felvételek szinte kivétel nélkül gonádtakaras nélkül folynak. Ez a gonáddózis - különösen pontatlan sugárrekeszelés esetén - 10 mGy és 20 mGy között változott. Ez $1-2 \cdot 10^{-4}$ valószínűséggel hozhat létre mutációt az első nemzedékben.

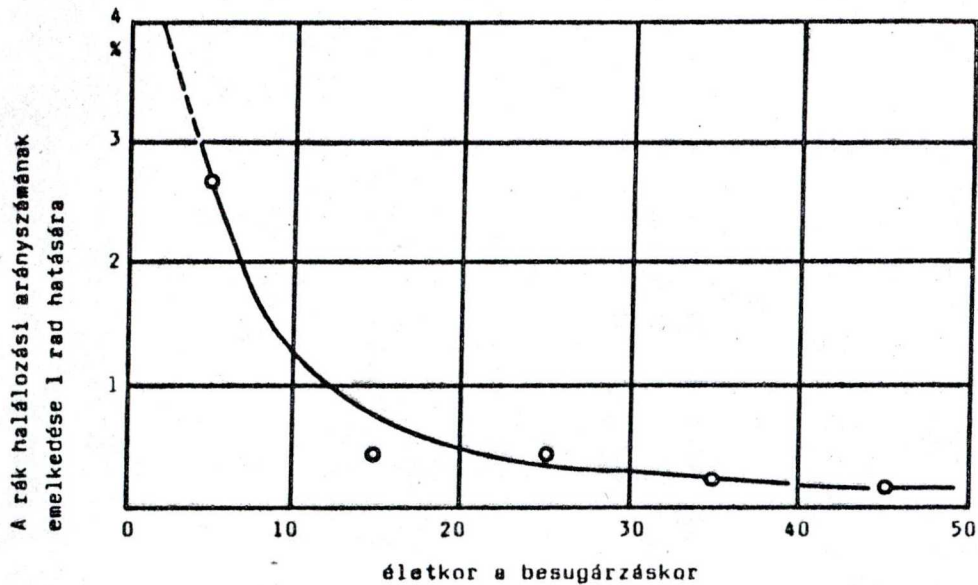
A sugárterápia egyes vonatkozásairól

Általában egy daganatos góc remisszióját 5-7 krad, azaz 50-70 Gy besugárzás biztosítja. Ez csak korlátozott testrész lehet, hiszen a félhalálos egésztestdózis emberre 4 Gy! Általában nem emelhető kifogás a sugárterápiával

9. táblázat: Különféle mellkasvizsgálati eljárások páciensdózisai

VIZSGÁLAT MÓDJA	Közepes elnyelt dózis /mSv/	
	WACHSMANN /1979/	mért
Képerősítő sportkamerával felvételezés	0,01	-
Átvilágítás képerősítővel	0,1	0,5
Átvilágítás képerősítővel /régebbi típus/	0,6 - 0,8	-
Sikfilmfelvétel rapid fóliával	1 - 10	-
Sikfilmfelvétel UNIVERZÁL /ORWO/ fóliával	11	5,11
Rétegfelvétel		50
Ernyőképfelvétel rollfilm-re	10 - 400	55,1
Sikfilmfelvétel erősítő-fólia nélkül	100 - 1000	-

járó kockázat ellen, hiszen életmentő-életmeghosszabbító eljárás. A szakirodalomban megtalálható közlések szerint a felnőttkori leukózisok 3,6 %-a korábbi sugárterápiás eljárás következménye /MÓZSA, 1976/. Általában gyermekori timusz és pajzsmirigy-besugárzások késői következménye lehet ez, de nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy a sugárhatás gyulladáscsökkentő hatását napjainkig alkalmazzák. A sugárterápiás statisztikában szereplő kb. 133.600 nem daganatos mező besugárzása legalább 30.000 embert érint, akiknek feltételezetten kb. egyharmada más



9. ábra: 1 rad /10 mGy/ hatására kialakuló rákos folyamat valószínűsége

módon kisebb kockázattal is kezelhető lenne. Feltétlenül kerülni kell minden olyan besugárzást, mely más uton is elérhető eredményt adna. A sugárterápiás szakkönyvekben ma is komoly fejezet szól a gyulladáscsökkentő besugárzásokról. Sajnos több olyan indikáció is szerepel, melyek veszélyességét már egyértelműen bizonyították. /Emlők, mandula, tüdő-tbc kezelése, stb., RODÉ, 1984/. Ki kell emelni a brachy-terápiás sugárkezelések durva dozírozását, különösen a rádiumos üregi kezeléseknél, melyeket még külső besugárzással is kombinálnak. A módszer egésztest-dózisa indokolatlanul magas, 1 Gy körüli.

A röntgenvizsgálatokból származó átlagos dózis
meghatározása

A hivatalos statisztikai adatok alapján hazánkban közel ötmillió embert vizsgáltak röntgennel, közel tízmillió expozícióval. Emellett 6,2 millió ernyőképfelvételt és mintegy 2 millió tüdőgyógyászati expozíciót végeztek. Az egyes vizsgálatok mért és számított dózisa alapján szerkesztettem a 11. táblázatot, melyben a sugárvédelemben kiemelten fontos szervek röntgenvizsgálati sugárterhelését összegzem. A 170,95 millió man mSv/év dózist többféleképpen lehet személyenként lebontani. A kiszámításához csak a vizsgálaton részt vettek számát kell figyelembe venni. Ismétlődés eleve van, mert a betegek között vannak többszörösen vizsgáltak, és a szűrővizsgálaton megjelentek közül kerül ki a más módon is vizsgált betegek jelentős része. E két vizsgálati rendszer átfedését 50 %-ra tesszük. A dózis a 7,2 milliós létszámmal tekintve 23,74 mSv/fő/év. A népesség összdózis megosztása többféleképpen lehetséges, ebből is következik a statisztikai adatok lényeges eltérése. A kapott érték realitását dr. Pikó Béla segítségével ellenőriztem, és megállapítottuk, hogy ez az érték egy-egy vizsgált betegnél többszöröse lehet a kapott kb. 24 mSv egyenértékű dózishoz, mely, mint eredeti feltételezésemben is szerepelt, kizárólag a sugárbiológiailag kiemelten veszélyeztetett szervek dózisa.

A röntgenvizsgálatokra az NSZK 1984-ben 2 mSv, az UNSCEAR 1982. évi jelentése 10 mSv páciensdózist állapít meg. Az értéket vissza lehet számítani a nem számításba vett szervek dózisának és tömegének, valamint a lakosság teljes számának figyelembevételével. A 10,6 milliós lakosságot, 70 kg-os testtömeget tekintve 8,06 mSv személyenkénti dózist kapunk, ami teljes népességre a fenti forrásadatokkal összhangban van.

11. táblázat: Röntgenvizsgálatok átlagos páciensdózisának meghatározása a kiemelt szerveket tekintve

Vizsgálat	betegszám millió	vizsgálati dózis mSv	Összdózis mSv.man.10 ⁶
Tüdőfelvétel } Tüdő átvilágítás }	2	0,8 4,5	1,6 (1.)
Mellkas-nyelőcső	0,8	5	3,6
Gyomor-belek átv.	0,25	30	7,5
Irrgoscopia	0,25	25	8,75
Cholegráfia	0,25	30	5,25
Urográfia	0,25	30	5,25
Célzott felvételek	1,5	5,6	8,4 (2.)
Helyszini felvétellel	0,11	5	0,55
Ernyőképszűrés	6,2	55,1	105

Összesen

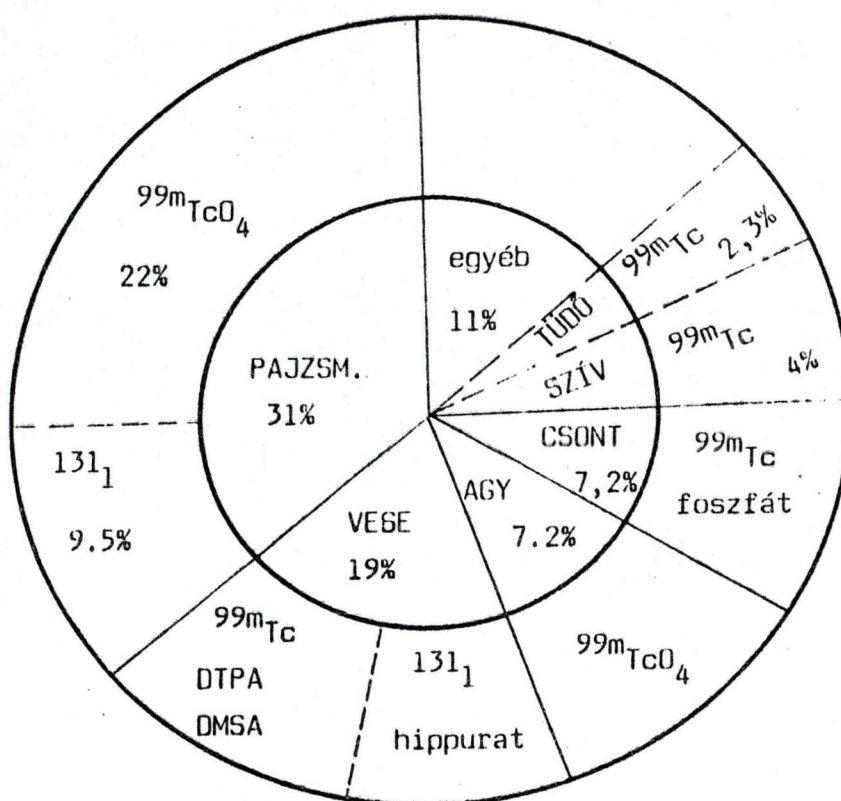
170,95 millió man mSv

(1.) nincs a statisztikában bontva, a számított átvilágítási arány 30 %

(2.) az átvilágítási dózis nélkül

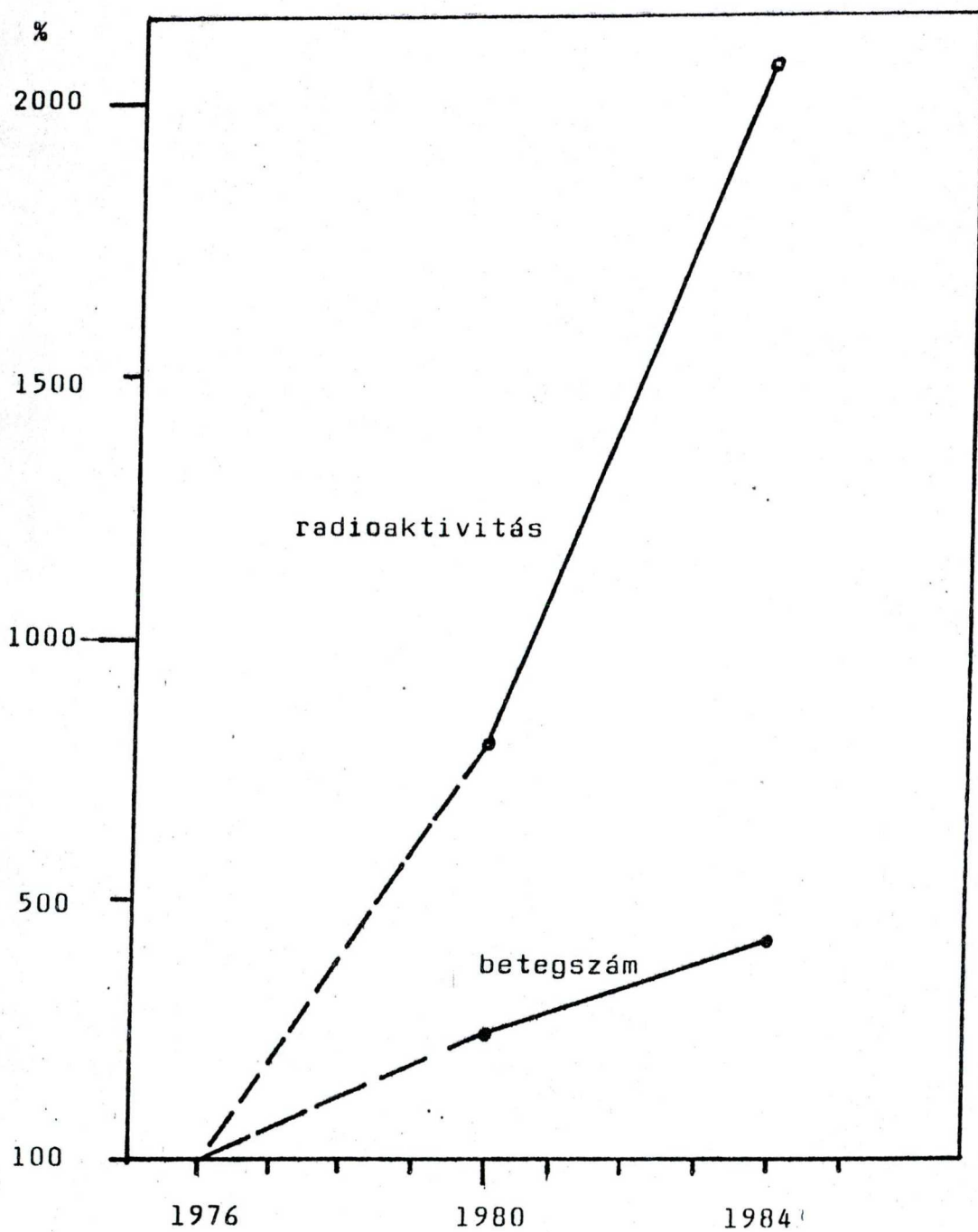
Izotópdiagnosztika

A sugaras vizsgálatok legújabb ága a nukleáris diagnosztika. A vizsgáló módszerek igen nagy része in vitro módszer, melyet minimális aktivitásokkal végeznek el. Rendkívül nagy jelentőségük a szervezetbe juttatott radionuklidok speciális diszintegrációjából szerezhető információk. A megfelelő áthatolóképességű, gyorsan lebomló nuklidok előállítására és a szemléletes képet adó gammakamera-számítógép rendszer megalkotása önálló, igen értékes szakterülettel gazdagította a radiológia tudományát. A felhasznált izotópok közül kiemelkedik a technécium és indium, melyek metastabil nuklidja igen gyorsan, tiszta gammafotonkibocsátással bomlik. Felhasználási arányát a 10. ábra mutatja, melyből kitűnik, a radiojóddal együtt a diagnosztikus vizsgálatok döntő része a két nukliddal elvégezhető. A 10. ábra SZILVÁSY /1984/ felmérő jellegű munkája nyomán készült; hazánkban rendszeres adatgyűjtés az izotópdiagnosztikáról 1984-ben kezdődött, ezért még kevés információ áll rendelkezésre. Az alkalmazható módszereket, a beadandó nuklidmennyiséget, a kiemelt szervek páciensdózisát a Függelék 4. táblázata mutatja. Ennek alapja KEAM /1983-1984/ munkája, melyet Láng J. segítségével adaptáltunk a hazai viszonyokra. Ebben olyan eljárások is szerepelnek, melyek helyettesítését már megoldották speciális vegyületekhez kötött



10. ábra: Az izotópos vizsgálatok megoszlása nuklidok és vizsgálati fő célok szerint /MAKRA, 1985/

technéciumizotóppal, de végezhetők más radionuklidokkal is. A metastabil radioizotópok alkalmazását a "generátorok" kidolgozása tette igen kényelmessé. E sugárvédett szerkezetekben a folyamatosan keletkező nuklidot egyszerű kioldással lehet "lefejni", és ezzel felhasználásra kész az anyag. Mennyiségét dóziskalibrátorral lehet ellenőrizni, mely egyuttal szennyezettség ellenőrzésre is



11. ábra: Az izotópfelhasználás és a betegszám növekedése a szegedi Központi Izotópdiagnosztikai Laboratóriumban

szolgál. Nagy előnye e rendszernek, hogy a munkahelyek dekontaminálása is könnyen elvégezhető, a gyors lecsengés miatt a sugárveszély a lehető legkisebb. Ugyanezért a vizsgált beteg igen rövid ideig tekinthető "sugárforrásnak". A radioizotópos vizsgálatok adataiból a már említett táblázatban valamennyi lényeges vizsgáló eljárás páciensdózisa, és a vizsgálat gyakorisága szerepel. Ebből meg lehet határozni az átlagos értéket, mely 88 mSv/fő/év.

Az izotópdiagnosztika helyes értékelése ma még nehéz. A 11. ábra a szegedi vizsgálatok gyarapodását mutatja. Az exponenciális felfutás akár betegszámban, akár nuklidmennyiségben rendkívüli fejlődést sejtet, habár ennek gyakorlati akadálya, hogy a SZOTE Központi Izotópdiagnosztikai Laboratóriuma jelenleg már sem további nuklidmennyiségeket, sem további betegeket nem tud már fogadni. A vizsgálati szám emellett az újabb laboratóriumok belépésével hasonló ütemben bővül. A vizsgálatok bővülése a szegedi laboratóriumon kívül a szomszédos megyék ujonnan kialakított, vagy bővített laboratóriumaira is jellemző. 1984-ben már 23 izotópdiagnosztikai labor. működött, és közel százezer beteget vizsgáltak. A növekedés tendenciájából egyelőre becslést sem lehet tenni az elkövetkező évek átlagos dózisára.

Jelenleg a vizsgált személyek átlagos dózisa /12. táblázat / 88 μ Sv/fő; igen alacsony, ez a gyorsan kiürülő és lebomló nuklidoknak köszönhető /BONTA, 1962, GYÖRGYI, 1985, SZILVÁSY, 1984/.

12. táblázat: Az izotópos vizsgálatok átlagos dózisa 1984-ben
a 85.000 vizsgálat Szilvász I. által megadott megoszlását tekintve, a főbb csoportokban:

	fő	%	MBq		μSv/fő
Agy	6120	7,2	Tc	csontvelő	208
Csont	6103	7,2	Tc	174 csontvelő	438
Szív	3412	4	Tc	400 csontvelő	2800
Tüdő	1955	2,3	Tc	60 tüdő	246
Pajzsmirigy	18700	22	Tc	400 pajzsmirigy	2700
Pajzsmirigy	8075	9,5	¹³¹ I	2 pajzsmirigy	260
Vese	13601	16	Tc	110 vese 500	350
Vese	2496	3	¹³¹ I	3 vese	15
Egyéb	26493	11	Tc, Tl, Xe Se Ga		

átlagosan: 88 uSv/fő

A hazai lakosságot érő átlagos sugárter-
helés összegzése

A 13. táblázat alapján összegezve, 17,2 mSv éves mesterséges dózist kapunk. Ez több, mint kilencszer magasabb a háttérnél. Nem szabad elfeledni, hogy ennek nagyrésze véletlen eloszlású, az egyes embereknél sokkal több, illetve sokkal kevesebb is lehet. Nem tekintettük az összegzéskor a sugárterápiák dózisát, mely gócdózis, és életmentő-életmeghosszabbító eljárás, melynél a kockázat nem mérlegelendő.

A lekötött átlag dózis $\bar{H}_C$, az ICRP 26. /25. §./ szerint:

$$\bar{H}_C = \int_0^{\infty} \dot{H}_E / t / dt$$

ahol

$\dot{H}_E$: a személyenkénti átlagos dózisegyenérték, melyet pl. évenként tekintünk.

Egy személy életében /az átlagos életkort alapulvéve/

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0+50 \text{ év}} \dot{H}_E / t / dt$$

formulával számítható életdózisa, melyben:

H_{50} : egy /adott/ személy 50 év alatt lekötött dózisa,
a $\dot{H}_E(t)$ dózisteljesítmény mellett,

t_0 : a megfigyelés kezdete.

13. táblázat: A hazai lakosságot érő sugárhatások
összegzése

A röntgendiagnosztikai átlagosan	17.100 μSv
az izotópdiagnosztikai átlagosan	0,7 μSv
véletlen besugárzások átlaga	1 μSv
a környezeti kibocsátások vissza- hatása átlagosan	13,2 μSv
a természetes háttér	
a mesterséges háttérjellegű be- sugárzással	1.870 μSv
Összesen	1.724,9 μSv

A radiológus foglalkozásuak további 400 μGy átlagos dó-
zisterheléssel számolhatnak évente.

A lekötött dózis hatását a legfontosabb szervek radiogén
kockázati faktorainak ismeretében értékelhetjük. Az
ICRP 26. "D" fejezetében a legfontosabb a kockázati té-
nyezőket adja meg /14. táblázat/. A megadott kockázati
faktorral pl. a tüdő $2 \cdot 10^{-3}/\text{Sv}$ kockázatát a vizsgálati
dózis mintegy 20 mSv-ben becsülhető értékével tekintve
50 év alatt 1 Sv dózissal számolva $2 \cdot 10^{-3}$ valószínűség-
gel növekszik az érintett egyén tüdőrák kockázata. E
kétezerrelékes mortalitási kockázat magában igen alacsony.

14. táblázat: A népességi besugárzások egyes szervekre vonatkozó kockázati tényezői /ICRP 26; VIRÁGH, 1985/

Kritikus szerv	Kockázat 1 Sv dózis hatására
emlő	$2,5 \cdot 10^{-3}$
tüdő	$2 \cdot 10^{-3}$
pajzsmirigy	$5 \cdot 10^{-4}$
csontfelszín csonthártyával	$5 \cdot 10^{-4}$
valamennyi egyéb szerv együtt	$5 \cdot 10^{-3}$
egésztestbesugárzásnál	10^{-2}
az utódok leukémiája	$2 \cdot 10^{-1}$
örökletes sérülések a II. generációig	$4 \cdot 10^{-3}$
A kockázatokat összegezve:	$16,5 \cdot 10^{-3}$

Jelentőségét akkor látjuk, ha az egyes kiemelt sugárérzékenységu szervek növekvő szamu rákos megbetegedését és a népességi dózis növekedését együtt vizsgáljuk. /VIRÁGH, 1985, OAB 1984/.

A sugárveszélyes eljárások alkalmazása előtt mindig mérlegelni kell, hogy az eljárás által nyújtott előny meghaladja-e ugyanezen folyamat káros következményeinek súlyát. Sugárbiológiai ismereteink gyarapodásá-

val egyre óvatosabbak vagyunk a "biztosan nem ártalmas sugárzásmennyiség" megadásával. Mig Mutsheller 1926-ban napi 0,25 R dózist tekintett elfogadhatónak /tolerancia-dózis/, 1950-ben már csak évi 5 R a megengedett érték. A mai megfogalmazás dóziskorlátot jelöl ki, melynek megközelítése rendkívüli esetekben indokolt. Mai sugárbiológiai ismereteink szerint a sugárzások károsító hatásának alsó határa nincs és a hatások összegződnek. Ezért minden felesleges besugárzást kerülni kell /SZTANYIK, 1976, VIRÁGH, 1985/.

A sugárveszélyes tevékenységek közül a mérlegelés elvét manapság legkevésbé az orvosi diagnosztikában alkalmazzák. Vizsgálataink szerint pedig a népességi dózis legnagyobb része éppen röntgendiagnosztikából származik. Természetesen nem a gyógyítást szolgáló műveletek korlátozását kell itt a mérlegelésen érteni. Vannak olyan eljárások ma már, melyek egyes területeken igen jó eredménnyel helyettesítik /kiegészítik/ a röntgenvizsgálatot /ultrahang, endoszkópia, termográfia/. A legjobb lehetőség a dóziskorlátozásra az indokolatlan vizsgálatok korlátozása. Pl. a tüdőgümőkór felszámolására hozott rendelkezések mellkasvizsgálatot írtak elő minden kórházi felvételnél, alkalmassági vizsgálatnál, szülési segélyhez /!/ stb. A rendelkezéseket feloldották, a gyakorlat tovább él. E felvételektől nem várnak semmit, de elkészítik. A bete-

gek, új intézetbe kerülve, új kivizsgálásra kerülnek. Nem lehetünk olyan közömbösek, hogy ne használjuk fel az előző intézet munkáját.

Mint ismeretes, a röntgeneljárások műszaki fejlődésével a hatvanas évekhez viszonyítva, a népességi dózis akár századrésziére csökkenthető. Ezért különösen feltűnő, hogy az utóbbi tíz évben legalább háromszorosára nőtt a röntgentől származó népességi dózis /UNSCEAR, 1982/, a vizsgálati dózisok pedig 20-40 %-kal nőttek. /GUSTAFSSON, 1979/. Mindez a vizsgáltak számának növekedése mellett a vizsgálatok növekvő bonyolultságával indokolható. /11. ábra/

A páciensdózist mérve, igen magas dózisokat tapasztaltunk. A felvételek jelentős része takarás, gonádvédelem nélkül készült. Különösen az ernyőképszűrés dózisa magas, a hazai népességi dózishoz kb. 60 %-át adja. Gazdaságilag is megfontolandó 5 tizezrelékes gyakoriságu betegség szűrővizsgálata, a sugáregészségügyi szempontokat nem is ismételve. A szűrés fennmaradása csak a technikai megújulással lehetséges, pl. képerősítő fénycépező rendszerrel.

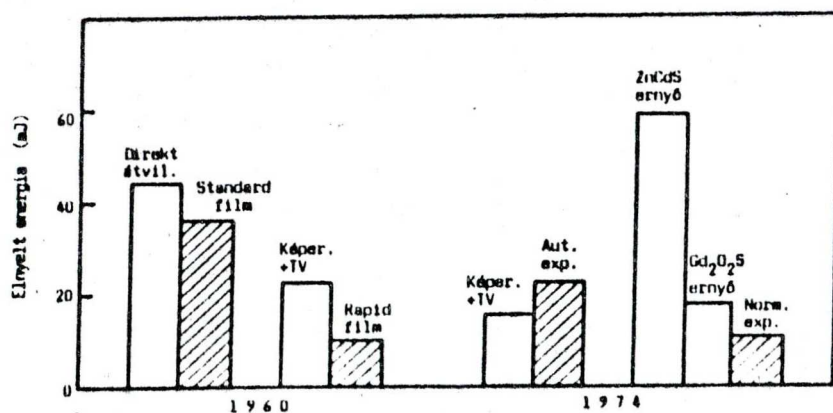
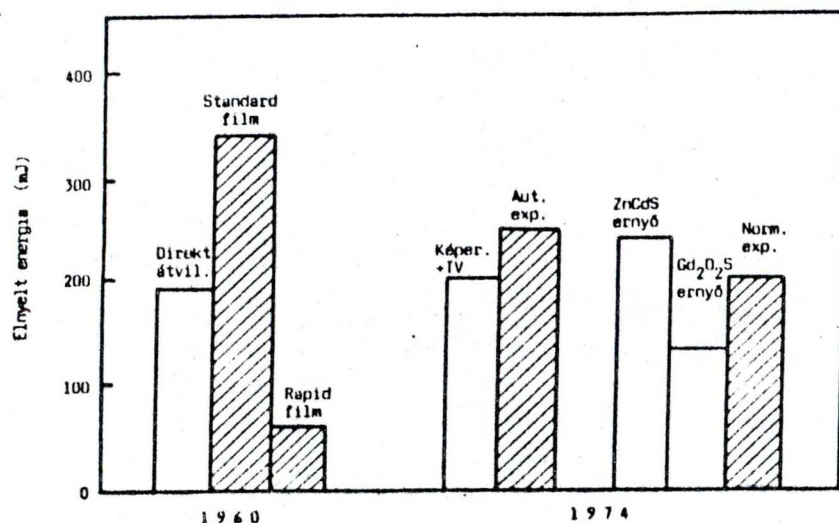
Méréseink alapján kijelenthetjük, hogy a sugárveszélyes munkát végzők védelme messzemenően kielégíti az előírásokat /MSZ 62, MSZ 14341, MSZ 824, MSZ 836/; éves lekötött átlagos dózisuk 0,4 mSv, veszélytelennek mondható.

Az eredmények értékelése

Összegezve a lakosságot érő besugárzást, akár éves szinten, akár élet-dózist tekintve, a mesterséges eredetű besugárzások dózisa sokszorosán meghaladja a természetes háttér dózisát. Ebből következik a klasszikus feltételezés felvetése: a populáció dózis kétszereződése elviselhetetlen genetikai terhet jelentene az emberiség számára. Mai szemmel nem az utódgenetikai kérdés a legégetőbb - ismeretes, hogy a mutációk 98 %-a letális az utódra, ezért legtöbbször "meg sem születik" /CZEIZEL, 1976/ - hanem a sejtgenetikai /rák/ problémák. Röntgenorvosokon, ipari radiológusokon, de már egy hasi röntgenvizsgálaton átesett betegen is kimutathatók a dicentrikus kromoszómák, a sugárhatás biztos jelei. Így tehát az egyedek élettartama felé fordul az érdeklődés. A helyzet kulcsa, úgy tűnik, a bioregeneráció "teljesítőképesége". Mindaddig sikerül eliminálni a torz sejteket, káros hatásokat, míg ezek keletkezése nem túl gyakori és nem túl sűrű. A kritikus értékek ma még nem ismeretesek, és nyilván egyénenként lényegesen eltérőek. Ezért természetes regenerációt nem számíthatunk be a sugárzások hatásainak vizsgálatánál.

Feladatunk nem lehet más, mint szűkebb és tágabb környezetünkben lehetőségeink szerint csökkenteni a kockázati tényezőket. A sugárveszélyes tevékenységek körében jelenleg egyes foglalkozási területeken, valamint a röntgendiagnosztika egyes területein lehet és kell az





11. ábra: A röntgenvizsgálatok során elnyelt dózis 1966-ban és 1974-ben. Fent: Kontrasztanyagok gyomorzvizsgálata, lent: kolecisztoográfia. A technikai sugárvédelem javulásával nem csökkent a páciensek elnyelt dózisa /GUSTAFSSON, 1978/

elszenvedett dózisokat korlátozni. A diagnosztikai terhelésnél külön ki kell emelni, hogy a betegek nem tudatosan vállalnak valamilyen kockázatot, hanem gyógyulásuk érdekében vállalják a vizsgálatokat! /SZTANYIK, 1984, VÁRTERÉSZ, 1963/.

Javaslatok

A meghatározott dózisértékek sugallják a javaslatokat:

1. A sugaras vizsgálatoknál szigorúan ügyelni kell a beteg védelmére is.
2. A nyilvántartási rendszert korszerűsíteni kell. Ezzel igen sok újrafelvételezést el lehet kerülni.
3. A minőségellenőrzési program kidolgozásával, folyamatos végzésével a technikai ismétlések minimalizálhatók.
4. Törekedni kell képerősítőre épített felvételező technika kiépítésére /filmtakarékosság is/.
5. A radioizotópfelhasználó laboratóriumok hulladékkezelő rendszereit ki kell építeni, és biztosítani kell a hulladékok megfelelő, a környezetet minimálisan szennyező elhelyezését.
6. Ki kell építeni az izotóptemetőben el nem helyezhető, kis fajlagos aktivitású radioaktív hulladékok végleges gyűjtőhelyét.

Összefoglalás

Dolgozatomban hazánk lakosságának teljes sugárterhelését határoztam meg. A természetes háttér évi 1,8 mSv értékét viszonyítási alapul választva értékelem a mesterséges eredetű besugárzásokat.

A mesterséges eredetű besugárzások számbavételénél a rák-megbetegedés fokozott veszélye miatt kiemelt szerveket vettem figyelembe. Ez gyakorlatilag a mellkas-has-medence rendszer dózisának vizsgálatát jelentette. Méréssel határoztuk meg a röntgenvizsgálati dózisok legfontosabbjait. Laboratóriumunk részt vesz azon mérésekben, melyek a környezet mesterséges radioaktív szennyezettségét határozták meg. A foglalkozási sugárexpozíciót helyszíni méréseink és az OSSKI Film dozimetriai Szolgálat adatai alapján határoztam meg.

Az összegzett dózis 17,18 mSv, több, mint kilencszerese a természetes háttérnek. Legnagyobb részét röntgendiagnosztikából származik, e komponens folyamatosan növekszik. A nukleáris kísérletekből származó szennyezés folyamatosan csökken, de a technológiai szennyeződés növekedése ezt a közeljövőben kiegyenlíti.

A dolgozatomban meghatározott dózisok lényegesen magasabbak a hazánkban közismert értékeknél, melyek régebbi nemzetközi jelentések adatain alapulnak. A páciensdózisok növekedését megerősítik az utóbbi időben közzétett jelentések.

A közismerten növekvő számú rákos megbetegedések visszaszorítására minden veszélyeztető tényező csökkentése fontos. Szakterületemen a javasolt intézkedések a népességi dózis 30 % körüli csökkentését eredményezhetnék.

Feltehetően a sugáregészségügyi intézményekben eddig végzett munkának is köszönhető, hogy a sugáregészségügyi szakterület kiemelt feladatául a következő évek-re a dolgozatomban is vizsgált mesterséges eredetű népességi sugárterhelés országos felmérését tűzték ki. Remélhetőleg e vizsgálat alapján az indokolatlan besugárzás visszaszorítására megfelelő intézkedések születnek majd.

Felhasznált irodalom

Bakács T., Kertai P.: Ember és biológiai környezete
Bp. 1975. BME Műszaki Továbbképző Int. Nr. 4970.

R. Barke, V. Köhler, G. Roesenkrantz: Röntgenologische Mammadiagnostik mit ORWO-filmmaterial am Mammographiegerät "TuR DG 40" ORWO Moderne Röntgen Fotografie 3/1979.

Beir III. /Szerk: E.P. Radford: Committee of the Biological Effects of Ionizing Radiation, 1980. "The Effects on Population of Exposure to Low-Levels of Ionizing Radiation" Washington, D.C: Academic Press

Bisztray-Balku S., Bozóky L., Koblinger L.: A sugárvédelem fejlődése Magyarországon Akadémiai Kiadó 1982.

Bisztray-Balku S.: Radiológiai munkák, sugárzás elleni védelem Műszaki Könyvkiadó 1979. Budapest

Boice, J. D., Monson, R.R.: Risk of Breast Cancer Following Low-Dose Exposure Radiology, 131, 1979.

Bojtor I., Thék Gy., Sztanyik B.L.: A foglalkozási sugárterhelés országos ellenőrzésének működési alapelvei és a radionuklidok egészségügyi alkalmazásával járó sugárterhelés Izotóptechnika, 27, /4/ 1984.

Bonta J. szerk.: Műszaki Egészségügyi sugárvédelem Műszaki Könyvkiadó 1962. Budapest

Buhl, T.E., Hansen W.R.: Estimating the Risk on Cancer Mortality and Genetic Defects Resulting from Exposures to Low-Levels of Ionizing Radiation LA-9893 sz. jelentés, Los Alamos

Burkart W.: Dose-Response in Radiation-Induced Human Carcinogenesis: Accumulated Data do not yet Solve the Enigma. Nucl. Technology 62, 7. 1983.

Csiszár B., Milassin T.: Az orvosi röntgen munkahelyek sugárvédelmi helyzete Bács-Kiskun, Békés és Csongrád megyében. Balatonkenese, 1984. /ELFT; Sugárvédelmi Iskola/

Csákány Gy.: WHO-ajánlások a felesleges röntgenvizsgálatok visszaszorítására, Radiológiai Közlemények 1984. 3-4.

Csákány Gy.: szerk: Radiológiai munkastatisztika Radiológiai Közlemények 1984. 1-2.

Czeizel E.: Az emberi öröklődés. Gondolat Kiadó, 1976.

Czeizel E.: Személyes konzultáció. 1984.

Gidáli I., Fehér I.: A vérképzés sugársérülése. Orvostudományok 44, 4. 243-253; 1985.

Gundi S., Varga P.L.: Egészséges személyek kromoszómaanalízise, Egészségtudomány 26, 195-199. /1982/

Gundi S., Uray I., Varga P.L.: A sugárhatás citogenetikai indikátora, I-III. Izotóptechnika 25, /3/: 242-247. /1982/.

Györgyi S., Krasznai I.: Orvosi Izotóptechnika. Medicina Kiadó, Bp. 1985.

Gustafsson, M.: Energy Imparted in Roentgen Diagnosis Procedures, Acta Radiol. Diagn. 20. 1979. Fasc. 1. A.

Gustafsson, M.: Radiation Doses and Correlated Late Effects in Diagnostic Radiology. Lund, 1980. University of Lund, Sweden

ICRP 26.: Recommendation of the International Committee on Radiation Protection. 26. Kiadványa. 1977.

Keam, D. W.: Genetic and Mean Bone-Marrow Doses from Medical Use of Unsealed Radioisotopes. Australien Rad. Lab. ARL/TR 023. jelentés

Keam, D. W.: Patient Absorbed Dose and Radiation Risk in Nuclear Medicine. Kézirat.

Land Ch.E.: Estimating Cancer Risk from Low Doses of Ionizing Radiation Science, 209. 1980.

Loewe, W.E., Mendelsohn, E.: Revised Dose Estimates of Hiroshima and Nagasaki. Health. Phys. Vol. 41, 663, 1981.

Keszthelyi G.: /Csongrád megyei KÖJÁL/: Személyes tájékoztatás, 1984.

Kertai P.: Az ember és környezete. BME Mérnöki Továbbképző Intézete Nr 5089.

Loewe, W.E., Mendelssohn, E.: Neutron and Gamma-Ray Doses at Hiroshima and Nagasaki. Nucl. Sci. and Eng. 81, 1982.

Makra Zs.: A dolgozók sugárterhelése radiotechnéciummal jelzett radiofarmakonok alkalmazásánál. Izotóptechnika, 28, /1/ 1985.

Merriam, G.R., Focht, E.F.: A Clinical Study of Radiation Cataracts and the Relationship to Dose. J. Amer. Roentgenol. 77, 1957.

Milassin T.: A betegek és a dolgozók sugárterhelése izotópdiagnosztikában. Győr, 1980. Izotóptechnikai konferencia.

MSZ 14341-78: Külső röntgen-, gamma-, és béta-sugárzás dozimetriája. Budapest, 1978.

MSZ 14342-78.: Béta-gamma és röntgensugárzás elleni védelem.

MSZ 14345/1: Nukleáris terminológia. Általános alapfogalmak

MSZ 14349-78.: Radioizotópok sugárzása elleni védelem ipari radiográfiai munkáknál

MSZ 62-78: Radioizotópok sugárzása elleni védelem

MSZ 824-80: Sugárzás elleni védelem orvosi és állatorvosi röntgen munkahelyeken

MSZ 836-80: Sugárzás elleni védelem műszaki röntgen és besugárzó munkahelyeken

MSZ 10344/1-80: Radioaktív hulladékok. Alapfogalmak, osztályozás

MSZ 14344/2-80: Radioaktív hulladékok kezelése

MSZ 19356-80: Szilárdtest dozimetria. Exoelektron dozimetria

MSZ 19357/1-80:

19357/2-80:

19357/3-81:

19357/4-81: Termolumineszcens dozimetria

19357/5-82:

19357/6-82:

Muller, M.I.: Arteficial transmutation of the gene. Science, 1927, 46. 84.

OAB Országos Atomenergia Bizottság: A sugárvédelem alapvető biztonsági szabályai. Budapest, 1984.

/ICRP Basic Safety Standards/ /Biztonsági sorozat 19./
Az ICRP 26. gyakorlati útmutatója.

Radford, E.P.: Human Health Effects of Low Doses of Ionizing Radiation: "The BEIR III. Controversy". Radiat. Res. 84. 369-394. 1980.

Rodé, I.: Klinikai Onkoradiológia. Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1984.

Saly S., Ballay L., Bán M., Csiszár B., Milassin T.,
Kiss S-né: Az ernyőképszűrések sugárvédelmi viszonyai.
Balatonkenese, 1985. Sugárvédelmi Továbbképző Iskola

Scweiger O. szerk.: Országos Korányi TBC és Pulmonológiai Intézet 1981-1984. évek statisztikai adatai.

Solomon S.B.: Absorbed Dose to Active Red Bone Marrow from Diagnostic and Therapeutic uses of Radiation. ARL TR 021. 1980. Australian Rad. Lab.

Szilvásy I.: ld. Makra Zs.

Sztanyik B. L.: Humán sugárbiológiai adatok a sugárátalóm kockázatának becsléséhez. Visegrád, 1978. Sugárvédelmi Iskola

Sztanyik B.L.: A környezeti sugárzás és radioaktivitás jelenlegi szintje az épülő paksi atomerőmű környezetében, Budapest, 1980.

Sztanyik B.L.: Radioaktív izotópok orvosi alkalmazásának etikai kérdései. Izotóptechnika 27, /4/ 253-262. 1984.

Sztanyik B.L.: Jódprofilaxis szükségessége és lehetőségei nagymennyiségű radiojód feltételezett kibocsátása esetén. Balatonkenese, 1985. Sugárvédelmi Továbbképző Iskola

Swindon, T.N., Morris N.D.: Contribution to the Genetic and Bone-Marrow Doses of the Australian Population from Radiological Procedures. ARL / TR 017 jelentés, 1980. Australian Rad. Lab.

Swindon T.N., Morris N.D.: Personal Monitoring and Assessment of Doses by Radiation Workers. ARL/TR 035. 1981. Australian Rad. Lab.

Tóth Á.: A lakosság természetes sugárterhelése. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983.

Upton A.C., Christenberry K.W., Furth I.: Comparison of Local and Sistemic Exposures in Production of Radiation Cataract. Arch. Opthal. 49, 1953.

Upton A.C.: The Biological Effects of Low-Level Ionizing Radiation. Scientific American, 246. 2. 1982.

Várterész V. szerk.: Sugárbiológia. Medicina Könyvkiadó 1963.

Virágh E., Zöld E.: Radioaktív szennyezők hatása a környezetre. BME MTKI. Nr. 5106. Budapest, 1980.

Virágh E.: Sugárvédelem, dozimetria. BME MTKI jegyzet Budapest, 1985.

Wachsmann F., Fendel., Schöfer H.: A gyermekek sugárexpozíciója és csökkentésének lehetőségei. Magyar Radiológia 31. /4/, 1979.

F Ü G G E L É K

A Függelék tartalmazza azokat az alapvető információkat, melyeket dolgozatomban készítésekor felhasználtam, és nem csak egyetlen témakörhöz, fejezethez tartozik. Itt helyeztem el a felhasznált dózismértékegységek rövid meghatározását és a dózisegységek közötti átszámítást segítő táblázatot. A röntgendiagnosztikai munkastatisztika és a terápiás munkastatisztika /CSÁKÁNY, 1984/ a röntgeneredeti sugárterhelés kiszámításához nélkülözhetetlen.

A természetes építőanyagok radioaktivitását és dóziszjárulékát a természetes háttér meghatározásánál használtuk fel. Itt szerepel az izotópdiagnosztikai eljárások dózisviszonyait áttekintő táblázat is.

A sugárvédelemben használt dózisegységek

A sugárvédelemben használatos dózisegységek különböző mérési adottságok között teszik lehetővé a dózismeghatározást. Az egyes dózisegységek között átszámítani a mérési eredményt nem mindig lehet.

Az egyes dózisegységek - noha S.I. egységük koherens, átszámítást csak a definíció ismeretében szabad végezni, ha a feltételek ezt biztosítják. A dózisegységek rövid meghatározásai:

Besugárzási dózis /X/:

Valamely ionizáló sugárzásnak az a mennyisége, mely egységnyi tömegű levegőben egységnyi mennyiségű ionpárt kelt,



ha az egész energia levegőben nyelődik el. Egysége C/kg, régi egysége a röntgen, r.

Elnyelt dózis /D/:

Bármilyen, állandó intenzitású ionizáló sugárzás egységnyi tömegű anyagban elnyelt mennyisége, mely egységnyi energiát szabadít fel az anyagban. Egysége J/kg, neve gray, Gy. Régi egysége a rad.

Közölt dózis, KERMA /K/:

A közvetve ionizáló sugárzások által valamely anyagban felszabadított összes töltött részecskék kezdeti kinetikus energiájának összege. Egysége J/kg.

Dózisegyenérték, v. biológiailag egyenértékű dózis, /H/:

A 100 KeV energiájú röntgensugárzással azonos biológiai hatású mennyisége valamely ionizáló sugárzásnak. Meghatározása:

$$H = Q \cdot K \cdot D$$

ahol K az ICRP jelenlegi állásfoglalása szerint 1-nek vehető, Q pedig a vízben mért lineáris energiaátadási tényezője a vizsgált sugárzásnak.

Q jellemző értékei:

röntgen, gammasugárzás:	1
béta, 300 KeV-ig	1
béta, 300 keV felett	1,7
lassu neutron	3-5
spontán neutron	8

alfasugárzás	10
hasadóanyagok	20

A dózisegyenérték mértékegysége is J/kg, egysége a sievert, Sv. Régi egysége a rem.

A különféle dózisegységek átszámítását a régi és az S.I. egységek között az F 1. táblázat mutatja.

F.1. táblázat

Alapvető dózismennyiségek hagyományos és S.I. mértékegységei

Mennyiség	régi egység	S.I. m é r t é k e g y s é g egysége	neve	Átszámítás a régi és az érvényes egységek között
1. Besugárzási dózis /X/	röntgen R	coulomb per kilogramm $C/kg = C \cdot kg^{-1}$	-	$1 C/kg = \frac{10^4}{2,58} R$
2. Besugárzási dó- zisteljesítmény /X/	R/s R/h	amper kilogramm vagy coulomb per kilogramm $A \cdot kg = C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ per másodperc	-	$A \cdot kg = \frac{10^4}{2,58} R/s$
3. Elnyelt dózis /D/	rad	joule per ki- logramm $J/kg = J \cdot kg^{-1}$	gray /Gy/	$1 Gy = 100 rad$
4. Elnyelt dó- zisteljesít- mény /D/	rad/s rad/h	watt per kilo- gramm vagy joule per kilogramm $W/kg = J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ per másodperc	gray per secundum	$1 Gy \cdot s^{-1} = 100 rad \cdot s^{-1}$
5. Közölt dózis rad /K/		joule per ki- logramm $J/kg = J \cdot kg^{-1}$	-	$1 J/kg = 100 rad$
6. Dózis egyen- érték /H/		joule per kilogramm $J/kg = J \cdot kg^{-1}$	sievert /Sv/	$1 Sv = 100 rem$

F 2. táblázat

Építőanyagok, talajok természetes radionuklid összetétele
a belőlük származó 1 m távolságban mért dózisteljesítmény

	40-K Bq/kg	238-U Bq/kg	232-Th Bq/kg	C _{Ra} ekv Bq/kg	levegőben el- nyelt dózis /számított/
Gránit	999	59	81	247	1754
Diorit	703	23	33	125	888
Bazalt	241	11	11	46	326
Durit	148	0,4	24	43	305
Mészkö	89	28	7	44	312
Karbonát	-	27	8	37	263
Homokkö	370	18	11	64	454
Anyag	703	44	44	160	1139
Tégla	666	48	48	166	1192
Felső felsz.határa	800	150	60	300	2154
Vályogtégla	592	83	44	139	1002
Beton	222	15	11	111	788
Felszín határ	370	22	20	202	1434
Cement	148	26	19	63	447
Kavicsok	276	13	17	58	419
T A L A J O K:					
Szürke	670	30	50	150	650
Szürkésbarna	700	30	40	140	600
Gesztenyebarna	560	30	40	120	530
Mezőségi	410	20	35	100	450
Erdei szürke	370	20	35	85	360
Szürkésfehér só- szegény gye	300	15	20	70	300
Szürkés fehér	150	10	10	40	160
Tőzeg, mocsári	90	5	5	20	100

Def: $C_{Ra} \text{ ekv} = C_{Ra} + 1,26 C_{Th} + 0,086 C_K$

/UNSCEAR 1977, TÓTH 1983/

F5. táblázat: Az egyes izotópdiagnosztikai eljárások dózisviszonyai

Radio-farmakon	Vizsgálat	Aktivitás	Ovárium dózis uGy	Vesedózis uGy	Csontvelő dózis uSv/MBv	dózis uSv
1	2	3	4	5	6	7
Au 198 kolloid	májfunkció, nyirokrendszer	6,7	500	200	1200	8000
Co-57 B12 vit.	B12 abszorpció	-	17,2	12	540	22
Co-58 B12	B12 abszorpció	-	-	44	970	38
Cr 51-klorid	protein	1	54	54	54	54
Cr 51-kromát	vértérfogat vvt-tulélés	5	480	475	120	480
Cs 131 klorid	protein	22	1188	1843	120	2400
F 18 fluorid	pajzsmirigy	100	810	4860	70	700
Fe-59-citrát	csont	0,4-2,3	1960	16,7	20	46 ⁺
Hg 197 B.M.H.P.	Fe-anyagcsere Fe-felvétel	10	270	38270	4600	43700
Hg 197 klórmerodrin	vesefunkció	6,2-1	500	54	∅	-
Hg 197 klórmerodrin	vesefunkció vese lokalizáció	0,9-8	10	59	40	330 ⁺
Hg 203	vese					
I-125 fibrinogén	trombózis tanulm.	3,9	31,5	27,7	430	1700
I-125 jodid	pajzsmirigy kiterjedés	2,1	-	67	5,4	11,3

1	2	3	4	5	6	7
I-131 fibrinogén	trombózis tanulm.	3,7	20	14,8	97	310
I-131 hippurán	vesefunkció	2,2-5,6	5,5	11	4,1	15 ⁺
I-131 H.S.A.	pajzsmirigy funkció	0,5-3,7	1720	322	2,4	1,2 ⁺
I-131 jodid	pajzsmirigy funkció	3,8-0,5	180	23	510	260 ⁺
I-131 jodid	pajzsmirigy kiterjedés	12 /1,5/	1440	1300	110	1300
I-131 H.S.A. makroaggregat	tüdő	7,4	-	281	140	980
I-131 bengálvörös	májfunkció	6,7	-	2,25	86	2400
I-131 bengálvörös	máj	30	12900	-	38	1140
In-113 m	vértérfogat, sziv, placenta, agy	37- 68-130	34	65	1,6	200 ⁺
In-113 m kolloid	máj	115	80	30,9	54	6150
In-113 m F-OH makroaggr.	tüdő	37-74	18,5	18,5	2,7	100
Na 24 Cl	Na-forgalom	0,9	243	-	270	250
P 32 D.F.P.		1,2	2700	-	8100	9700
P 32 ortofoszfát	felszíni léziók	15-22	34000	101200	8100	121500 ⁺
Se 75 metionin	pancreas	9,5	24300	20700	2600	23400
Sr-85-Cl	csont	3	2350	-	2500	9800
Sr-87m-citrát	csont	174	800	547	11	1920

1	2	3	4	5	6	7
Tc-99 m kolloid	csontvelő, máj, nyirokcsomók, lép	60-140 370	94,5	17,7	7,3	450
Tc-99 m cisztin	vese	50-140	16,2	37	3,2	120
Tc-99 m H.S.A.	tüdő	60-140	96	60	4,1	250
Tc-99 m Fe ascorbát	vese	60-140	1450	1340	6	2840 ⁺
Xe-133	szív vértérfogát	111	-	33,3	0,4	44,4
Yb-169-kelát	clearance, agy, tumor din. szív	1,5-40				
Tc-99 m eritrociták	vértérfogát, lép	130-600	702	62,5	8,1	202 ⁺
Tc-99 m glukonát	vese	110	203	111	3,2	355
Tc-99 m EDTA	agy	610-660	1160	927	2,6	1690 ⁺

⁺ lokális dózis

RÖNTGENDIAGNOSZTIKAI MUNKASTATISZTIKA ORSZÁGOS ÖSSZESÍTÉS

1973–1981-ig

Fig. 3. táblázat / CSÁKÁNY, 1984/

	melkas, nyelőcső	gyomor- duodenum	vékonybél, nativ has	irrigoscopia	célzott felvételek	ernyőkép- felvételek	helyszíni felvételek	urográfia	cholegráfia	tomo- kymográfia	mammográfia	összes expozíciók száma	vizsgáltak (betegek) száma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17
1973	1 538 545	321 764	229 902	41 541	832 102	383 013	83 174	90 659	106 103	131 258	17 774	7 395 069	4 848 137
1974	1 283 543	299 551	218 568	41 381	955 098	399 858	92 125	91 521	116 017	129 014	16 638	7 715 117	4 723 738
1975	1 276 324	281 804	186 862	40 248	1 003 335	411 874	90 575	90 440	116 105	107 577	17 543	7 949 260	4 840 737
1976	1 097 209	274 689	109 324	41 308	1 127 126	458 306	101 280	100 547	128 153	115 728	19 309	8 441 665	4 751 523
1977	1 005 976	281 849	113 464	44 295	1 259 730	438 156	100 333	128 468	137 038	109 729	21 578	9 186 324	4 896 388
1978	812 530	259 441	94 912	39 768	1 272 712	485 324	99 230	110 220	130 839	105 497	22 749	9 054 066	4 669 710
1979	770 392	272 732	104 085	44 523	1 448 530	512 510	102 460	123 236	149 286	107 007	23 806	9 856 069	4 921 480
1980	832 065	250 072	103 058	45 770	1 383 496	558 541	107 304	119 762	142 872	99 291	26 678	9 936 100	5 034 902
1981	756 340	245 190	106 012	47 504	1 524 524	513 395	111 774	123 634	143 351	98 955	26 145	10 215 654	4 959 568

SUGÁRTERÁPIÁS STATISZTIKA 1982.

Országos összesítő	daganatos orthovolt	daganatos felületi terápia	daganatos megavolt	daganatos brachycurie	nem daganatos terápiás mezők	ellenőrző vizsgálat	műveletek száma	betegek száma
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Megyék	79 954	35 414	82 828	247	46 394	37 956	282 793	171 791
Budapest	13 406	326	494	—	49 397	7 912	71 535	48 958
Áll.-Orsz. Int.	7 130	1 122	55 858	—	13 946	12 077	90 133	76 443
Egyetemek	18 011	4 178	113 803	1 690	22 884	38 004	198 570	91 200
Összesen	118 501	41 040	252 983	1 937	132 621	95 949	643 031	388 392

F 4. táblázat /CSÁKÁNY, 1984/

Köszönet

Ezuton is szeretnék köszönetet mondani Dr. Szalay László Professzor Urnak, aki értékes szakmai tanácsaival, szakirodalommal, a kézirat lektorálásával segítette munkámat.

Ugyancsak köszönetet mondok Dr. Csiszár Béla Főorvos Urnak, aki ösztönzésével és támogatásával igen sokat segített dolgozatom elkészítésében.

