

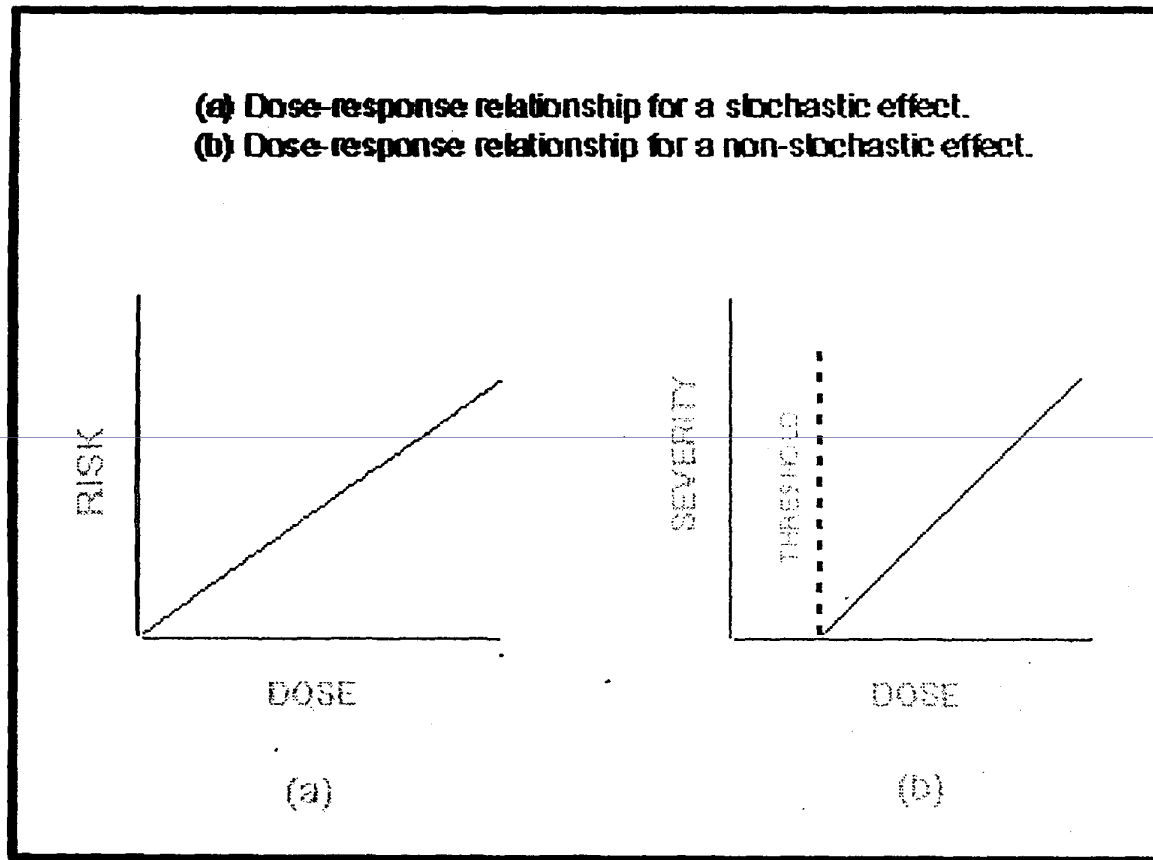
A sugárzás okozta rosszindulatú daganatok  
előfordulásának gyakorisága



**Figure 10.1.** Marie Curie (seated) at work with her daughter Irene. Both are thought to have died of leukemia as a consequence of the radiation exposure they received during their experiments with radioactivity. (Courtesy of the Austrian Radium Institute and the International Atomic Energy Bulletin.)

# Az ionizáló sugárzás biológiai hatásai

## Az LNT modell



**Figure 1: (a) Dose-response relationship for a stochastic effect. (b) Dose-response relationship for a deterministic effect.**

# Epidemiológia I

- Sugársérült populációk tanulmányozhatók
  - kontroll és sugársérült **csoportok (cohort)** összehasonlító nyomon követésével
  - már beteg egyének adatainak vissza keresésével (**eset tanulmány**);
- Sugársérült populációk
  - az atom támadás túlélői,
  - nukleáris és más sugaras balesetek során exponáltak,
  - orvosi beavatkozás következtében exponáltak,
  - természetes sugárforrások hatására exponáltak,
  - nukleáris munkahelyek dolgozói;

A legtöbb adat nagy dózissal, nagy dózis teljesítménnyel, kis LET-tel exponáltakból származik; néhány adat nagy LET értékű belső expozícióból van ( $\alpha$  sugárzók lerakódása a tüdőben, májban, csontban).

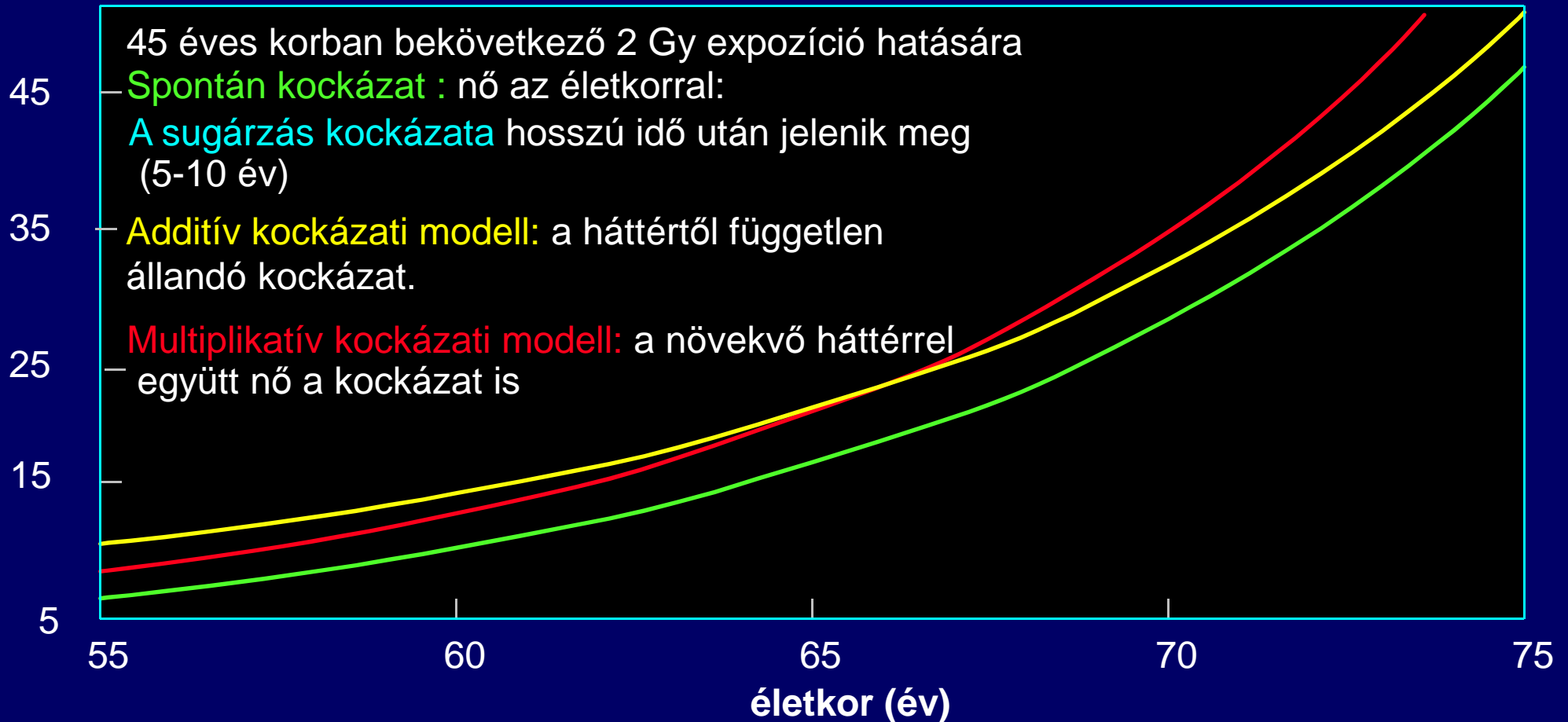
# Epidemiológia II

Elenyésző információ áll rendelkezésre:

- **Alacsony dózis teljesítményű kis dózisok:** ahhoz, hogy egy spontán 20%-os daganat előfordulás 25%-ra való emelkedését biztosan kimutassuk (~1 Sv expozíció) > 1300 személyt kell nyomon követni;
- **Külső, nagy LET értékű expozíció következményei** (neutron) és néhány radionuclid;
- **Esetleges módosító tényezők szerepe**, különösen ha különböző populációkat kell összehasonlítani;
- **Magasabb háttér incidencia módosító hatása;** az additív, vagy a multiplikatív kockázati modell a jobb. Nagyobb-e a kockázat pl. az
  - európai nőkben, akikben magasabb az emlőrák gyakorisága, mint a japán nőkben;
  - dohányosok kockázata nagyobb-e, mint a nem-dohányzóké (radon expozíció)?

# Az additív és a multiplikatív kockázati modellek

Az éves elhalálozás valószínűsége/1000 személy



**Figyelem:** a multiplikatív modell szerint nagyobb a kockázat, de később jelenik meg. Más ok miatt veszélyeztetett populációkban (dohányzás) jobban növeli a kockázatot mint az additív modell.

# Tanulmányozott populációk

Populáció	Méret (személy)
Atombomba túlélői:	86 000
Atom teszt: Semipalatinsk/Altai	30 000
Marshall szigetek	2 800
Nukleáris baleset: Csernobili elhárító személyzet	> 200 000
Csernobili lakosság (>185 kBq /m <sup>2</sup> <sup>137</sup> Cs)	1 500 000
Cseljabinszki lakosság	70 000
Techa folyó körüli lakosság	26 000
Orvosi beavatkozás: ankilotikus spondylitis	14 000
kis LET jód kezelés és terápia	~ 70 000
cervix tumor kezelés	~ 80 000
mellkas fluoroszkópia	64 000
fej / timusz besugárzás	9 000
gyerekkori hemangioma kezelése	14 000
nagy LET thorostrast angiográfia	4 200
Ra-224 kezelés	2 800
Prenatalis expozíció (fetalis radiográfia, atom bomba)	6 000
Foglalkozási expozíció: nukleáris ipar dolgozói (Japan, UK)	115 000
urán bányászok	21 000
rádium óralap festők	2 500
radiológusok	10 000
Természetes expozíció (kinai, EC és USA)	néhány 100 000

Daganatkeletkezés az atomtámadás túlélőiben



**TABLE I**  
**Number of Subjects by Radiation Dose and City**

City		Total	DS86 weighted colon dose (Sv) <sup>a</sup>								
			0 (<0.005)	0.005–0.02	0.02–0.05	0.05–0.1	0.1–0.2	0.2–0.5	0.5–1.0	1.0–2.0	≥2.0
Hiroshima	Total	58,459	21,370	11,300	6847	5617	4504	5078	2177	1070	496
	Added <sup>b</sup>	7037	47	3138	1916	1345	591	—	—	—	—
Nagasaki	Total	28,113	15,089	5621	2543	921	963	1230	1025	538	183
	Added <sup>b</sup>	3499	258	1675	638	132	109	159	329	182	17
Total	Total	86,572	36,459	16,921	9390	6538	5467	6308	3202	1608	679

<sup>a</sup>These categories are defined using a weighting factor of 10 for neutrons.

<sup>b</sup>The number of subjects for whom dose estimates have become available since LSS-85; the totals include the added numbers.

**Table 1. Cancer deaths between 1950 and 1990 among Life Span Study survivors with significant exposures**

Dose range	Number of cancer deaths	Estimated excess deaths	Attributable fraction
0.005-0.2 Sv	3391	63	2% (=100x63/3391)
0.2-0.5 Sv	646	76	12%
0.5-1 Sv	342	79	23%
>1 Sv	308	121	39%
All	4687	339	7%

## Leukemia deaths between 1950 and 1990 among LSS survivors with significant exposures

---

Dose range	Number of leukemia deaths	Estimated excess deaths	Attributable fraction
0.005-0.2 Sv	70	10	14%(=100x10/70)
0.2-0.5 Sv	27	13	48%
0.5-1 Sv	23	17	74%
>1 Sv	56	47	84%
All	176	87	49%

---

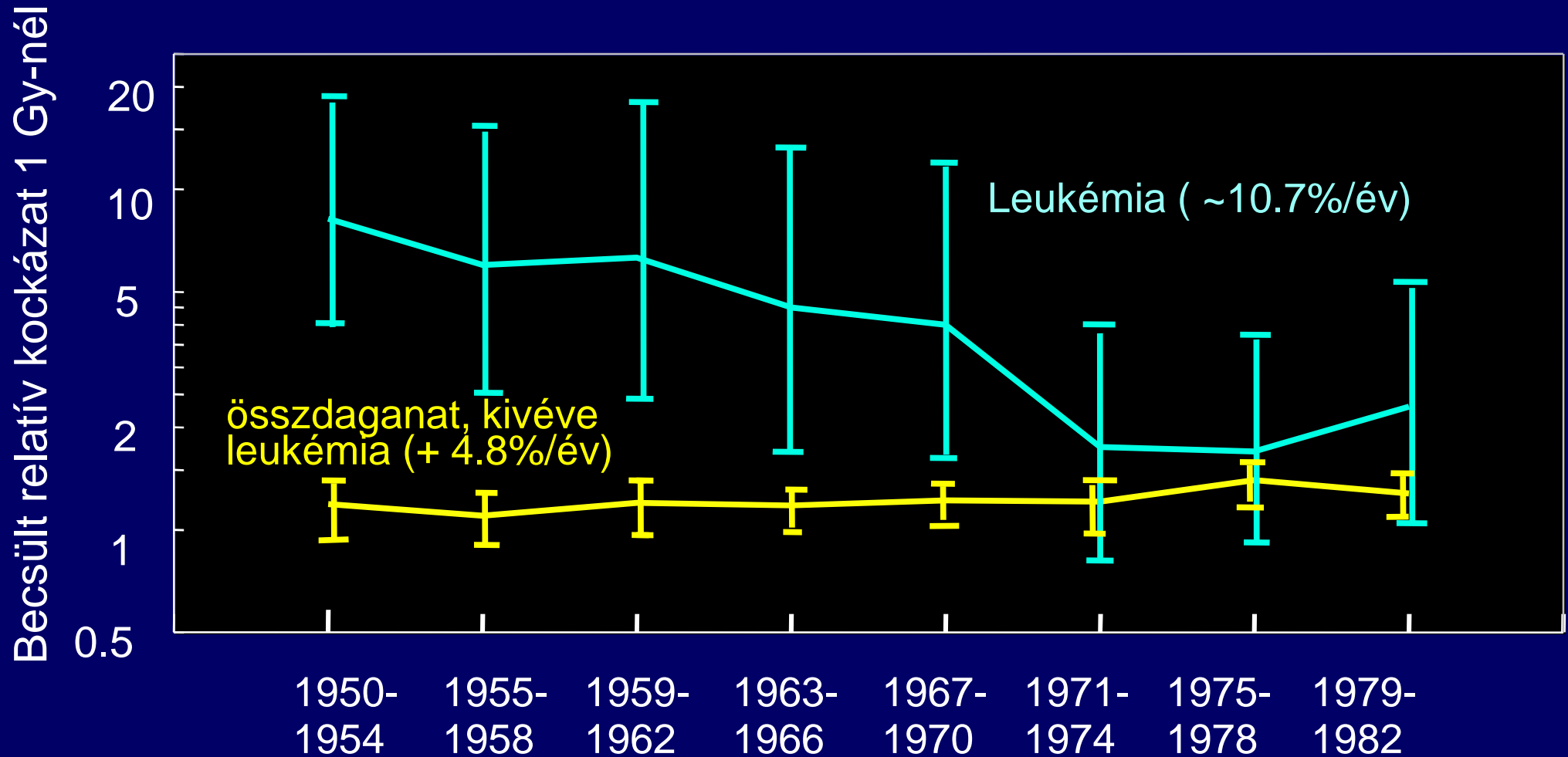
TABLE III  
Solid Cancer Deaths by Age at Exposure and Observation Period

Age ATB	1950-1975		1976-1985		1986-1990		1950-1990	
	Observed	Excess	Observed	Excess	Observed	Excess	Observed	Excess
0-9	35	4	89	10	103	10	227	24
10-19	139	15	282	28	241	22	662	66
20-29	247	20	310	23	259	19	816	62
30-39	674	33	653	29	361	16	1688	78
40-49	1400	44	720	22	250	7	2370	72
50+	1633	28	169	4	13	0	1815	32
Total	4128	144	2223	116	1227	74	7578	334

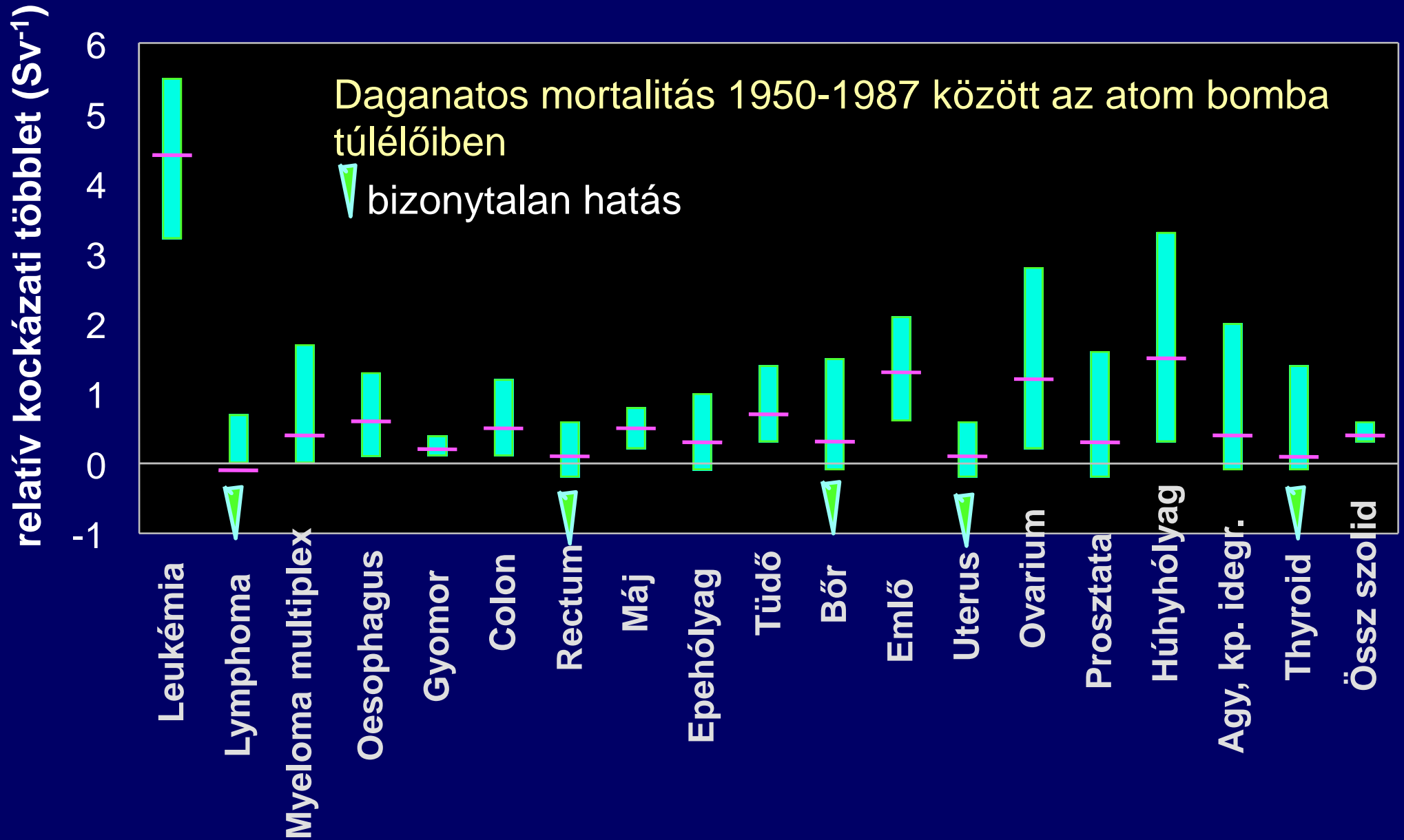
**TABLE VI**  
**Leukemia Deaths by Age at Exposure and Observation Period**

Age ATB	1950–1975		1976–1985		1986–1990		1950–1990	
	Observed	Excess	Observed	Excess	Observed	Excess	Observed	Excess
0–9	29	20	3	–3	3	–2	35	15
10–19	29	18	7	–2	7	1	43	17
20–29	21	12	8	1	3	–1	32	12
30–39	21	6	22	12	7	2	50	20
40–49	37	15	15	4	7	3	59	22
50+	23	–1	6	2	1	0	30	1
Total	160	70	61	14	28	3	249	87

# Relatív mortaliás kockázat, különböző idő intervallumokban az expozíció után



# A relatív mortalitás kockázati többlete per Sv



# Becsült sztochasztikus kockázat

244

## *RADIOBIOLOGY FOR THE RADIOLOGIST*

**TABLE 15.5.** *Risk Estimates for Cancer and Hereditary Effects*

Exposed Population	Detriment, $10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$			Total
	Fatal Cancer	Nonfatal Cancer	Severe Hereditary Effects	
Adult workers	4.0	0.8	0.8	5.6
Whole population	5.0	1.0	1.3	7.3

Data from International Commission on Radiation Units and Measurements: Recommendations. Report No. 60. New York, Pergamon Press, 1991.

1 Sv sugárexpozíció =  $5 \times 10^{-2}$  daganat

2 mSv/év munkahelyi expozíció =  $1 \times 10^{-4}$  daganat/év



# Nem-daganatos krónikus megbetegedések gyakorisága

- keringési megbetegedések
- légúti megbetegedések
- emésztő rendszer megbetegedései

# A csernobili baleset következményei

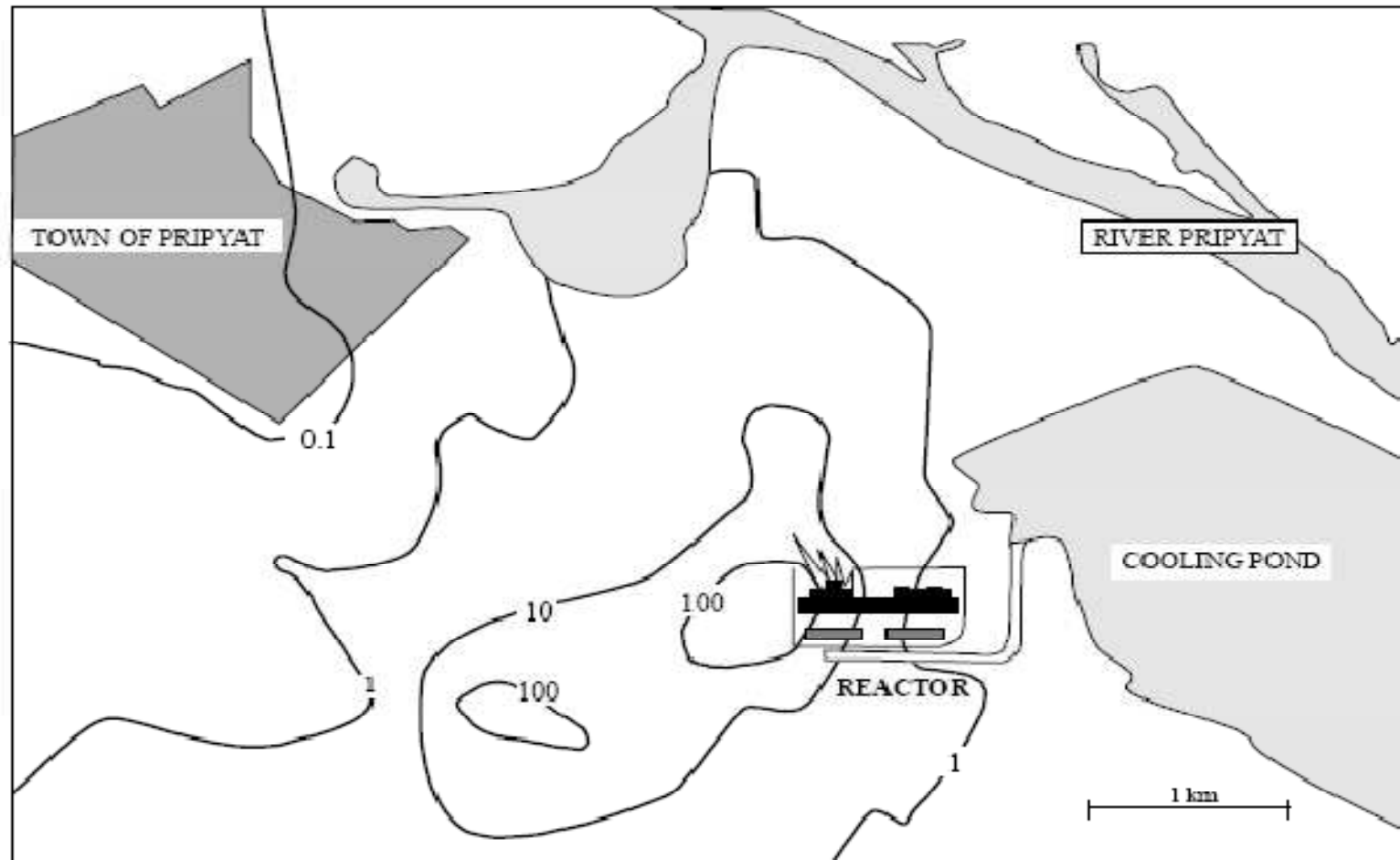


Figure XII. Measured exposure rates in air on 26 April 1986 in the local area of the Chernobyl reactor.  
*Units of isolines are  $R h^{-1}$ .*

# A csernobili baleset következményei

## A baleset során érintett populáció

### Summary of average accumulated doses to affected populations from Chernobyl fallout

Population category	Number	Average dose (mSv)
Liquidators (1986–1989)	600 000	~100
Evacuees from highly-contaminated zone (1986)	116 000	33
Residents of “strict-control” zones (1986–2005)	270 000	>50
Residents of other ‘contaminated’ areas (1986–2005)	5 000 000	10–20

Elnyelt dózis (J/kg; Gy)

Egyenérték dózis (Sv, sugárzás súlyozó tényezői)

Effektív dózis (Sv, a szövetek súlyozó tényezői)

Lekötött egyenérték dózis (Sv)

Lekötött effektív dózis (Sv)

Kollektív egyenérték dózis (személy-Sv)

Kollektív effektív dózis (személy-Sv)

**Table 10**  
**Staff on site and emergency workers in initial hours of the accident**  
 [K23]

<i>Professional group</i>	<i>Accident witnesses</i>	<i>Emergency workers (at 8 a.m. on 26 April 1986)</i>
Staff of the power plant (Units 1, 2, 3 and 4)	176	374 <sup>a</sup>
Construction workers at Units 5 and 6	268	-
Firemen	14 <sup>a</sup> , 10 <sup>b</sup>	69
Guards	23	113
Staff of the local medical facility	-	10

*a* Arrived on the site of the accident at 1.27 a.m.

*b* Arrived on the site of the accident at 1.35 a.m.

*c* Excluding the accident victims, the numbers of whom are given in Table 11.

A baleset után 600 ember vett részt az elhárítási munkában, vagy tartózkodott a helyszínen.

**Table 11**  
**Emergency workers with acute radiation sickness following the accident**  
 [15]

<i>Degree of acute radiation sickness</i>	<i>Range of dose (Gy)</i>	<i>Number of patients treated <sup>a</sup></i>		<i>Number of deaths <sup>b</sup></i>	<i>Number of survivors</i>
		<i>Moscow</i>	<i>Kiev</i>		
Mild (I)	0.8–2.1	23	18	0 (0%)	41
Moderate (II)	2.2–4.1	44	6	1 (2%)	49
Severe (III)	4.2–6.4	21	1	7 (32%)	15
Very severe (IV)	6.5–16	20	1	20 (95%)	1
Total	0.8–16	108	26	28	106

<sup>a</sup> Acute radiation sickness was not confirmed in a further 103 treated workers.

<sup>b</sup> Percentage of treated patients in parentheses.

134 akut sugársérülés, 28 áldozat

## A közvetlen liquidátorok mortalitási adatai

**Table 55**

**Deaths of survivors of acute radiation sickness during 1986–1998**

[W5]

<i>Year of death</i>	<i>Grade of acute radiation sickness</i>	<i>Disease recorded and/or cause of death</i>
1987	II	Lung gangrene
1990	II	Coronary heart disease
1992	III	Coronary heart disease
1993	I	Coronary heart disease
1995	III	Myelodysplastic syndrome
	I	Lung tuberculosis
	II	Liver cirrhosis
1998	I	Fat embolism
	III	Myelodysplastic syndrome
	II	Liver cirrhosis
	II	Acute myeloid leukaemia

## „Késői” liquidátorok effektív dózisa

**Table 16**

**Estimated effective doses from external irradiation received by recovery operation workers in the 30-km zone during 1986–1987**

[125]

<i>Group</i>	<i>Number of workers</i>		<i>Average dose (mSv)</i>		<i>Collective dose (man Sv)</i>	
	<i>1986</i>	<i>1987</i>	<i>1986</i>	<i>1987</i>	<i>1986</i>	<i>1987</i>
Staff of nuclear power plant	2 358	4 498	87	15	210	70
Construction workers	21 500	5 376	82	25	1 760	130
Transport, security workers	31 021	32 518	6.5	27	200	870
Military servicemen	61 762	63 751	110	63	6 800	4 000
Workers from other power plants		3 458		9.3		30
Annual total or average	116 641	109 601	77	47	8 970	5 100
Total or average	226 242		62		14 070	

Várható daganatszám: ~600



## Effektív dózisok a baleset után közvetlenül evakuáltak esetében

**Table 23**  
**Summary of estimated collective effective and thyroid doses to populations of areas evacuated in 1986**

Country	Number of persons evacuated	Collective dose (man Sv)		
		Thyroid <sup>a</sup>	External effective dose	Internal effective dose
Belarus	24 725	25 000	770	150
Russian Federation	186	<1 000	< 10	< 10
Ukraine	91 406	30 000	1 500	1 300
Total	116 317	55 000	2 300	1 500

<sup>a</sup> Units: man Gy.

2800 személy Sv; Várható daganatszám: 100-200

## A sugárszennyezett területen élők adatai

**Table 26**

**Distribution of the inhabitants in 1995 of areas contaminated by the Chernobyl accident**

[K23, R11, V3]

<i><sup>137</sup>Cs deposition density (kBq m<sup>-2</sup>)</i>	<i>Population <sup>a</sup></i>			
	<i>Belarus</i>	<i>Russian Federation</i>	<i>Ukraine</i>	<i>Total</i>
37–185	1 543 514	1 654 175	1 188 800	4 386 389
185–555	239 505	233 626	106 700	579 831
555–1 480	97 593	95 474	300	193 367
<b>Total</b>	<b>1 880 612</b>	<b>1 983 275</b>	<b>1 295 600</b>	<b>5 159 487</b>

<sup>a</sup> For social and economic reasons, some of the populations living in areas contaminated below 37 kBq m<sup>-2</sup> are also included.

**Table 54**

**Distribution of the estimated total individual effective doses received by the populations of contaminated areas, 1986–1995 (excluding thyroid dose)**

<i>Dose interval (mSv)</i>	<i>Number of persons in dose interval in</i>			
	<i>Belarus</i>	<i>Russian Federation</i>	<i>Ukraine</i>	<i>Total</i>
<1	133 053	155 301	0	288 804
1–2	444 709	445 326	0	890 035
2–3	362 510	383 334	26 100	771 944
3–4	221 068	258 933	95 900	575 901
4–5	135 203	165 537	208 900	509 640
5–10	276 605	317 251	440 400	1 034 056
10–20	163 015	156 925	367 500	687 440
20–30	63 997	50 010	99 100	213 107
30–40	32 271	21 818	31 400	85 489
40–50	17 521	11 048	18 200	46 769
50–100	25 065	14 580	7 700	47 345
100–200	5 105	2 979	400	8 484
>200	790	333	0	1 123
<b>Total</b>	<b>1 880 912</b>	<b>1 983 375</b>	<b>1 295 600</b>	<b>5 159 887</b>

# Kollektív effektív dózisok a sugárszennyezett területen élők esetében

**Table 36**  
**Summary of estimated collective effective doses to the populations of contaminated areas, 1986–1995**  
**(excluding thyroid dose)**

<sup>137</sup> Cs deposition density (kBq m <sup>-2</sup> )	Population		Collective effective dose (man Sv)					
			External		Internal		Total	
<b>Belarus [S46]</b>								
37–185	1 543 514		3 682		2 409		6 091	
185–555	239 505		2 521		1 945		4 466	
≥555	97 593		3 433		1 150		4 583	
Total	1 880 612		9 636		5 504		15 140	
<b>Russian Federation [B37, M17, S46]</b>								
37–185	1 654 175		3 778		3 009		6 787	
185–555	233 626		2 065		1 183		3 248	
≥555	95 474		2 611		799		3 410	
Total	1 983 275		8 454		4 991		13 445	
<b>Ukraine [L44]</b>								
<sup>137</sup> Cs deposition density (kBq m <sup>-2</sup> )	Population		Collective effective dose (man Sv)					
			External		Internal		Total	
	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban
37–185	881 800	306 800	3 715	999	6 610	717	10 330	1 717
185–555	40 400	66 300	610	769	375	140	986	909
>555	300		11.0		13.8		24.8	
Total	922 500	373 100	4 336	1 768	7 000	857	11 340	2 626

Összlakosság: 5159487

Összesen 42551 személy Sv; várható daganatszám: 1700

## Leukémiák és szolid tumorok előfordulása

**Table 65**  
**Incidence of leukaemia and all cancer during 1993–1994 among recovery operation workers and residents of contaminated areas**  
 [C2]

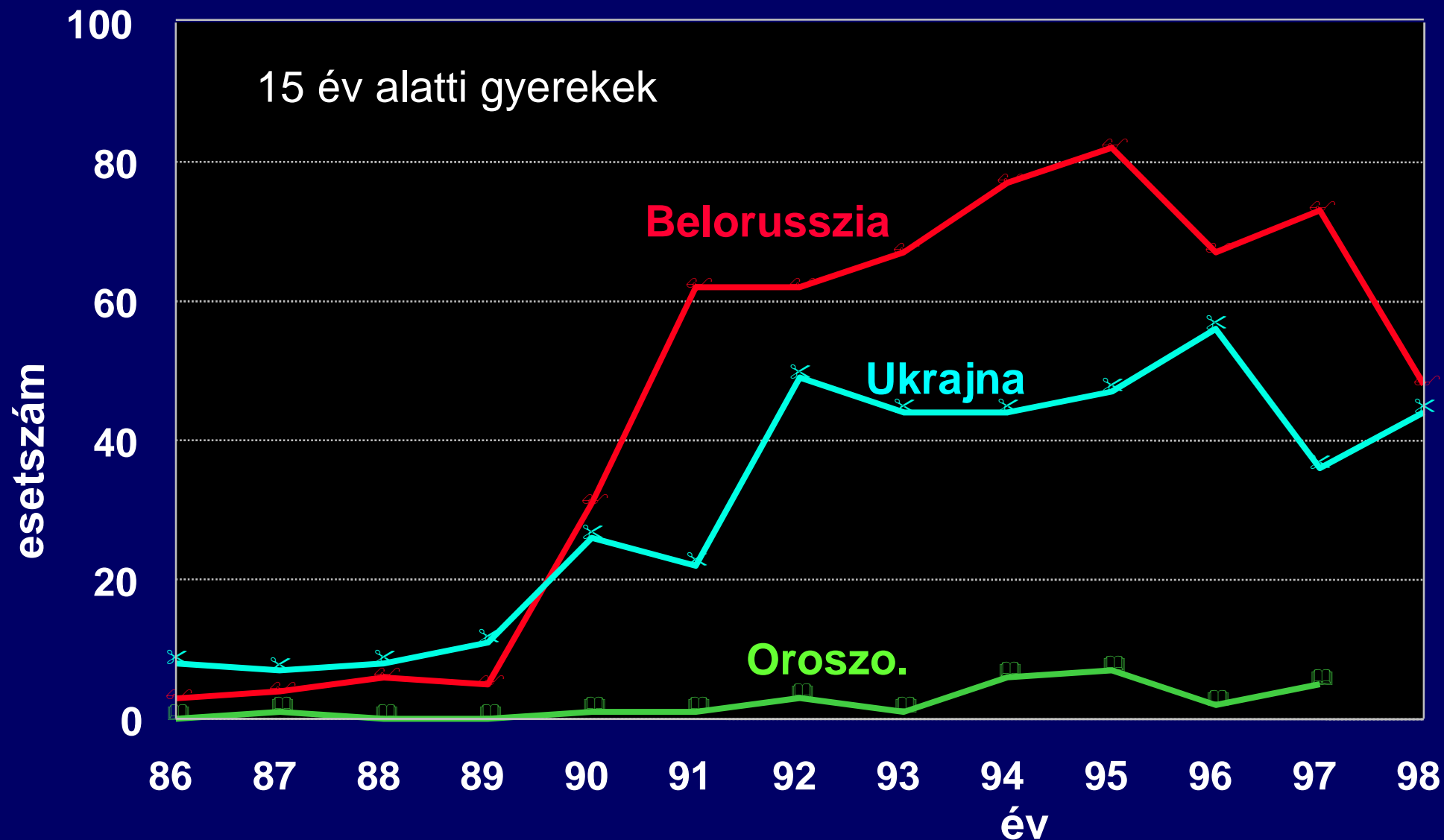
Country	Leukaemia cases <sup>a</sup>		All cancer cases <sup>a</sup>		Standardized incidence ratio (SIR)	
	Observed	Expected	Observed	Expected	Leukaemia	All cancer
<b>Recovery operation workers <sup>b</sup></b>						
Belarus	9	4.5	102	136	200	75
Russian Federation	9	8.4	449	405	108	111
Ukraine	28	8	399	329	339	121
<b>Residents of contaminated areas <sup>c</sup></b>						
Belarus	281	302	9 682	9 387	93	103
Russian Federation	340	328	17 260	16 800	104	103
Ukraine	592	562	22 063	22 245	105	99

*a* ICD9 codes: 204-208 (leukaemia) and 140-208 (all cancer); expected cases are for age- and sex-matched members of the general population.

*b* Males who worked in the 30-km zone during 1986 and 1987.

*c* Areas with <sup>137</sup>Cs deposition density > 185 kBq m<sup>-2</sup>.

# Pajzsmirigy daganatok előfordulása gyerekekben a csernobili baleset után



## Születési rendellenességek gyakorisága

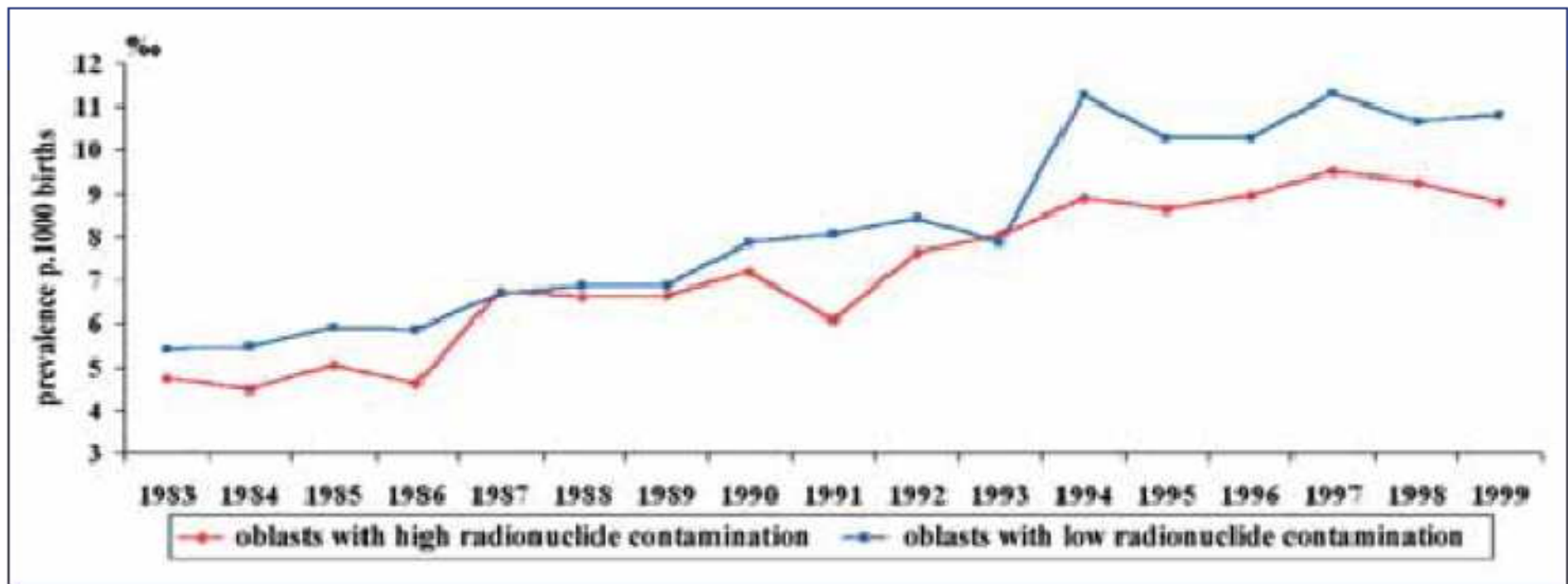
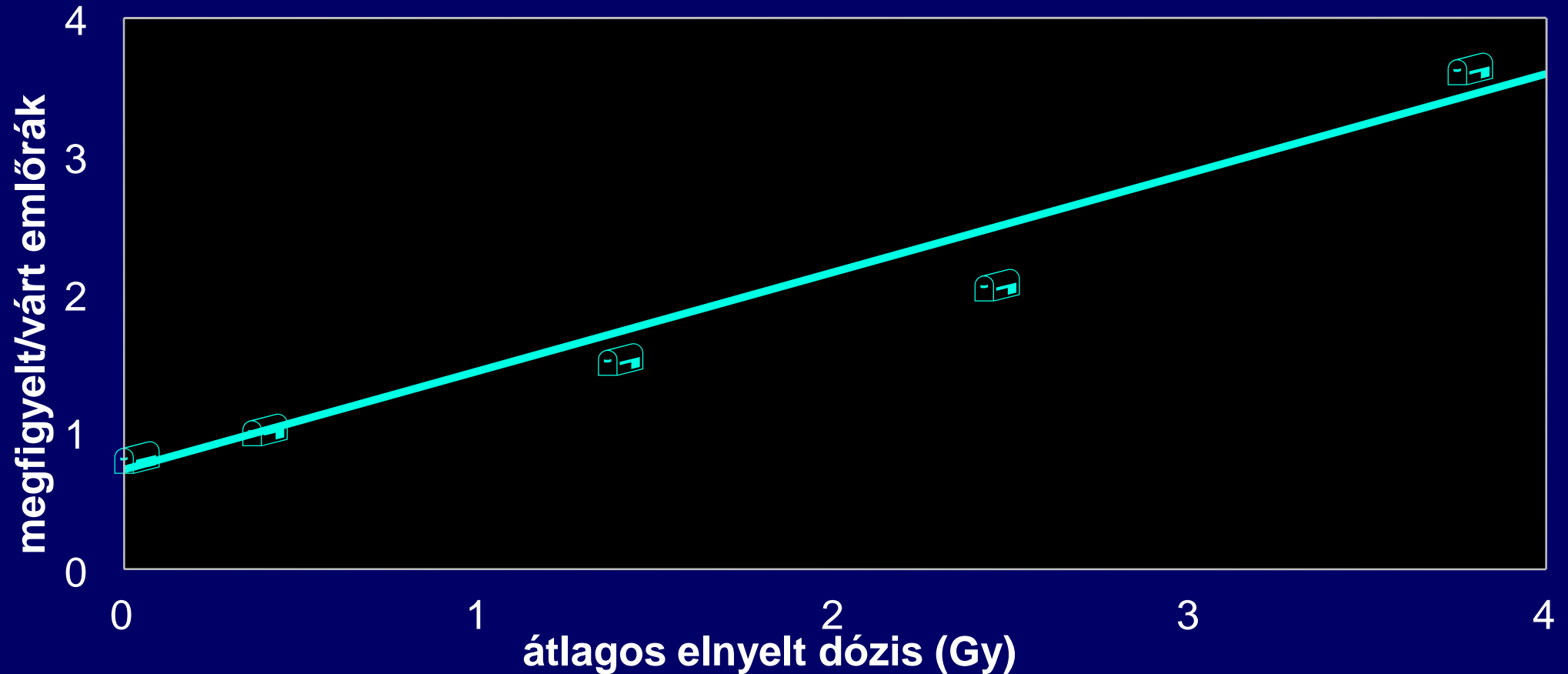


FIG. 4. Prevalence at birth of congenital malformations in 4 oblasts of Belarus with high and low levels of radionuclide contamination (Lasyuk et al., 1999).

# Orvosi sugaras beavatkozások következményei



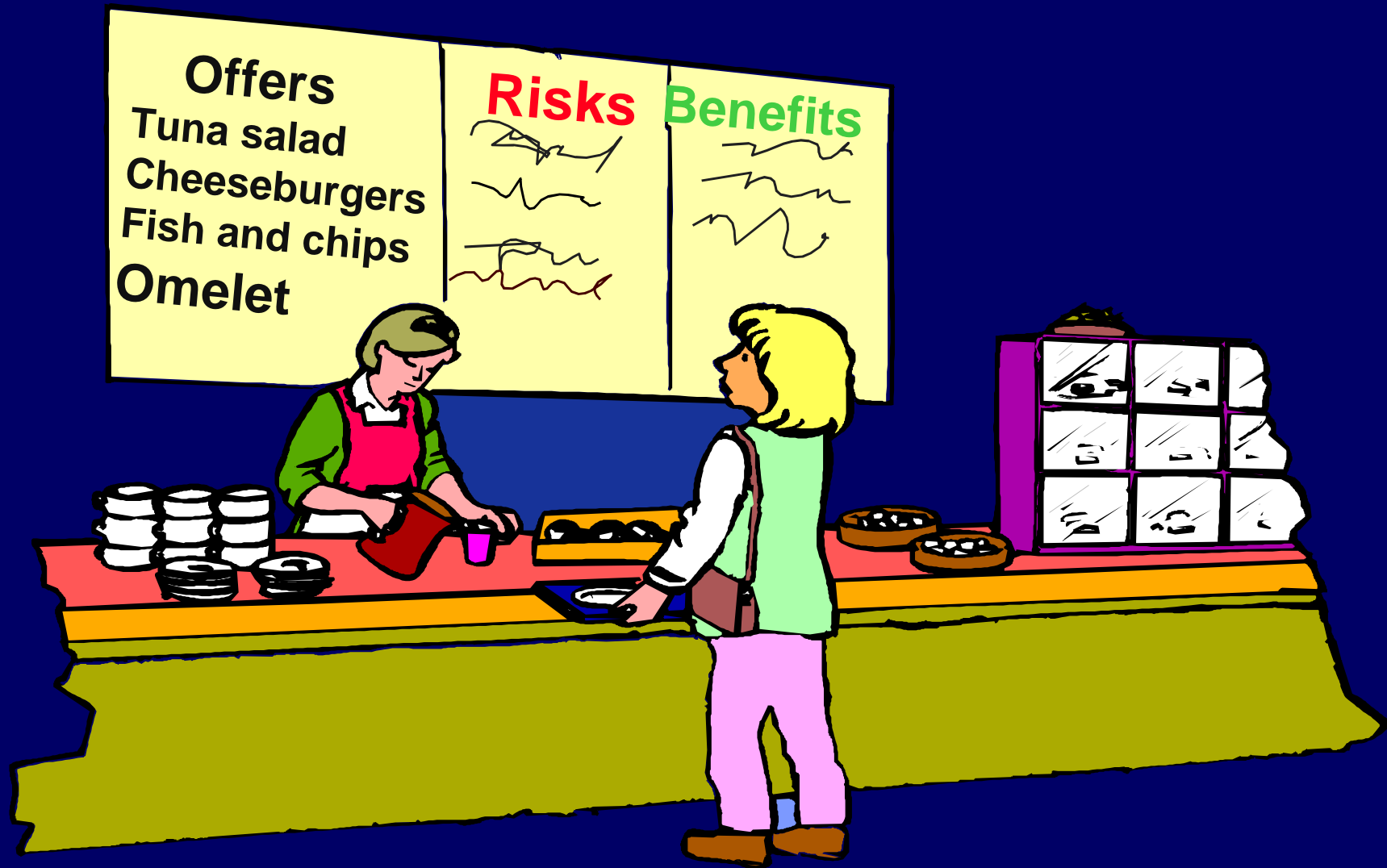
# Emlőrák gyakoriság nőkben gyakori fluoroscopiás vizsgálat után



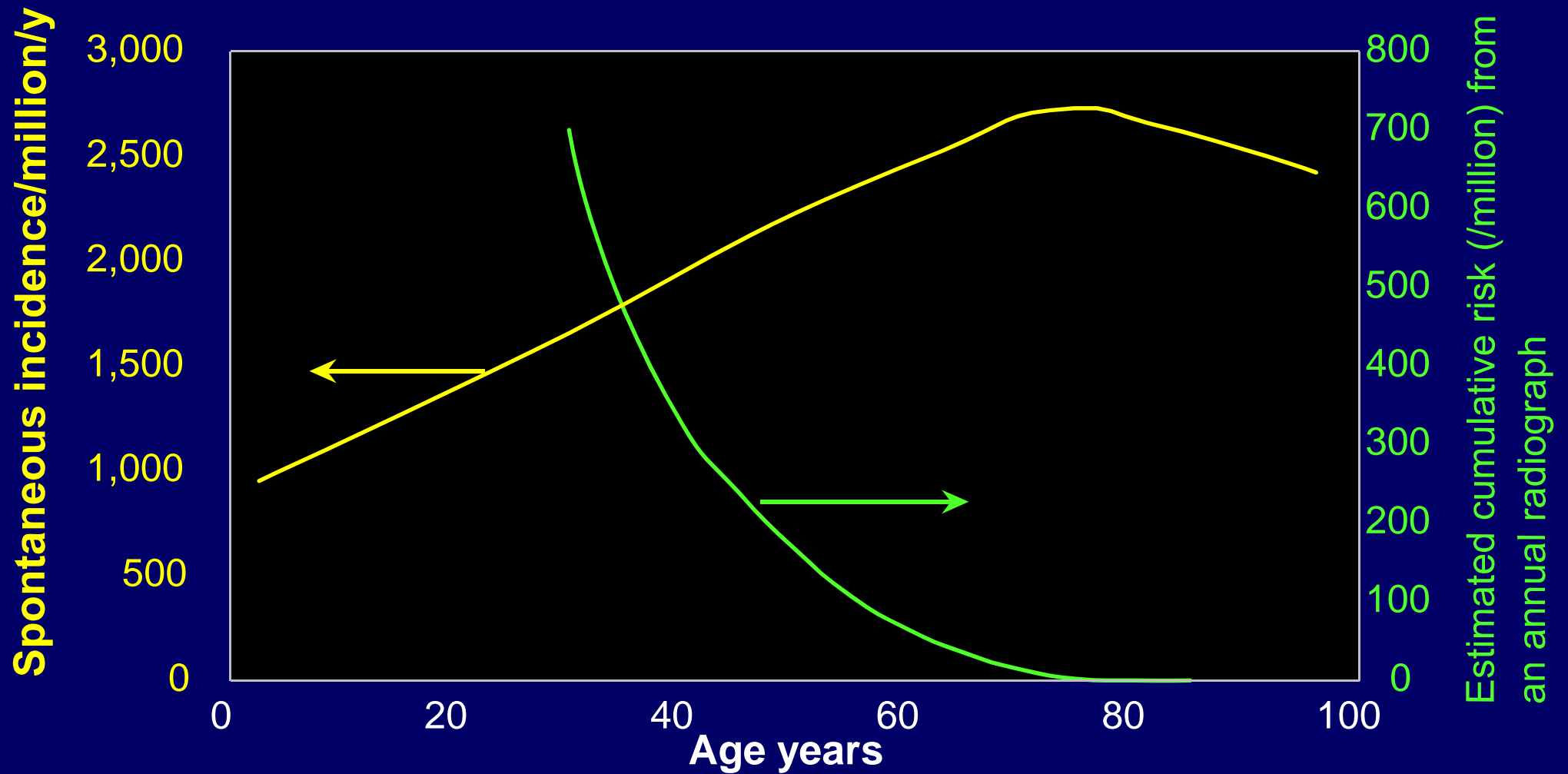
Az asszonyokat tuberculosis miatt gyakran vizsgálták fluoroscopiával

# Risks and Benefits

## Decisions are not Always Easy

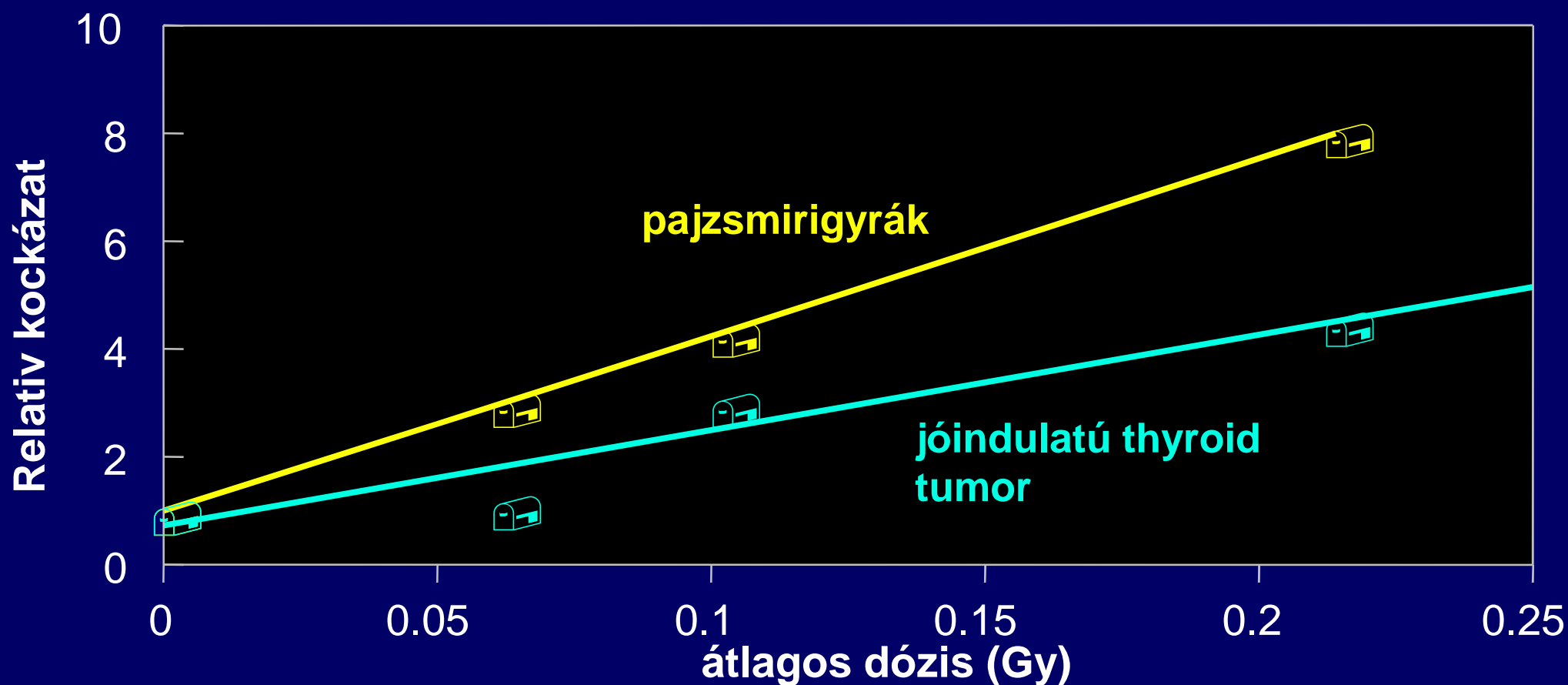


# Example for Risk of Spontaneous Breast Cancer vs Benefit of Annual Mammography



Note actual values depend on specific factors: doses from type of equipment and procedure, population, follow-up....

# Pajzsmirigy-rák sugárkezelt gyerekekben (tinea capitis)



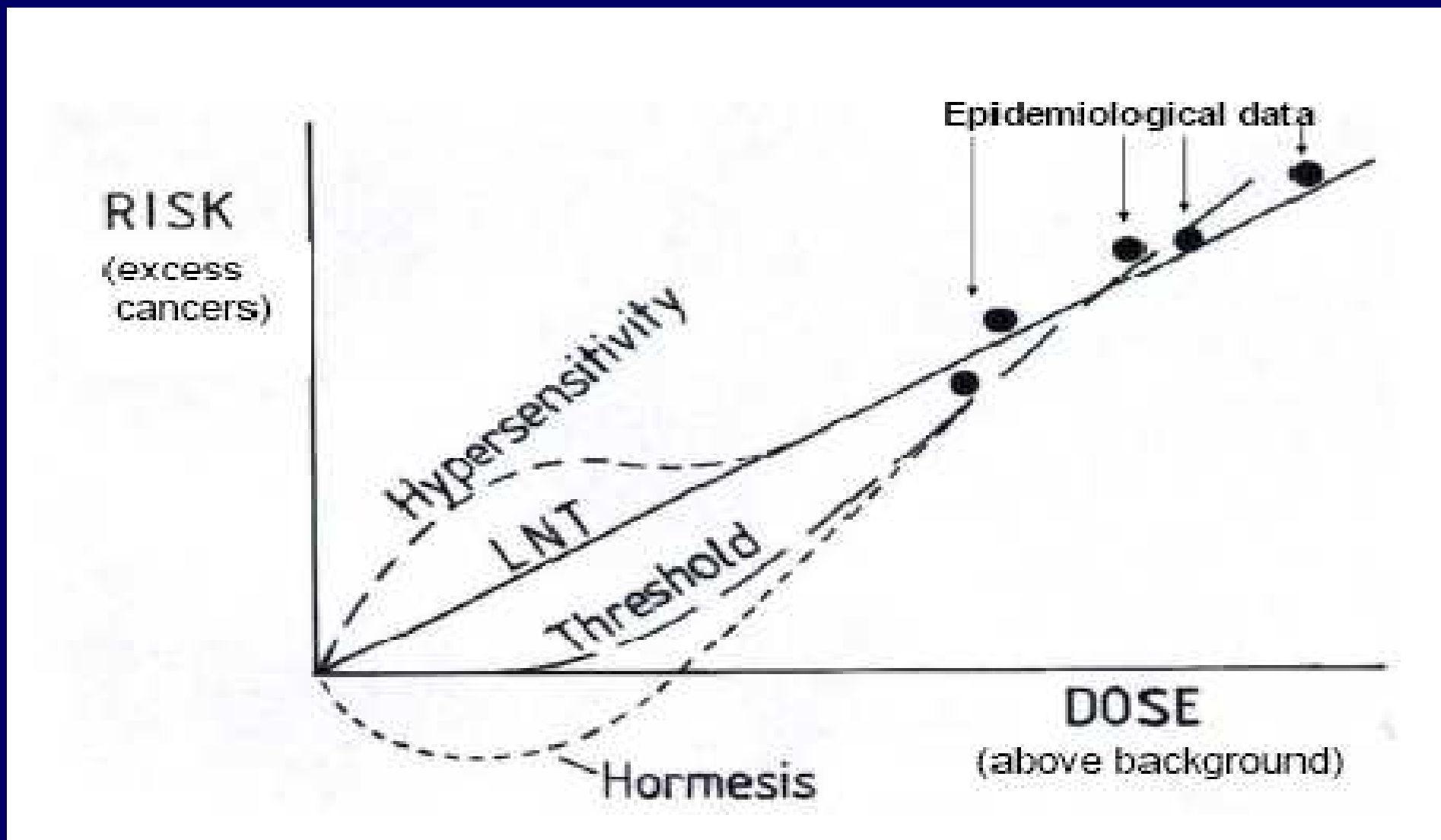
## A kis dózisok biológiai hatásai

Sample size needed to detect tumor induction from radiation (95% certainty)

Whole body dose	Population size required for the study
100 rem (1 Sv)	1,000
10 rem (100 mSv)	100,000
1 rem (10 mSv)	10,000,000

BEIR 1980

# A kis dózisok biológiai hatásaira extrapolációval következtetünk



A jelenleg a lineáris küszöbdózis nélküli modell az elfogadott

# A kis dózisú (< 100 mGy) sugárexpozíció lehetőségei

Háttérsugárzás: 1-3 mSv/év

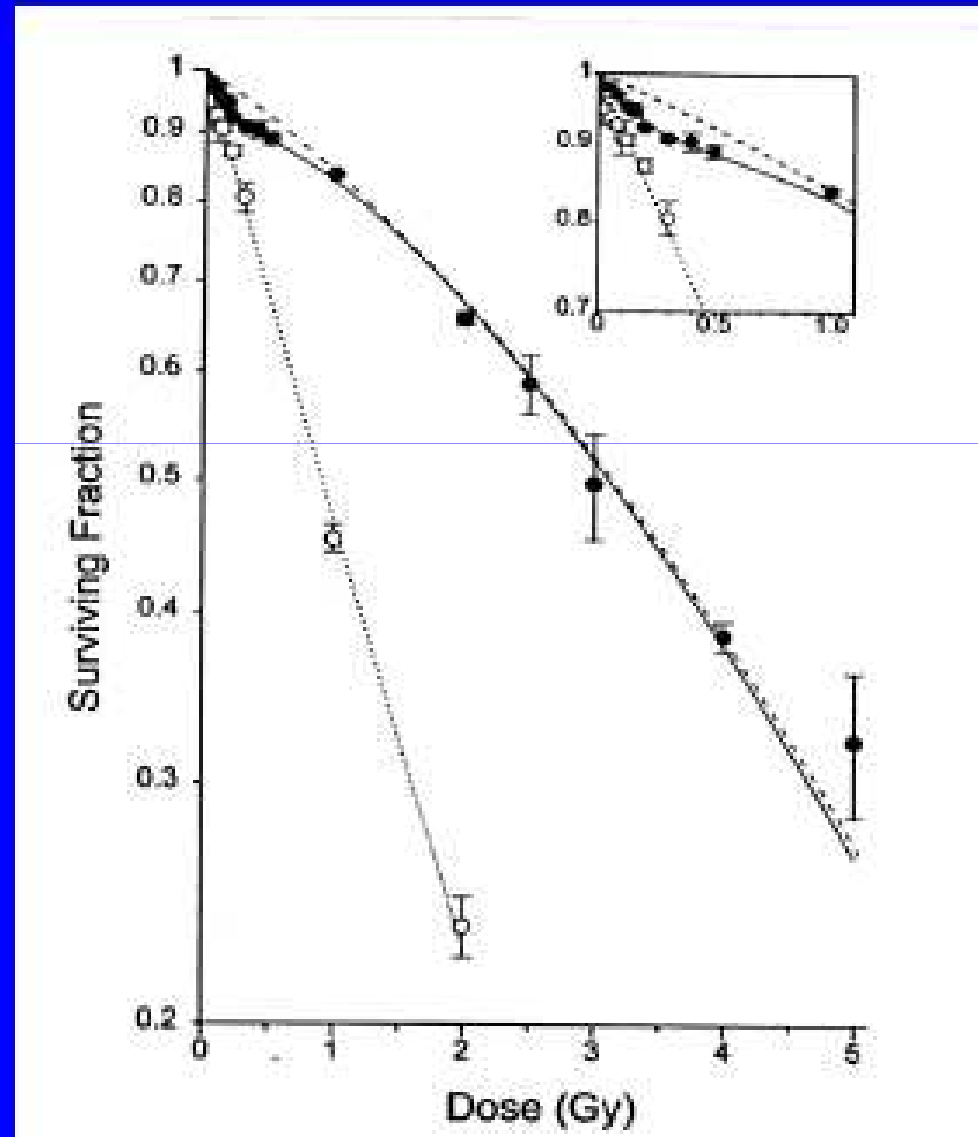
## Dózis korlátok:

Lakosság: 1 mSv/év

Sugaras munkahely: 100 mSv/ 5 év

Nem vonatkozik az orvosi sugárexpozícióra

# Kis dózisú túlérzékenység



From Joiner *et al.*



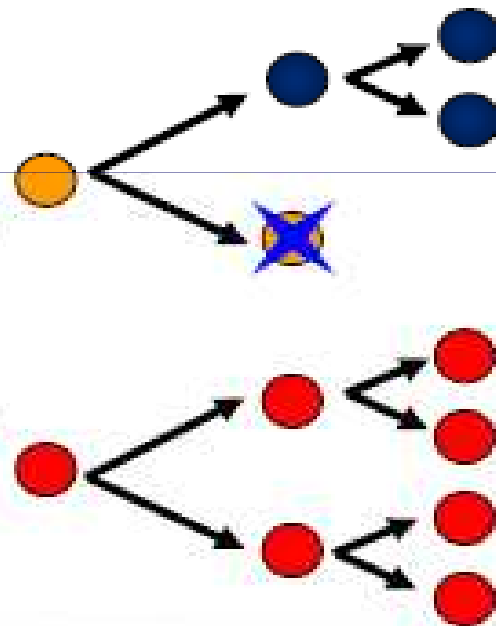
# A classical dogma: biological effects of exposure to radiation

## Main target: DNA

Normal cell



Radiation



Faithfully repaired

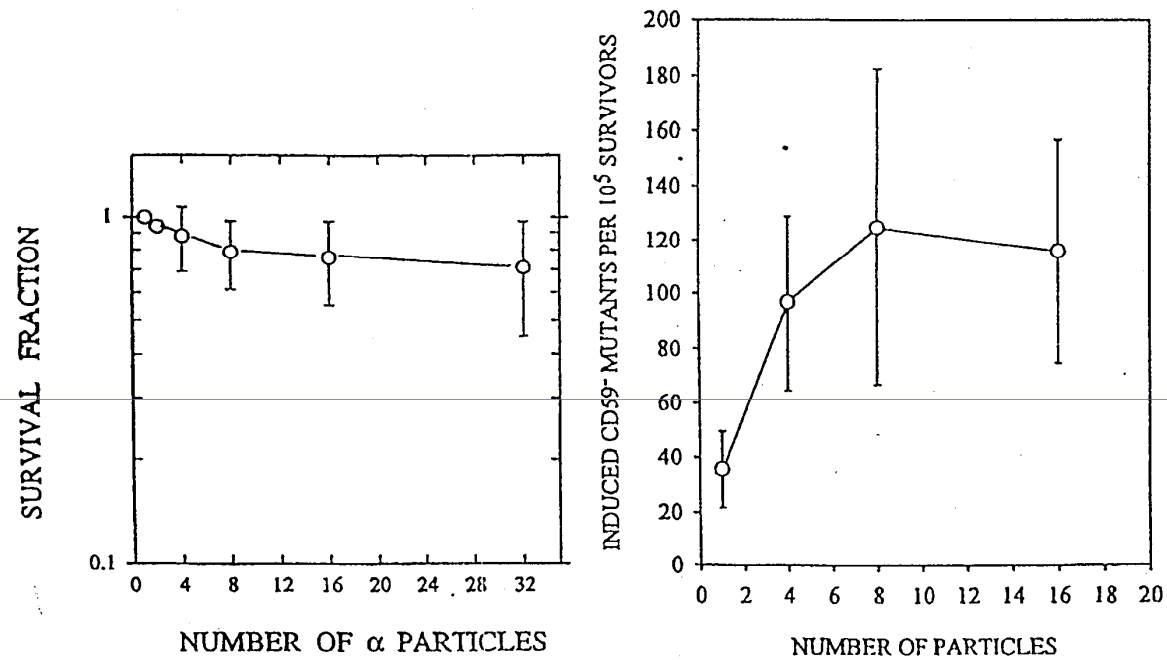
Cell death

Clonal mutations

↓  
Cancer

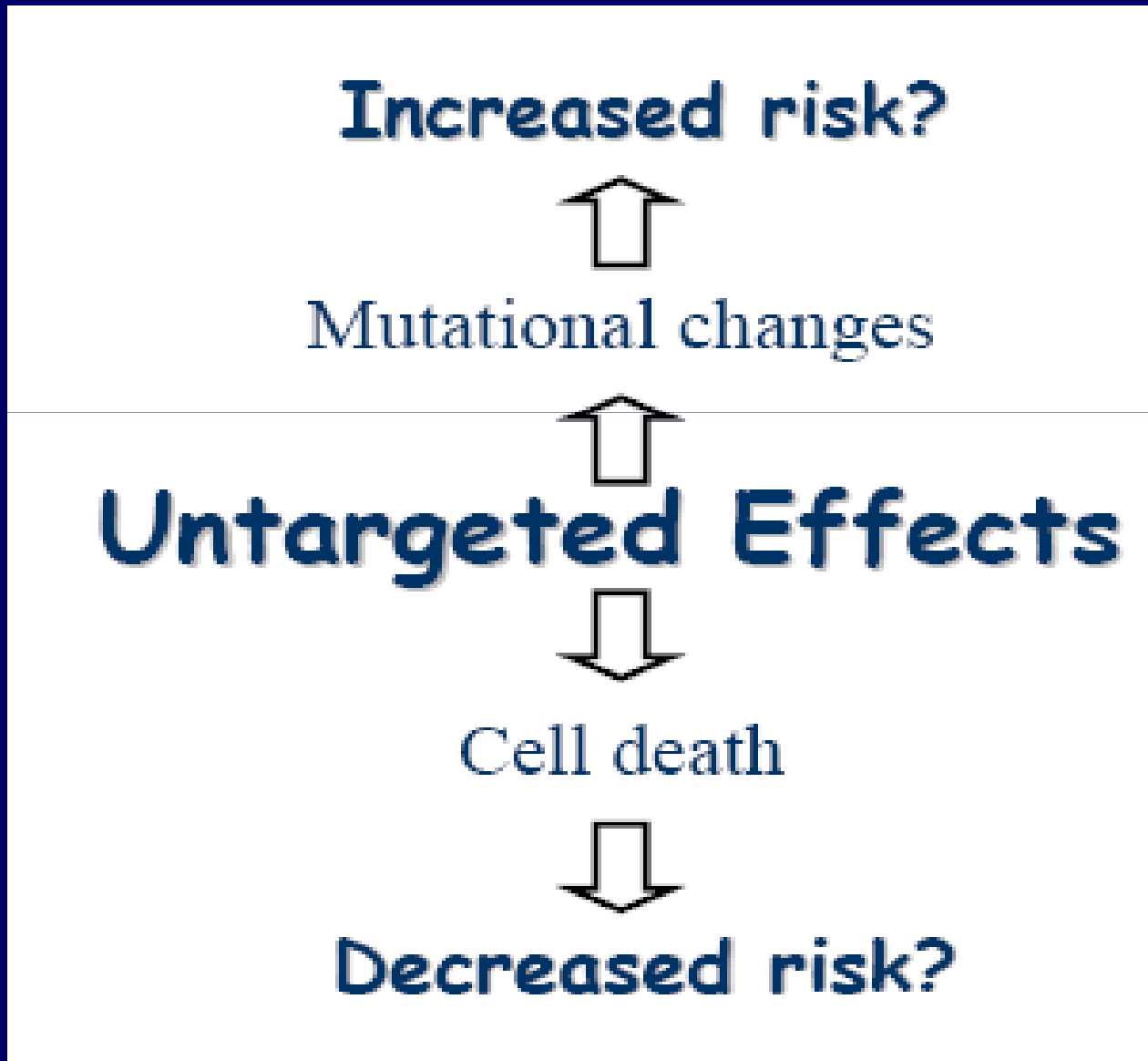
'fixed' damage and transmission to the progeny

# Nem DNS célpontú hatások



**Fig. 4.** Cell survival and induced frequency of mutations in  $A_L$  cells in which the cytoplasm was irradiated with an exact number of  $\alpha$ -particles from a precision microbeam irradiator. The background mutation frequency was  $43 \pm 15$  mutants per  $10^5$  survivors. Data from Wu *et al.* (57).

A nem DNS célpontú válaszok alapvetően befolyásolhatják az ionizáló sugárzás következményeit a kis dózisok tartományában

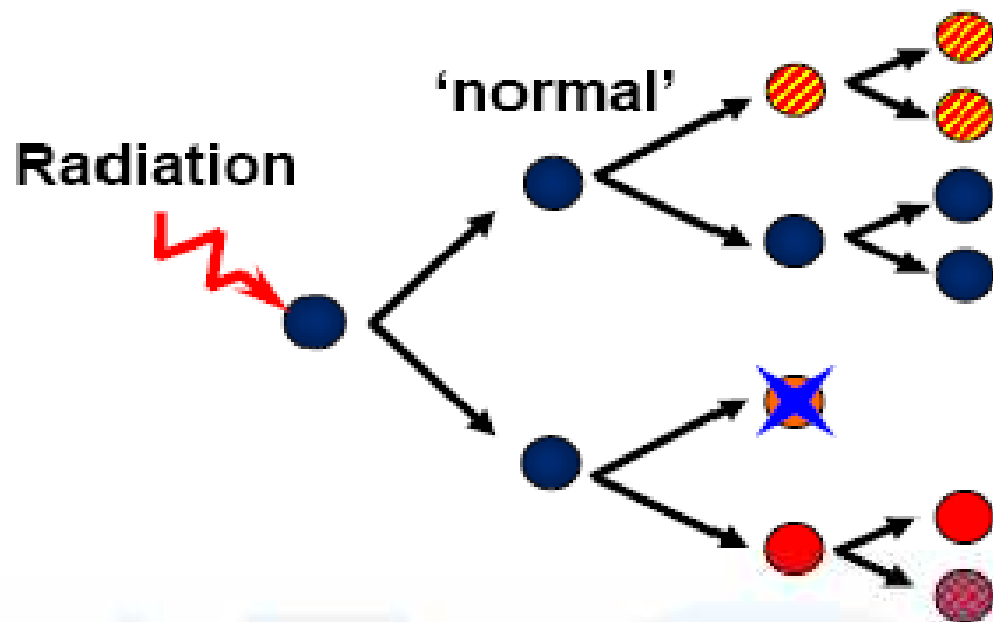


# A nem DNS célpontú hatások

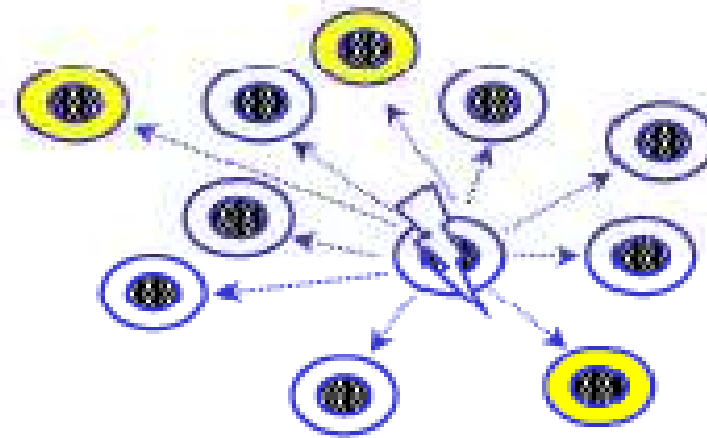
- Genom instabilitás
- Bystander hatás
- Adaptív válasz ???

# Genomic instability: Effects arise in the progeny

Non-clonal genetic damages and long lasting genetic changes, e.g.

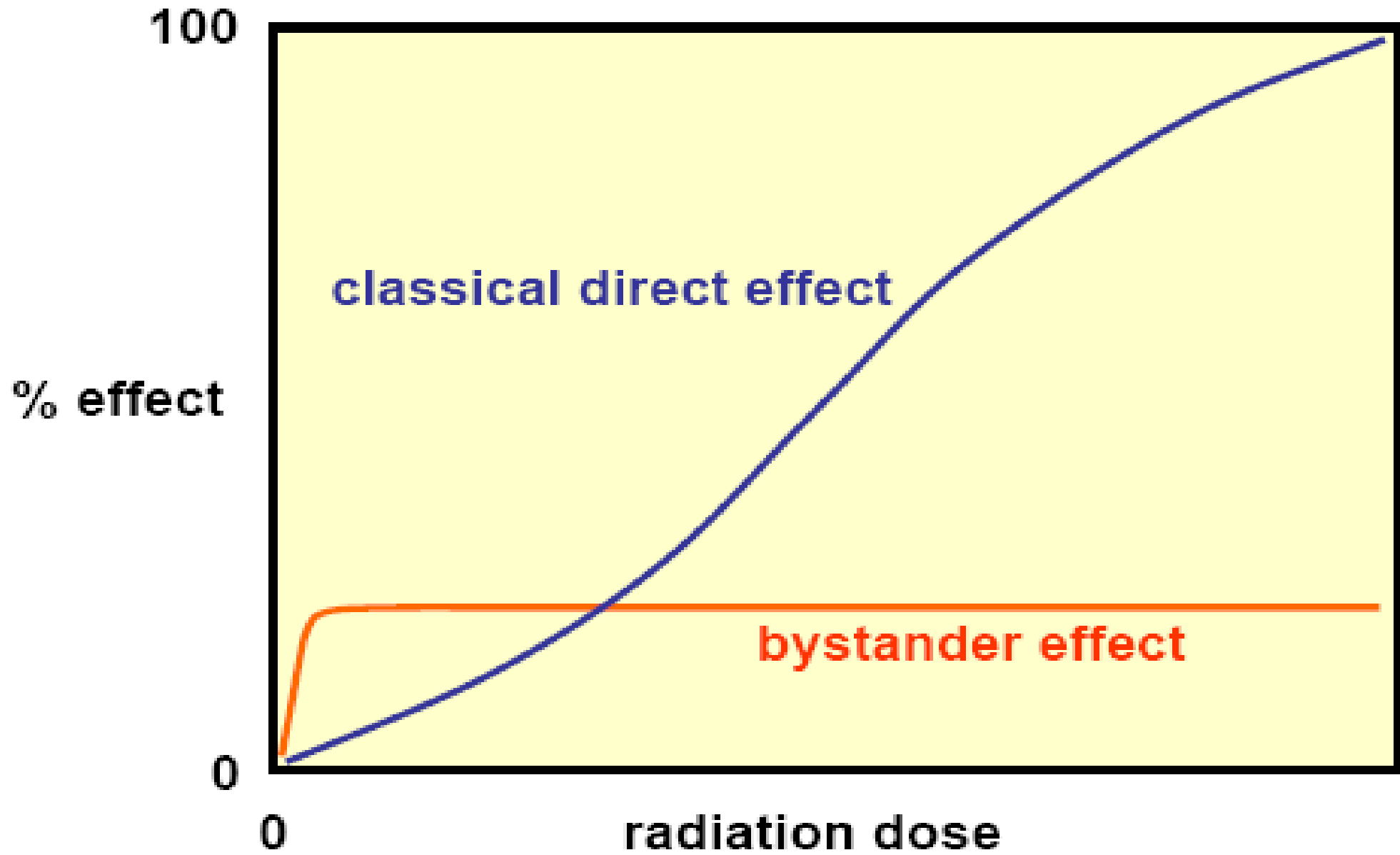


- Mutations
- Transformation
- Gene amplifications
- Micronuclei
- Delayed cell death
- Apoptosis
- Chromosome aberrations

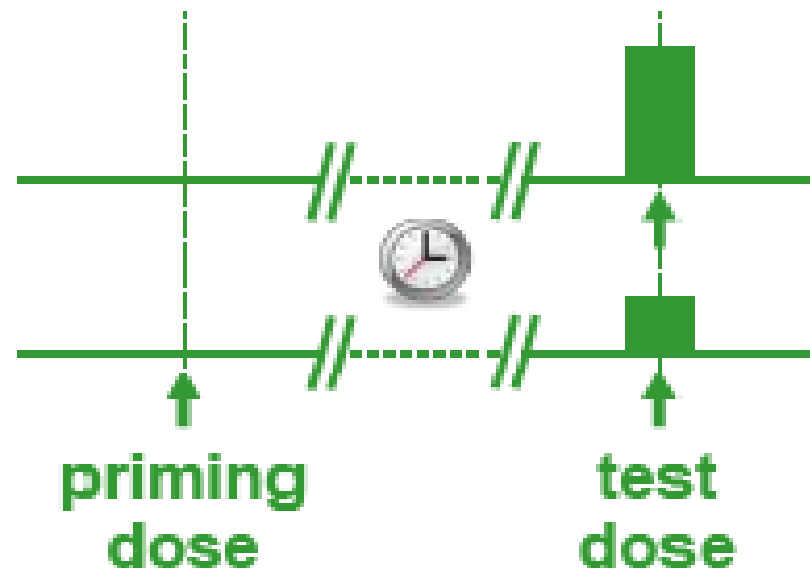


## BYSTANDER EFFECT

- Sejthalál
- Mutációk
- Adaptáció



## ADAPTIVE RESPONSE



Csökkenti a sugárhatás következményeit



# Effektív dózisok radiológiai vizsgálatoknál

**TABLE 14.8.** *Typical Effective Doses to Adult Patients in the 1990s (United Kingdom)*

Examination	Typical Effective Dose, mSv
<b>Single Radiographs</b>	
Skull AP or PA	0.03
Skull LAT	0.01
Chest PA	0.02
Chest LAT	0.04
Thoracic spine AP	0.4
Thoracic spine LAT	0.3
Lumbar spine AP	0.7
Lumbar spine LAT	0.3
Lumbar spine LSJ	0.3
Abdomen AP	0.7
Pelvis AP	0.7
<b>Complete Examinations</b>	
IVU (6 films)	2.5
Barium swallow (24 spot images, 106 s fluoro.)	1.5
Barium meal (11 spot images, 121 s fluoro.)	3
Barium follow (4 spot images, 78 s fluoro.)	3
Barium enema (10 spot images, 137 s fluoro.)	7
CT head	2
CT chest	8
CT abdomen	10
CT pelvis	10

From Wall BF, Hart D: Revised radiation doses for Typical x-ray examinations [commentary]. Br J Radiol 70:437–439, 1997, with permission.

## Effektív dózisok gyerekekben

**TABLE 14.12.** *Computed Tomography Dosimetry Parameters for Three Age Groups Undergoing Abdominal Examinations*

Parameter	≤10 y	11–18 y	>18 y
Section dose, mGy	23.7 ± 4.1	18.5 ± 3.3	15.7 ± 3.9
Energy imparted, mJ	72.1 ± 24.4	183.5 ± 44.8	234.7 ± 89.4
Effective dose, mSv	6.1 ± 1.4	4.4 ± 1.0	3.9 ± 1.1

Table data are mean ± SD.

Adapted from Ware DE, Huda W, Mergo PJ, Litwiller AL: Radiation effective doses to patients undergoing abdominal CT examinations. *Radiology* 210:645–650, 1999, with permission.

# Radiológiai vizsgálatok kollektív effektív dózisa

**TABLE 14.15.** *Collective Effective Dose from Diagnostic Medical X-Rays: United States, 1980*

Examination Type	Effective Dose, mSv <sup>a</sup>	Thousands of Examinations	Collective Effective Dose, person-Sv <sup>b</sup>
Computed tomography (head and body)	1.11	3,300	3,660
Chest	0.08	64,000	5,120
Skull	0.22	8,200	1,800
Cervical spine	0.20	5,100	1,020
Biliary	1.89	3,400	6,430
Lumbar spine	1.27	12,900	16,400
Upper gastrointestinal	2.44	7,600	18,500
Abdomen (kidneys, ureters, bladder)	0.56	7,900	4,420
Barium enema	4.06	4,900	19,900
Intravenous pyelogram	1.58	4,200	6,640
Pelvis	0.44	} 0.64	3,010
Hip	0.83		
Extremities	0.01		
Other	0.50	(8,400)	4,200
Rounded total			92,000

<sup>a</sup>1 mSv = 100 mrem.

<sup>b</sup>1 person-Sv = 100 man-rem.

Adapted from National Council on Radiation Protection and Measurements: Exposure of the US Population From Diagnostic Medical Radiation. Report No. 100. Bethesda, MD, NCRP, 1989, with permission.

1 személy Sv – 0,04 daganat / év;      92000 személy Sv – 3680 daganat / év

1 személy Sv – 0,006 öröklődő megbetegedés;      - 552

de kevesebb mint az exponált populáció 0,004%-a veszélyeztetett (179.600.000 vizsgálat/év)

## Effektív dózis CT

4%-a a radiológiai diagnosztikának, de az effektív dózis  
40%-áért felelős.

## Terhes nők besugárzása

- 0 - 2 hét            reszorpció, daganat
- 2 – 8 hét            születési rendellenességek (microcephalia), daganat keletkezés
- 8 – 15 hét           microcephalia, **mentális retardáció**, daganat
- 15 – 25 hét          microcephalia, mentális retardáció, daganat
- 25 – hét            daganatkeletkezés

Microcephalia küszöbdózisa 0,1 Gy

Daganat előfordulás sugaras munkahelyen  
dolgozóknál

**TABLE I**  
**Type of Activities Carried Out in the Facilities Included**  
**in the Combined Analyses during the Study Period**

Country	Facility	Predominant activity
U.S.	Hanford	Nuclear reactors, reprocessing, waste treatment, purification of plutonium
U.S.	Rocky Flats	Plutonium weapons
U.S.	ORNL <sup>a</sup>	Research and development plant, reactors
UK	Sellafield	Nuclear reactors, replacement, reprocessing, waste treatment, fast-reactor fuel fabrication
UK	AEA <sup>a</sup>	Research and development, reactor processing
UK	AWE <sup>a</sup>	Weapons research
Canada	AECL <sup>a</sup>	Nuclear reactor, research and related technologies

<sup>a</sup>ORNL = Oak Ridge National Laboratory; AEA = Atomic Energy Authority; AWE = Atomic Weapons Establishment; AECL = Atomic Energy of Canada Ltd.

**TABLE IV**  
**Excess Relative Risk (ERR) Estimates per Sv,**  
**90% Confidence Intervals (CI) and Relative**  
**Risk (RR) Estimates at 100 mSv for**  
**All Cancers and Leukemias**

Type of cancer	Number of deaths	ERR per Sv	90% CI	RR for 100 mSv vs 0 mSv <sup>a</sup>
All cancers	3976	-0.02	(-0.34, 0.35)	1.00
Except leukemia	3830	-0.07	(-0.39, 0.30)	0.99
All leukemia	146	1.55	(-0.21, 4.7) <sup>b</sup>	1.16
Except CLL <sup>c</sup>	119	2.18	(0.13, 5.7) <sup>b</sup>	1.22
ALL <sup>c</sup>	11	-0.89	(<0, <sup>d</sup> 7.3) <sup>b</sup>	0.91
CLL <sup>c</sup>	27	-0.95	(<0, <sup>d</sup> 9.4) <sup>b</sup>	0.91
AML <sup>c</sup>	32	3.38	(<0, <sup>d</sup> 14.9) <sup>b</sup>	1.34
CML <sup>c</sup>	28	11.00	( 2.9,30.9) <sup>b</sup>	2.10

<sup>a</sup>See Methods.

<sup>b</sup>Simulated confidence intervals (see Methods).

<sup>c</sup>ALL: acute lymphocytic leukemia; AML: acute myeloid leukemia; CLL: chronic lymphocytic leukemia; CML: chronic myeloid leukemia.

<sup>d</sup>Lower bound would lead to negative relative risks in the low-dose range (<500 mSv).

# BMJ

## Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries

E Cardis, M Vrijheid, M Blettner, E Gilbert, M Hakama, C Hill, G Howe, J Kaldor, C R Muirhead, M Schubauer-Berigan, T Yoshimura, F Bermann, G Cowper, J Fix, C Hacker, B Heinmiller, M Marshall, I Thierry-Chef, D Utterback, Y-O Ahn, E Amoros, P Ashmore, A Auvinen, J-M Bae, J Bernar Solano, A Biau, E Combalot, P Deboodt, A Diez Sacristan, M Eklof, H Engels, G Engholm, G Gulis, R Habib, K Holan, H Hyvonen, A Kerekes, J Kurtinaitis, H Malke, M Martuzzi, A Mastauskas, A Monnet, M Moser, M S Pearce, D B Richardson, F Rodriguez-Artalejo, A Rogel, H Tardy, M Telle-Lamberton, I Turai, M Usel and K Veress

**Table 2** Estimates of excess relative risk per Sv (95% confidence interval) for all cancers excluding leukaemia, solid cancers, and leukaemia excluding chronic lymphocytic leukaemia, for nuclear workers and survivors of A bomb in Japan<sup>†</sup>

	15 country study		Atomic bomb survivors (men exposed at age 20-60)	
	No of cancers	Risk	No of cancers	Risk‡
All cancers excluding leukaemia	5024	0.97 (0.14 to 1.97)		
Solid cancers	4770	0.87 (0.03 to 1.88)	3246	0.32‡ (0.01 to 0.50)
Leukaemia excluding CLL:				
Linear model	196	1.93 (-0.05 to 3.47)	82	3.15¶ (1.58 to 5.67)
Linear quadratic model				1.54** (-1.14 to 5.33)

CLL=chronic lymphocytic leukaemia.

<sup>†</sup>Colon dose used for all cancers and solid cancer analyses, bone marrow dose for leukaemia.

‡Note that because analyses were restricted to men aged 20-60 at exposure the confidence intervals are much wider than those presented by other investigators<sup>15-18</sup> and are based on the full cohort.

§Analyses carried out at IARC with excess relative risk model that allows for age at exposure modification, adjusted for attained age, calendar period, and city. Estimate for men exposed at age 35.

¶Estimate on boundary of parameter space.

\*\*Analyses carried out at IARC with constant excess relative risk model, adjusted for attained age, calendar period, and city.

\*\*\*Analyses carried out at IARC—linear term of linear quadratic model—preferred model for describing leukaemia mortality in analyses of data on A bomb survivors.<sup>14</sup>



# Leukémiás halálozás francia nukleáris létesítmények környezetében

Jellemzők		Személyév x10 <sup>3</sup>	Leukémiás halálozás megfigyelt	várt	Standard mortalitás arány %
Szex	Férfi	2129	36	51.30	70
	Nő	2003	33	34.85	95
életkor	0-4	816	12	16.95	71
	5-9`	862	15	22.16	68
	10-14	871	12	17.17	70
	15-19	859	17	16.96	100
	20-24	724	13	12.91	101
	típus				
	Reprocessing	1284	21	28.66	73
	Más	2848	48	57.49	83
Távolság km	<5	460	7	9.63	73
	5-9.9	1469	26	31.05	84
	10-12,9	802	8	16.20	49
	13-15.9	1401	28	29.27	96
	Össz	4132	69	86.15	80

# A radon expozíció relatív kockázata beltéri expozíció után és bányászokban

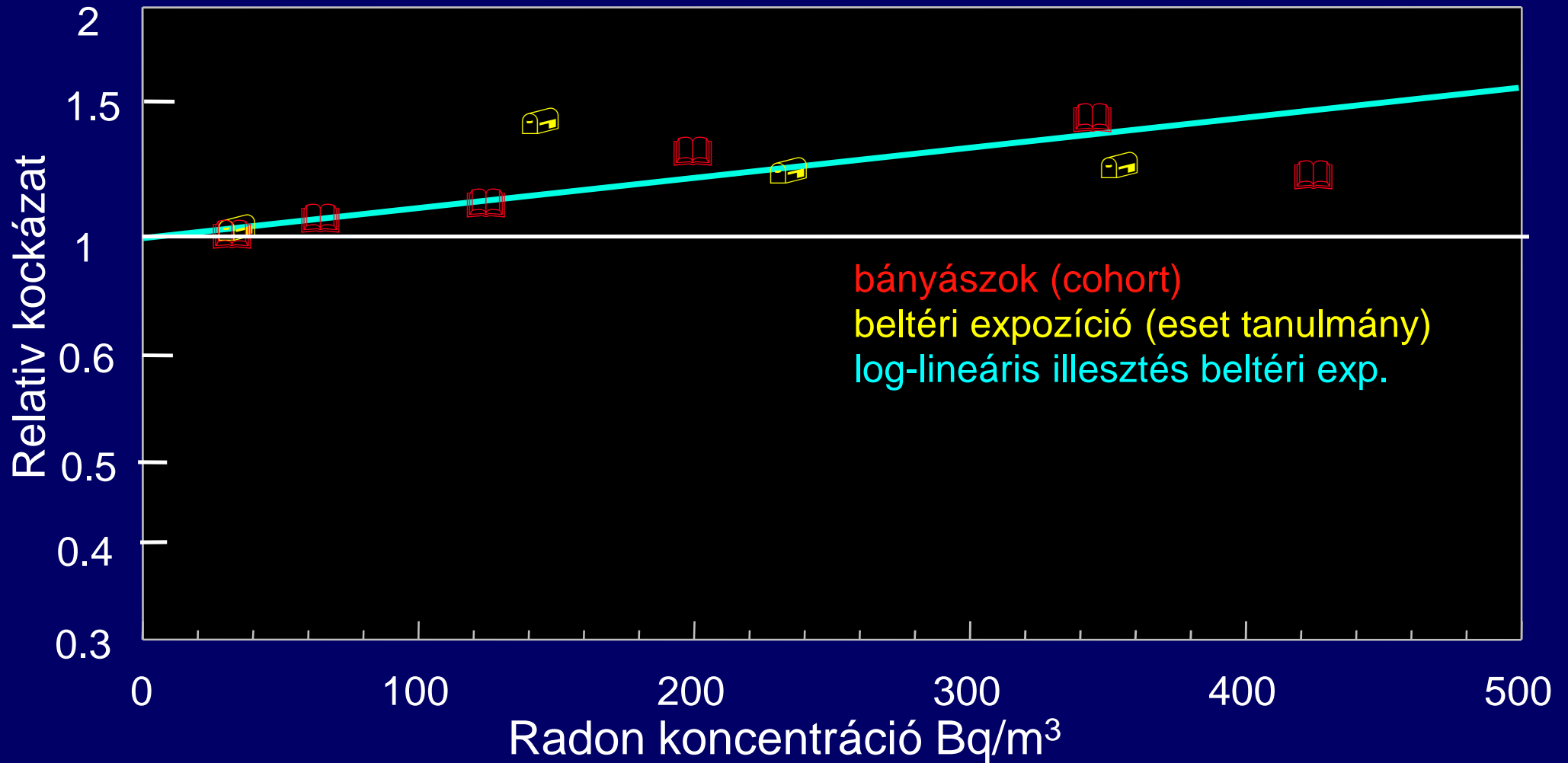


Table 5: Loss of life expectancy correlated with various activities

Activity	Days of life lost
Being unmarried (male)	3500
Cigarette smoking	2250
Being unmarried (female)	1600
Being 30% overweight	1300
Working as coal miner	1100
Being 20% overweight	900
Less than 8th grade education	850
Stroke	520
Motor vehicle accidents	207
Accidents in home	95
Diabetes	95
Average job-accidents	74
Drowning	41
Job with radiation exposure (5 mSv per year)	40
Background radiation	8
Coffee	6
Oral contraceptives	5
Diet drinks	2
Pap test	-4
Smoke alarm in home	-10
Air bags in car	-50

# Összefoglalás

- Jelenleg nincs arra vonatkozó bizonyíték, amely a sztochasztikus sugárhatás lineáris, küszöbdózis nélküli modelljét érvénytelenné tenné.
- Sugárhatásra kialakuló mutáció nem egyenlő daganatképződéssel
- A nem DNS célpontú hatások módosíthatják az ionizáló sugárzás biológiai következményeit.