

GONDOLATOK AZ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁS KIS DÓZISAINAK HATÁSAIRÓL

Köteles György
OKK - Országos Frédéric Joliot Curie
Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet
Tóth Eszter
RAD Lauder Laboratórium, Budapest

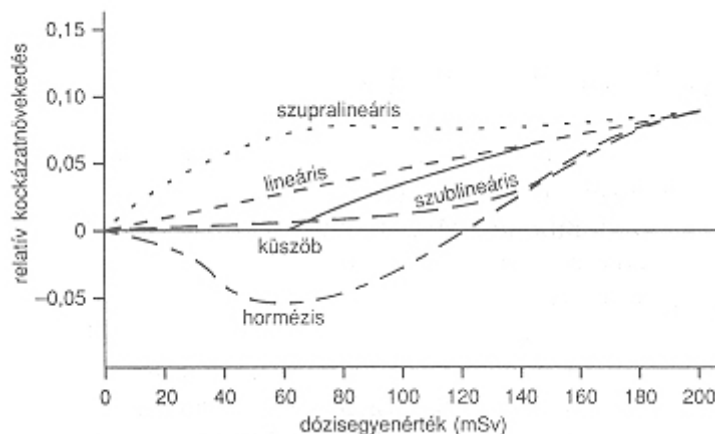
Ahogy kezdődött

Az ionizáló sugárzás alig több mint 100 éves alkalmazása során a veszélyek ismeretének bővülésével folyamatosan alakult ki a sugárvédelem követelményrendszere. Az is nyilvánvalóvá vált, hogy a természetes eredetű - kozmikus és földkérgi - sugárzásból (természetes radioaktív bomlási sorok izotópjából) mekkora a Föld élővilága számára a természetes sugárzási háttér. Az utóbbi években nagy tudományos vita bontakozott ki a kis dózisok biológiai hatásairól: milyen mértékig kell fokozni a sugárvédelmet? Indokolt-e nagy anyagi ráfordításokkal olyan szintű kockázatokat csökkenteni, amelyek a természetes háttérsugárzási szint kockázatához viszonyítva is elhanyagolhatóan kicsik?

A vita széleskörűségét jellemzi, hogy a Francia Tudományos Akadémia [1] kezdeményezése után a kérdéssel egyre több nemzetközi tudományos fórum foglalkozott [2-7].



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



2. ábra. Ionizáló sugárzás kis dózisaival kiváltható biológiai hatások lehetséges dózis-hatás összefüggései.

A vitatott dózis-hatás modell

A sugárvédelem szempontjából két dózis-hatás modell kapott széleskörű elfogadtatást: a sztochasztikus biológiai hatásokra a dózis és kockázat egyszerű arányosságát feltételező arányosság, a lineáris küszöbnélküli (linear-nothreshold "LNT") a determinisztikus hatásokra pedig a küszöbdózist feltételező (szigmoid) összefüggés (1. ábra).

A sztochasztikus hatásokra - rosszindulatú daganatkeletkezés, örökletes hatások - vonatkozó modell azt sugallja, hogy minden kis dózis mellé rendelhető a hatás kockázatának egy zérustól különböző valószínűsége, bármely kicsiny legyen is az. Mintha minden sejtszintű sugárkárosodás a sejt rosszindulatú átalakulásához vagy akár átörökíthető károsodásához vezethetne. Erre hivatkozva a vélt vagy valós kockázatokat nehezen értő társadalmi személyek és csoportok úgy reagálnak, hogy minden többletkockázatot elutasítanak.

1. táblázat	
Ionizáló sugárzás kis dózisa (1-250 mGy) által kiváltható sejtbiológiai jelenségek [7].	
Jelenség	Változás
Szabadgyök semlegesítés	fokozódik
DNS helyreállítás	fokozódik
Sejtoszlás szabályozás	változik
Antioxidáns mennyiség	csökken
Citokinek megjelenése, termelése	változik
Alkalmazkodási válasz	megjelenik
Apoptózis folyamat	Megindul

A sztochasztikus hatásokat kiváltó kis dózisok esetén azonban - a fent idézett dózis-hatás arányosságon kívül több más összefüggés is feltételezhető (2. ábra). Csaknem mindegyik változatnál lehet kísérleti bizonyítékokra hivatkozni.

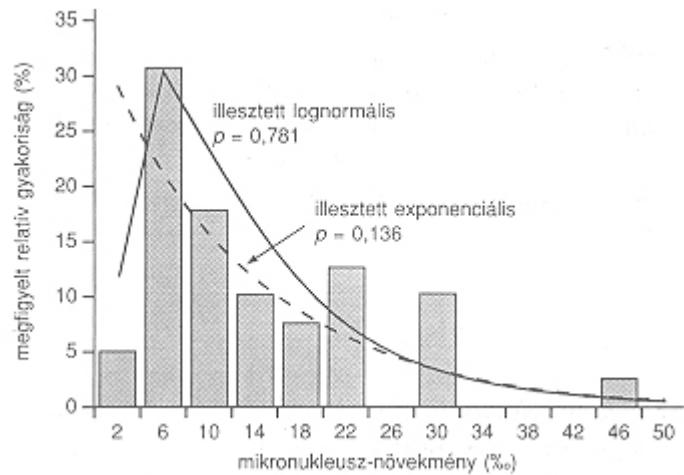
Ki mit tart kis dózisnak?

Az epidemiológiai tanulmányok alapján, a sugárexponált népesség rosszindulatú daganatos betegségeinek statisztikáját feldolgozó és összefoglaló szervezetek a mintegy 200 mSv effektív dózis és a 110 mGy/óra dózisteljesítmény alatti tartományt kis dózisnak, illetve kis dózisteljesítménynek tekintik. Ez az érték úgy adódott, hogy 200 mSv alatt a rákos megbetegedési statisztikák elbizonytalanodnak, nem volt kimutatható szignifikáns összefüggés a dózis és a hatás, illetve a sugárzás-indukálta és a nem sugárzás okozta rosszindulatú daganatok gyakorisága között [8-10]. Bizonyos epidemiológiai felmérések mutattak összefüggést, például pajzsmirigy, emlőrákok, valamint *in utero* besugárzott magzatok későbbi rosszindulatú megbetegedése eseténél [11-14] de a tapasztalatok alapján úgy tűnik, hogy a kis dózisok daganatkeltő hatásaira nem általánosíthatók az ICRP¹-kockázati értékei [15].

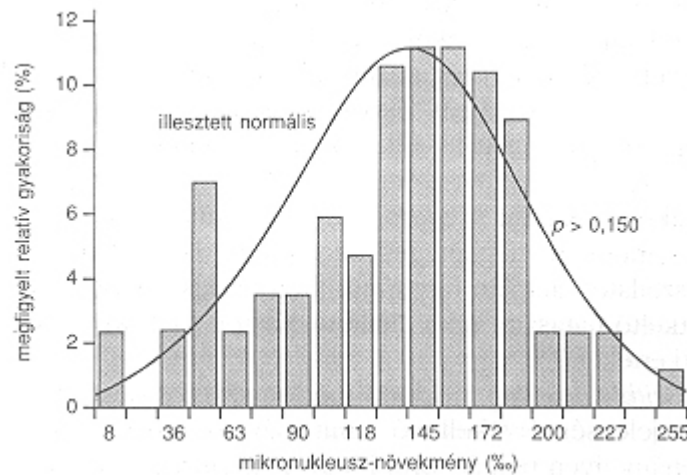
Sejtbiológiailag meglepő módon számos olyan biológiai jelenség érzékelhető, amit már 10-100 mSv kivált. Néhány ilyen példát sorol föl az 1. táblázat. Ezt a dózistartományt tekintik *kis dózis tartományának*. Sejtszintű elváltozások vizsgálatánál indokolt a *mikrodozimetriai* megközelítés, amikor az energiaátadást sejtszintű méretekben vizsgálják, a találatok valószínűségét ilyen kis térfogatokra vonatkoztatják. Mikrodozimetriai megközelítésben azt tekintik kis dózisnak, amikor a célpont-térfogat 20%-át éri találat [16].

A természetes kozmikus és földkérgi eredetű - sugárzási háttér világ-átlagértéke is mSv/év nagyságrendű, átlagosan 2,4 mSv/év. Ez azt jelenti, hogy évente minden sejtet 1 találat ér. A természetes háttér ismerete azért fontos, mert ez olyan vonatkoztatási pont, ami segít a "nagy" és "kis" minősítés meghozatalában. Ha az élet ekkora (sőt, ennél magasabb) radioaktív háttér mellett alakult ki a Földön, akkor ezt a szintet nem ítélnék károsnak.

A fentiek alapján bizonyos dózisszinteket már korábban "jelentéktelen dózis"-nak, vagy más kifejezéssel "de minimis" dózisnak jelölték. (A jogi nyelvből kölcsönözve a kifejezést: "de minimis non curat lex" azaz kis dolgokkal nem foglalkozik a törvény. Bár mindkét elnevezést bírálták [17], mégis 10 µSv az a dózis, amelynél biztos nem szükséges sugárvédelmi intézkedéseket foganatosítani [18]. Olyan dózisszintnél, amelynél egy adott tevékenységből származó lekötött kollektív dózis nem több mint 1 személy-Sv, a kollektív dózis alapján történő kockázatbecslés nem indokolt [18].



3.a ábra. Egyéni vérminták eloszlása a limfocitákban kis dózisok (kisebb, mint 0,05 Gy) okozta mikronukleusz gyakoriság-növekedés alapján. Az eloszlása aszimmetrikus, miként a nem-besugárzott mintáké is.



3.b ábra. Egyéni vérminták eloszlása limfocitákban nagy dózis (1 Gy) okozta mikronukleusz gyakoriság-növekedés alapján. Az eloszlás szimmetrikus jellegű

A biológiai válasz a dózisokon kívül függ a dózisteljesítménytől is. Kis dózisteljesítménynél a biológiai károsodás kisebb, ezért az ICRP a kockázatbecslés pontosítása érdekében a dózis-dózisteljesítmény csökkentési tényezőt, {DDRRF - dose dose rate reduction factor) vezetett be azokra az esetekre; amikor az elnyelt dózis 200 mGy alatt van, és amikor nagyobb dózisoknál a dózisteljesítmény kisebb, mint 100 mGy óránként [15]. Bár a különböző károsodásoknál ez az érték különböző lehet, ez idő szerint a DDRRF értékek 2-t választottak [15]. Az UNSCEAR kis dózisteljesítményként 0,1 mSv percnkénti értéket jelölt meg [8] alacsonyenergia-értékű sugárzásokra. A természetes-sugárzási háttér ennél sokkal kisebb, évente 1-3 mSv, azaz 0,1 μ Sv/óra vagy 0,17 nSv/perc.

Érvek az LNT modell mellett

A "konzervatív tábor" a dózis-kockázatarányosság (LNT modell) megtartása érdekében a következő főbb érveket hozza fel:

- A sugárbiológiai kísérleti eredmények dózis-hatás elemzésében már Müller óta megszokott a lineáris összefüggés alkalmazása, amikor ő korszakalkotó genetikai vizsgálatait végezte Drosophila legyeken [19].
- A sztochasztikus hatások egészségügyi kockázatának becslésére az ICRP ajánlotta az LNT modellt [15, 20].
- A sejtszintű sugárbiológiában a sejtek túlélését, citogenetikai elváltozásait, mutációkat vizsgálva 1 Gy alatt a lineáris dózis-hatás összefüggés sokszor bizonyítást nyert.

- Epidemiológiailag szignifikáns összefüggést találtak pajzsmirigy-elmőrákok előfordulásában, valamint a magzat *in utero* besugárzását követő malignitások kialakulásában 50-100 mGy között is [11-14].

50 mGy felett az atombomba-támadást túlélők között is találtak tumorgyakoriság-növekedést, de az is nyilvánvalóvá vált, hogy 100 mGy alatt a kockázat valóban igen kicsi [21].

A csernobili baleset következményeit helyreállító személyzetnél ("likvidátoroknál") emésztőszervi rákok gyakoriságának emelkedését észlelték, ott pedig az átlagos dózis 108 mGy volt [22].

Érvek az LNT modell ellen

Az LNT modell (dózis-kockázat arányosság) ellen leggyakrabban hangoztatott érvek az alábbiak:

- Az atombomba-támadás túlélői között 200 mSv alatt nincs szignifikáns növekedés a rákos megbetegedések gyakoriságában.
- A nagyobb természetes sugárzási háttérű területeken élőknel nem mutattak ki fokozott kockázatot, még ott sem, ahol a háttér az átlagosnál 3-10-szeresen nagyobb.
- A rákbetegség nem elsőrendű kinetikájú folyamat, az nem egy érzékeny gén eltalálása folytán lép fel, egy sejt rosszindulatú elfajulása még nem feltétlenül vezet klinikailag megjelenő rosszindulatú megbetegedéshez.
- A DNS-nek akár egy, akár kettős lánctörésének kijavítása nem jelenthet túl nagy feladatot a sejtnak, hiszen ilyen károsodások a normális anyagcsere révén endogén vagy exogén tényezők miatt is nagyszámban fordulnak elő, amelyeket a sejt kijavít.
- Kis dózisoknál még senki sem mutatott ki biológiai vagy egészségkárosodást.
- Az LNT modell jól szolgálja a sugárvédelem szabályozást, de a modell általános érvénye sem tudományosan, sem statisztikailag nem igazolt. Mindezzel kapcsolatban utalunk a Fizikai Szemle 1999/9; számában megjelent vezércikkre.

További adatgyűjtés szükséges

Sokan egyetértenek abban, hogy mind az epidemiológiai, mind a kísérletes sugárbiológiai irányban további vizsgálatokat kell folytatni.

A két irányt magunk egyesítettük, amikor is nagyszámú személynél sugárbiológiailag elemeztünk vérmintákat. *In vitro* röntgen-besugárzással, különböző dózissal és a vonatkozó besugárzás előtti alapértékekkel együtt meghatároztuk a sugárzás indukálta limfocita mikronukleusz gyakoriságot. Mind a vizsgált személyek érzékenysége szerint történt csoportosítása (3.a és 3.b ábra), mind a dózishatás összefüggés hozamegyenleteinek paraméterei alapján (4. ábra) különbséget mutatunk ki a kis és nagy dózisok által kiváltott jelenségek jellege között [23-26]

2. táblázat.

Rákgyakoriság a radonszint függvényében																					
radonszint(Bq/m ³):	férfiak rákgyakorisága												nők rákgyakorisága								
	-107			108-165			166-270			>270			-107			108-165			166-270		
	Σ	rB	%	Σ	rB	%	Σ	rB	%	Σ	rB	%	Σ	rB	%	Σ	rB	%	Σ	rB	%
30-60 évesek	146	3	2,1	104	8	7,7	95	14	14,7	91	4	4,4	131	9	6,9	115	1	0,9	107	8	7,5
61 évnél idősebbek	30	9	30	37	10	27	37	11	30	38	13	34	36	12	33	47	11	23	55	11	20

Σ: a személyek száma

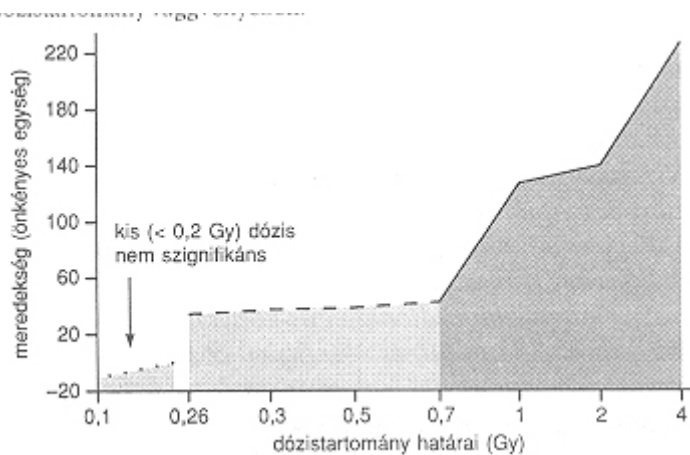
rB: rákesetek száma 1971-93

%: a rákesetek százalékos aránya a radonadatok 1992-1996

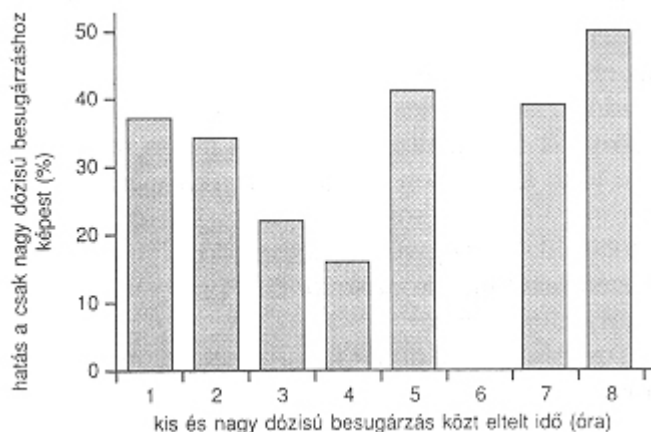
a lakosok életkora 1988-ban

Megállapítottuk, hogy 0,2 Gy alatt a citogenetikai elváltozások gyakorisága nem volt kapcsolatban a sugárzás dózisával, hanem azt egyéb szervezeti tényezők befolyásolták.

A kis dózisok kiváltotta érdekes biológiai lehetőség a hormézis és az adaptív válaszadás. A hormézis stimuláló (pozitív egészségmegővő) hatást tulajdonít kis dózisoknak. Az adaptív válasz pedig azt mutatja ki, hogy egy korábbi kis dózis 10-100 mGy tartományban a sejtben olyan folyamatokat indít el, amelynek egy bizonyos időn belül követő nagyobb dózis kevesebb kárt okoz, mint amennyit a nagyobb dózis egymagában okozott volna. Saját munkánkban G₀ fázisú keringő vér limfocitáiban magunk is kimutattuk a jelenséget (5. ábra).



4. ábra. Kis dózisok kiváltotta mikronukleusz gyakoriság-növekedés lineáris dózis-hatás összefüggésének meredekségváltozása a vizsgált dózistartomány függvényében.



5. ábra. Alkalmazkodási válasz-jelenség emberi limfocitákban a sugárzás okozta mikronukleusz képződés mértékében. Az alkalmazott nagy dózis 1 Gy volt, míg a korábbi kicsi 10 mGy.

A következő szakasz részletesen tárgyal olyan megfigyeléseket, [27] amelyek szerint a radon-expozícióinak kitett lakosság egyes csoportjainál homézis hatás észlelhető. Ezt a jelenséget amerikai szerzők is tapasztalták.

Az ionizáló sugárzásokkal szemben kis dózisoknál mutatkozik sejtreakció, de ez a sejtet *nem károsítja*. Hogy ennek fognak-e jelentőséget tulajdonítani a sugárvédelmi szabályozásban, azt a jövő fogja eldönteni.

Lakótéri radon és rákesetek

Az észak-magyarországi Mátraderecskén néhány házban magas *radon* aktivitás-koncentrációt tapasztaltunk [28, 29]. 1992 és 1996 között, öt éven át mértük a radon aktivitás-koncentrációját hálósobákban, a párna magasságában. A méréseket CR-39 típusú nyomdetektorral végeztük, a mért adatokból éves átlagokat számoltunk. Fontos körülmény, hogy Mátraderecskén a lakótéri radon aktivitáskoncentrációjának éves átlaga, röviden *radonszintje nagyon széles skálájú*: 20 Bq/m³ értéktől 1660 Bq/m³ értékig terjed, (1 Bq/m³ egy radioaktív alfa-bomlást jelent egy másodperc alatt 1 légköbméterben). Ez lehetővé teszi a dózis-kockázat összefüggés széles skálán történő tanulmányozását:

Mátraderecskének 1992-ben 2489 *lakosa* volt, akik zömmel a palóc etnikai csoporthoz tartoznak. A mátraderecskei lakosság mobilitása nagyon kicsi [30]. Lényegében sem ipar, sem közlekedés nem szennyezi Mátraderecske levegőjét. Az emberek a házasságkötést követően ugyanabban a házban élik le életüket. (Azokat, akik az elmúlt 15 évben költöztek a faluba, kihagytuk vizsgálatunkból.) Hálósobájának radon aktivitáskoncentrációja szempontjából 1972 embert vizsgáltunk, 932 férfit és 1040 nőt.

Mátraderecskén a nők általában nem dohányoznak, (a 79 rákos nő közül csupán 3 dohányzott), és a nők egész életüket a faluban töltötték. (A derecskei férfiak jó része a közeli bányákban dolgozott, a rákos esetek 60%-a dohányos volt.)

A *rákbetegségeket* a Betegségek Nemzetközi Osztályozása (BNO) szerint rögzítettük 140 és 204 sorszámok között. A mátraderecskei rákeseteket 23 éves időintervallumra, 1971 és 1993 között kutattuk fel. Minden egyes esetben ismerjük a beteg nemét, születési évét, morbiditási korát, ráktípusát (BNO kóddal), dohányzási szokását és hálósobájának radonszintjét az elmúlt öt évben. Mátraderecskén 1971 és 1993 között összesen 151 rákos megbetegedés fordult elő (79 nő és 72 férfi). A megyei ÁNTSZ rákregiszteréből kiindulva a helyi orvosok és ápolónők segítségével a (kórházi zárójelentések és a boncolási jegyzőkönyvek alapján) részletes és pontos rákregisztert hoztunk létre. A beteg lakószobáját ápolónők azonosították a rák diagnózisát megelőző 15-20 évre. Vizsgálatunkban a rákgyakoriságot úgy határoztuk meg, hogy *minden* egyes vizsgált személy (beteg és egészséges) lakókörnyezetének radonszintjét ismerjük. Ez módszerünk

erőssége; ugyanakkor hátránya is: a vizsgált emberek száma nem elég nagy ahhoz, hogy részletesebb életkor-bontást végezhessünk.

3.a táblázat									
Férfiak ráktípusának megoszlása életkor és radonszint szerint									
radonszint <Bq/m ³		-107		108-165		166-270		>270	
életkor (év) az összes férfi száma		30-60 146	61- 30	30-60 104	61- 37	30-60 95	61- 37	30-60 91	61- 38
ráktípus BNO	az alábbi szervek rákja								
146	száj			x				x	
151	gyomor	x	xx	x	x	xx	xxx		xxx
152	vékonybél					x			x
154	végbél			x	x			x	
155	máj				x		x		x
157	hasnyálmirigy					x			xx
161	gége		x			xxx	x		x
162	tüdő és légzőszervek	x	xx		xxxx	xxxx			xxx
163	mellhártya							x	
170	csont							x	
172	bőr		x	x		x	xx		xx
185	prosztata		x	x		x	xx		
188	hólyag		x		x		x		
189	vese			xxx					
196	nyirok	x			x		x		
199	sokszoros					x			
202	lágyszövetek		x						
203	sokszoros				x				
összes		3	9	8	10	14	11	4	13
gyakoriság (%)		2	30	8	27	15	30	4	34

és hálószobájának radonszintjét az elmúlt öt évben. Mátraderescsken 1971 és 1993 között összesen 151 rákos megbetegedés fordult elő (79 nő és 79 férfi) A megyei ANTSZ rákregiszteréből kiindulva a helyi orvosok és ápolónők segítségével a (kórházi zárójelentések és a boncolási jegyzőkönyvek alapján) részletes és pontos rákregisztert hoztunk létre. A beteg lakószobáját ápolónők azonosították a rák diagnózisát megelőző 15-20 évre.

Vizsgálatunkban a rákgyakoriságot úgy határoztuk meg, hogy minden egyes vizsgált személy (beteg és egészséges) lakókörnyezetének radonszintjét ismerjük. Ez módszerünk erőssége, ugyanakkor hátránya is: a vizsgált emberek száma nem elég nagy ahhoz, hogy részletesebb életkor-bontást végezhessünk.

Kisebbrákkockázat közepesen magas radonkoncentrációban

Az öt éven át tartó radonmérések és a részletes rákadat-begyűjtés után csoportosítottuk a mátraderecskei lakosokat és rákeseteket hálószobák radonszintje és életkoruk szerint (2. táblázat). A radonszint elnevezés most már az öt évben mért radonszintek átlagát jelenti. Az életkor a beteg esetében a morbiditási kor (életkor a rák felismerésekor), az egészségeseknél az 1988-ban érvényes életkor. A 2. táblázathoz képest még több információt kínálnak a 3. táblázatok, (3a)(3b) amelyekben a rák típusát is megadjuk. (30 évesnél

fiatalabb rákos csak egy kisfiú volt, így a *táblázatok* a vizsgált, de 30 évesnél fiatalabb 354 férfit és 385 nőt tartalmaznak.)

Figyelmet érdemel a 30-60 éves 456 nő rákgyakoriságának alakulása:

- 6,9% 107 Bq/m³ alatt
- 0,9% 108 és 165 Bq/m³ között
- 7,5% 166 és 270 Bq/m³ között
- 11,6% 271 Bq/m³ fölött

Annak az állításnak a megbízhatósága, hogy a 30-60 éves nők esetén 108 és 165Bq/m³ között a rák gyakoriságának minimuma van, nem kisebb, mint 98%.

Következtetések

A tüdőrák esetén az amerikai *Bernard Cohen* [31] csökkenő rákkockázatot lát 10 Bq/m³-től 200 Bq/m³-ig. A svéd *Pershagen* [32, 33] vizsgálatai 400 Bq/m³-től felfelé emelkedőnek mutatják a rák kockázatát. Az ő eredményeik sem zárnak ki olyan minimumot, amelyet mi találunk. A legtöbb vizsgálat a világon tüdőrákra szorítkozik. Más rákok radonfüggésének felvetésével találkozhatunk a japán *Sohei Kondo* könyvében [34]. Japánban *Mifune* [35] a Misasa gyógyfürdőhelyen végzett vizsgálatokat, aki a magas radonos gyógyhelyen minden rák esetére alacsonyabb rákgyakoriságot talált, mint a kontroll területen.

Vizsgálatunk minden ráktípust felölelt. *Radon és rák adataink alapján nagy valószínűséggel (> 98%) azt állítjuk, hogy a viszonylag fiatal (34-40 éves) asszonyok kevésbé lesznek rákosok, ha az országos átlagnál két-háromszor magasabb radioaktivitás-koncentráció közepette élnek otthonukban (110 és 170 Bq/m³ között), mint ennél alacsonyabb vagy ennél magasabb radonszint esetén.*

Mátraderecske népessége etnikailag homogén, ugyanabban a lakásban élnek egész életükben, a faluban kicsi a levegő kémiai szennyezettsége. Egy egész országra kiterjedő, szélesebb körű vizsgálat esetén szükségszerűen más karcinogén tényezőket - dohányzást, ipari, közlekedési légszennyezést - is figyelembe kellene vennünk. Ezért Mátraderesckéhez hasonló, a "világtól távol lévő" további falvak rákkockázat-radon vizsgálata ígéretes, ha ott a lakótéri radonszint is széles tartományban jelentkezik. Ilyen vizsgálataink folyamatban vannak, a radon mérése 1999 végére több községben befejeződik. (Elfogadható rákregiszter megalkotása a sokkal nehezebb feladat)

A többoldalú és egyre terebélyesedő vitából végső következtetéseket még korai levonni.

3.b táblázat

Nők ráktípusának megoszlása életkor és radonszint szerint

radonszint(Bq/m ³)		-107		108-165		166-270		>270	
életkor (év)		30-60	61-	30-60	61-	30-60	61-	30-60	61-
az összes nő száma		131	36	115	47	107	55	103	61
ráktípus BNO	az alábbi szervek rákja								
142	nyálmirigy					x			
146	száj	x							
151	gyomor		xxx				x	xxx	
152	vékonybél	xx	x		x		xxx		x
154	végbél		x		x		x		xx
155	máj						x	x	
156	epehólyag						x		
157	hasnyálmirigy								x
158	peritoneum							x	
162	tüdő, légzőszervi	x	x					x	
171	kötőszövet	x							x
172	bőr	xx	xxxxx		xxxx	x	x		xxxx
174	mell	x				xxxx	x	xxx	xx

180	méhnyak	x			xx			xx	x
182	méh		x		x			xx	
183	petefészek				x	x	x	x	
188	hólyag							x	
193	pajzsmirigy						x		
196	nyirok				x				
199	sokszoros			x					
	összes	9	12	1	11	8	11	12	15
	gyakoriság (%)	7	33	1	23	7	20	12	25

Kétségtelen azonban:

- További vizsgálatokat kell folytatni mind az epidemiológiai elemzések, mind a sugárbiológiai kutatások terén.
- Szemléletváltás szükséges annak felismerésére, hogy egy biológiai reakció, biológiai válaszadás nem feltétlenül jelent biológiai, sőt egészségi károsodást;
- A dózis-kockázat arányossága (LNT modell) elvetése sok további kérdést vet fel, például mi az elfogadható küszöbdózis az egyes hatásokra különböző érzékenységű személyeknél, különböző életkori csoportoknál?
- A társadalomban csökkenteni kell a szakadékokat a kis dózisok vélt és valós kockázatának megítélése között. (Ehhez a diszkrepanciához korábban az LNT modell hozzájárult.)

A kis dózisok biológiai hatására vonatkozó szemléletváltás segítené a sugaras és nukleáris technológiák megnyugtatóan biztonságos (indokolatlan és irracionális aggodalmakat nem keltő) alkalmazását minden olyan területen, ahol ennek feltételei adva vannak, ahol alkalmazásuk indokolt, sőt társadalmi igények alapján elkerülhetetlen.

A szerzők köszönetet mondanak *Marx Györgynek, Pál Lénárdnak, Teller Edének, Vizi L. Szilveszternek* bátorításukért és tanácsaikért, *Lázár Istvánnak, Selmeczi Dávidnak* és a Lauder Iskola tanulóinak a racionálisan kapcsolatban a RAD Laborban végzett pontos és áldozatos munkájukért.

Irodalom

1. *Problemes liés aux effets des faibles doses des radiations ionisantes* - Rapport No. 34, Académie des Sciences, 1995 (angolul: Rapport No. 38., Académie des Sciences, 1997, Paris)
2. *Creating a Strategy for Science Based National Policy: Addressing Conflicting Views on the Health Risk of Low Level Ionizing Radiation* - Council of Scientific Societies Presidents, USA, Wingspread, 1997
3. International Conference on Health Effects of Low Dose Radiation: Challenges for the 21st Century, British Nuclear Energy Society, Stratford-on-Avon, 1997
4. *Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control* - International Atomic Energy Agency and World Health Organization, Seville, 1997
5. *The effects of low and very low doses of ionizing radiation on human health* - World Council of Nuclear Workers, Versailles, 1999
6. Biological Effects after Small Radiation Doses, Int. Congr. Radiat. Res., Würzburg, 1995
7. G.J. KÖTELES: *The low dose dilemma* - Centr. Europ. J. Occup. Environ. Med. 4 (1998) 103-113
8. UNSCEAR '94: Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, 1994
9. M. TUBIANA, R. LATARJIT, J. LAPUMA: *Not so stupid* - New Scientist 148 (1995) 56
10. W.F. HEIDENREICH, H.G. PARETZKE, P. JACOB: *No evidence for increased tumor rates below 200 mSv in the atomic bomb survivors data* Radiat. Environ. Biophys. 36 (1997) 205-207
11. R.H. CLARKE: *The threshold controversy* - Radiol. Prot. Bull., No. 178, Natl. Radiol. Prot. Board, UK. (1996)
12. B. SOBOLEV, W.F. HEIDENREICH, I. KAIRO, P. JACOB, G. GOULKO, I. LIKITAREV: *Thyroid cancer incidence in the Ukraine after the Chernobyl accident: Comparison with spontaneous incidence* - Radiat. Environ. Biophys. 36(1997) 195-199
13. R.W. MILLER, J.D. BOICE JR.: *Cancer after intrauterine exposure to the atomic bomb* - Radiat. Res. 147(1997) 396-397

14. R.R. DELONGCHAMP, K. MABUCHI, Y. YOSHIMOTO, D.L. PRESTON: *Cancer mortality among atomic bomb survivors exposed in utero or as young children October 1950 - May 1992* - Radiat. Res. 147(1997) 385-395
15. ICRP 60: *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* - Annals of the ICRP 21 No. 1-3. 201 p.
16. I. BOOZ L. FEINENDEGEN: *A microdosimetric understanding of flow dose radiation effects* - Int. J. Radiat. Biol. 53 (1988) 13-21
17. B. LINDELL: *Comments on various views on the concept of "de minimis"* - Health Phys. 52 (1989) 211-212
18. IAEA-IBSS (1996): *International Basic Safety Standards, for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources* International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 115. Vienna
19. H.J. MÜLLER: *Artificial transmutation of the gene* - Science 66 (1928) 84-87
20. ICRP 26: *Recommendations of the ICRP* - Annals of the ICRP 1 (1977) No. 3
21. D.A. PIERCE, Y. SHIMIZU, D.L. PRESTON, M. VEATH, K. MABUCHI: *Studies of the mortality of atomic bomb survivors* - Cancer 146 (1996) 1-27
22. V.K. IVANOV, E.M. RASTOPCHIB, I. GORSKY, V.B. RYVKIN: *Cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: solid tumors 1986-1995* - Health Phys. 74 (1998) 309-315
23. I. BOJTOR, G.J. KÖTELES: *Low dose effect detected by micronucleus assay in lymphocytes* - In "Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control" IAEA-TECDOC-976. Vienna, 55-58 (1998)
24. I. BOJTOR, G.J. KÖTELES: *Low dose response analysis through a cytogenetic end-point* - Proc. IRPA Reg. Symp. On Radiation Protection, Prague (1997)
25. G.J. KÖTELES, I. BOJTOR, GY. HORVÁTH, T. KUBASOVA: *Low dose effect detected by micronucleus assay in lymphocytes. Low dose response analysis through a cytogenetic end-point* - Centr. Europ. J. Occup. Environ. Med. 4 (1997) 15-24
26. G.J. KÖTELES, I. BOJTOR, G. BOGNÁR, M. ÓTOS: *Lymphocyte response in human population and its antioxidant protection against low doses of ionizing radiation* - Proc. Int. Conf. On "The effects of low and very low doses ionizing radiation on human health" World Council of Nuclear Workers, Versailles (1999)
27. E. TÓTH, I. LÁZÁR, D. SELMECZI, G. MARX: *Lower cancer risk in medium high radon* - Pathology Oncology Research 4 (1998) 125-129
28. E. TÓTH ET AL: *High Radon Activity in North-East Hungary* - Physica Scripta 50/6(1994) 726-730
29. E. TÓTH ET AL: *Radon Variation in a Hungarian Village* - Environmental Geology 31/1-2 (1997) 123-127
30. A. CZEIZEL, H.-G. BEAKMANN, H.W. GOEDDE: (EDITORS): *Genetics of the Hungarian Population* - Springer, Berlin p. 3, pp. 319-321 (1991)
31. B.L. COHEN: *Compilation and integration of studies of radon levels in U.S. homes by states and countries* - Critical Reviews in Environmental Control 22 (1992) 234-364
32. G. PERSHAGEN ET AL: *Residential radon exposure and lung cancer in Swedish Women* - Health Phys. 63 (1992) 179-186
33. G. PERSHAGEN ET AL: *Residential radon exposure and lung cancer in Sweden* - N. Engl. J. Med. 330 (1994) 159-164
34. S. KONDO: *Health Effects of Low-level Radiation* - Kinki University Press, Osaka, pp. 63-64. (1993)
35. M. MIFUNE ET AL: *Cancer Mortality Survey in a Spa Area (Misasa, Japan) with a High Radon Background* - Jpn. J. Cancer Res. 83 (1991) 1-5

1 International Council of Radiation Protection, Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság

A Magyar Tudományos Akadémia 1999. évi közgyűléséhez kapcsolódóan a Fizikai Tudományok Osztálya Sugárvédelmi és Környezet-fizikai Bizottsága és a Kémiai Tudományok Osztálya Radiokémiai Bizottsága közös tudományos ülésén elhangzott együttes előadás, 1999. május 5.