

A sztochasztikus hatások sugárvédelmi vonatkozásai

Dr. Sáfrány Géza

Az ionizáló sugárzás biológiai hatásai

- Determinisztikus hatás
- Sztochasztikus hatás

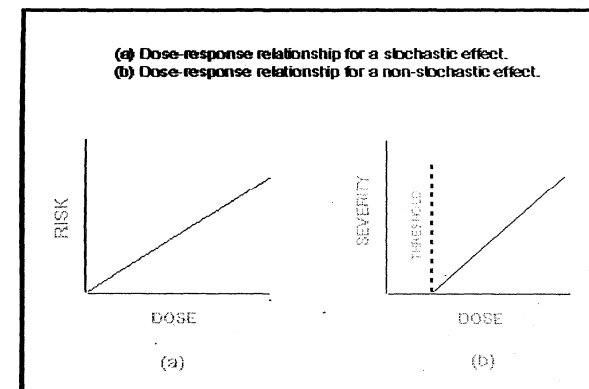
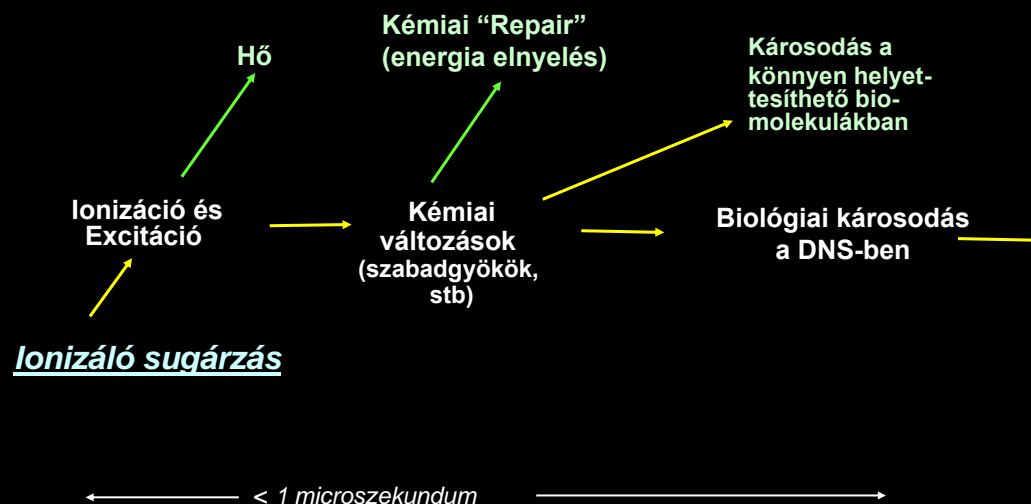
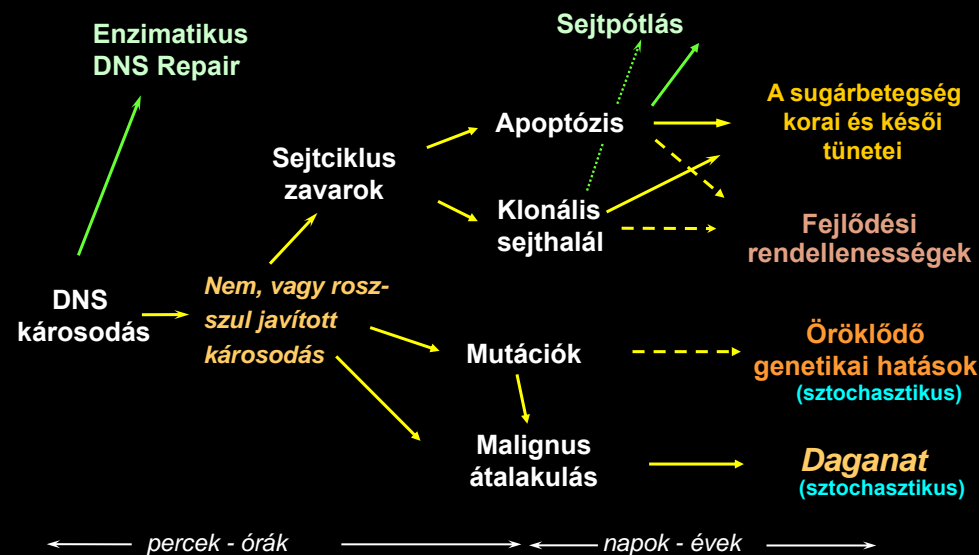


Figure 1: (a) Dose-response relationship for a stochastic effect. (b) Dose-response relationship for a deterministic effect.

Sugársérülések kialakulási mechanizmusa (1)



Sugársérülések kialakulási mechanizmusa(2)



A kis dózisok sztochasztikus hatásait nem ismerjük?

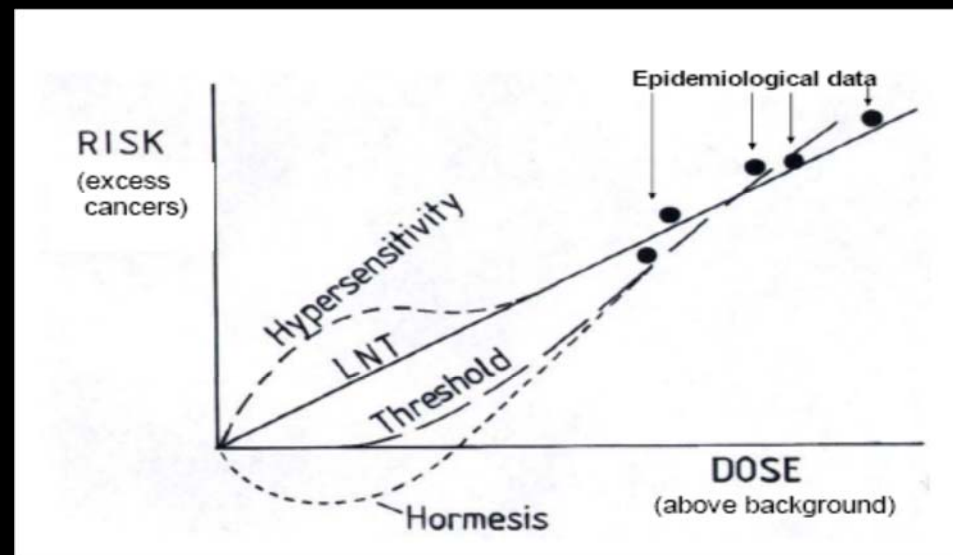
Sample size needed to detect tumor induction from radiation (95% certainty)

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 dózis tartományban (<100 mSv) a sztochasztikus hatások a lényegesek

A kis dózisok biológiai hatásaira extrapolációval következtetünk



A jelenleg a lineáris küszöbdózis nélküli modell az elfogadott

Megjegyzendő

- Jelenleg nincs arra vonatkozó bizonyíték, amely a sztochasztikus sugárhatás lineáris, küszöbdózis nélküli modelljét érvénytelenné tenné.
- Sugárhatásra kialakuló mutáció nem egyenlő daganatképződéssel

Az ionizáló sugárzás daganatkeltő hatása közismert

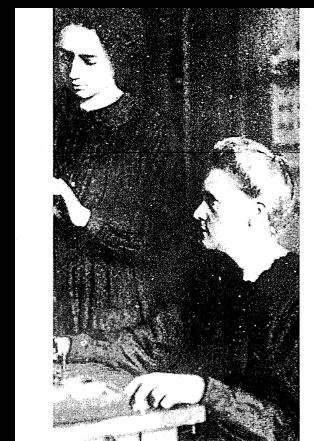


Figure 10.1. Marie Curie (seated) at work with her daughter Irene. Both are thought to have died of leukemia as a consequence of the radiation exposure they received during their experiments with radioactivity. (Courtesy of the Austrian Radium Institute and the International Atomic Energy Bulletin.)

Tanulmányozott populációk

Populáció	Méret (személy)
Atombomba túlélői:	86 000
Atom teszt: Semipalatinsk/Altai	30 000
Marshall szigek	2 800
Nukleáris baleset: Csernobili elhárító személyzet	> 200 000
Csernobili lakosság (>185 kBq /m ² ¹³⁷ 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 thorotrast 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

Epidemiológiai alapfogalmak

- **abszolút kockázat (absolut, risk, AR)** - megbetegedés száma, vagy aránya a populációban egy adott időszak alatt.
- **többszörös abszolút kockázat (excess absolut risk, EAR)** - az exponált és a kontroll populáció AR értékeinek a különbsége.
- **relatív kockázat (relative risk, RR)** - hányszor nagyobb az exponáltak megbetegedési/elhalálási kockázata a nem exponáltakhoz viszonyítva (OR - esély hányados).
- **többszörös relatív kockázat (excess relative risk, ERR)** - RR-ből kivonunk 1-et

A hirosimai, nagaszakii kohort epidemiológiai adatai



TABLE 1
Number of LSS Cohort Members by DS02 Dose, City and Sex

	Subjects with known DS02 dose ^a [weighted colon dose (Gy)]								Unknown ^b	NIC ^c	Total
	Total	<0.005	0.005–	0.1–	0.2–	0.5–	1.0–	2.0+			
Total	86,611	38,509	29,961	5,974	6,356	3,424	1,763	624	7,058	26,529	120,321
Hiroshima	58,494	21,697	22,733	5,037	5,067	2,373	1,152	435	3,442	20,179	82,214
Nagasaki	28,117	16,812	7,228	937	1,289	1,051	611	189	3,616	6,350	38,107
Male	35,687	15,951	12,342	2,382	2,482	1,414	813	303	3,287	11,143	50,175
Female	50,924	22,558	17,619	3,592	3,874	2,010	950	321	3,771	15,386	70,146

Note. Among the total of 120,321 subjects, 123 were unavailable for the study because of misidentification or insufficient information.

^a These numbers exclude the NIC and unknown-dose groups. This group was used for estimating radiation effects.

^b Those with unknown doses had insufficient location information or were in complex shielding situations where dose could not be estimated reliably.

^c NIC: Not in the cities of Hiroshima or Nagasaki at the time of bombing.

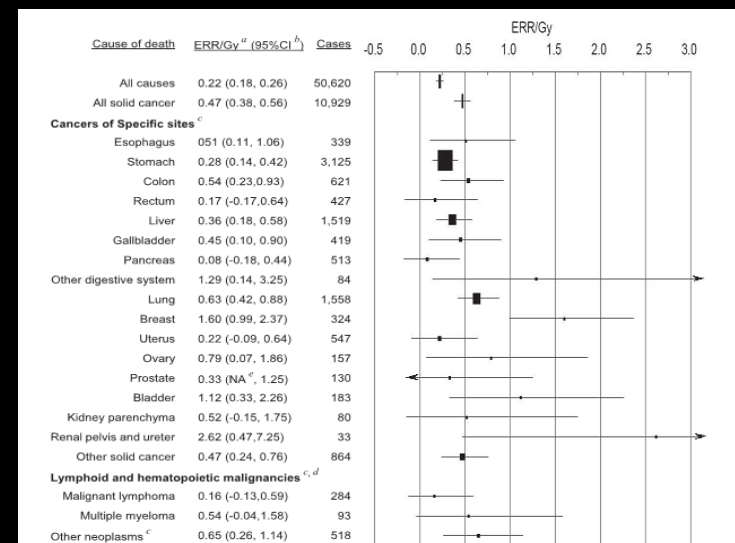
Szolid tumor mortalitás dózis függése

TABLE 9
Observed and Excess Deaths from Solid Cancer

Colon dose (Gy)	Number of subjects	Person-years	Number of deaths	Solid cancer	
				Number of excess cases ^a	Attributable fraction (%)
<0.005	38,509	1,465,240	4,621	2	0
0.005–	29,961	1,143,900	3,653	49	1.3
0.1–	5,974	226,914	789	46	5.8
0.2–	6,356	239,273	870	109	12.5
0.5–	3,424	129,333	519	128	24.7
1–	1,763	66,602	353	123	34.8
2+	624	22,947	124	70	56.5
Total	86,611	3,294,210	10,929	527	4.8

^a Based on the ERR model was defined as the linear model with effect modification: $\lambda_{0(c,s,b,d)}$
^b Non-neoplastic blood diseases were excluded from noncancer diseases.

Sugárhatásra kialakuló daganatok típusa



Nincs sugárhatásra specifikus daganat

Szolid tumor mortalitás az életkor függvényében I: abszolút többlet kockázat alakulása

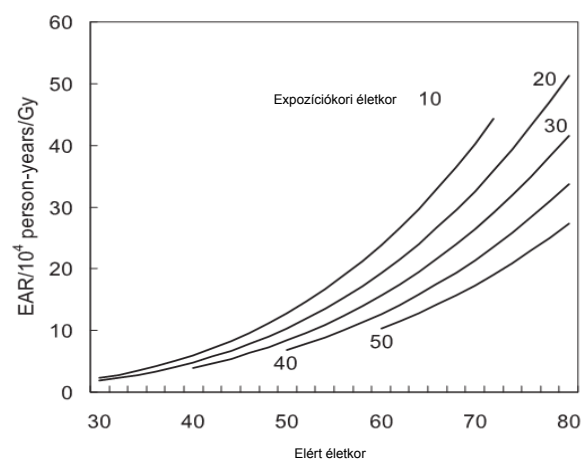


FIG. 3. Modification of the excess absolute risk (EAR) for all solid cancer by age at exposure and attained age.

Szolid tumor mortalitás az életkor függvényében II: relatív többlet kockázat alakulása

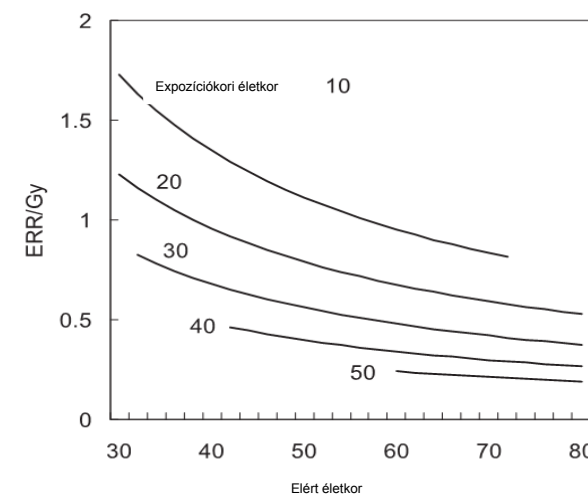
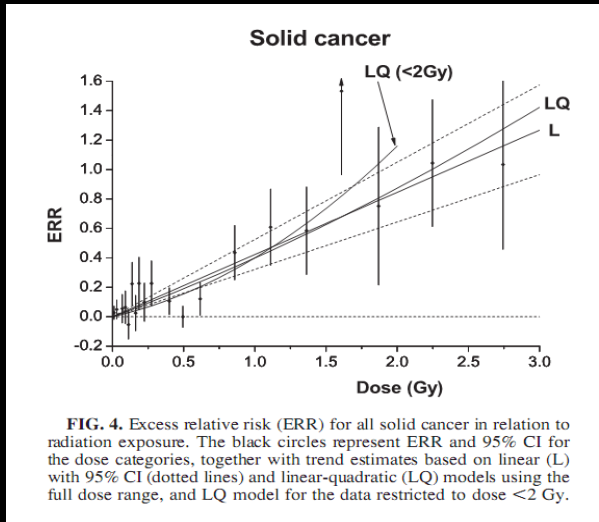


FIG. 2. Modification of the excess relative risk (ERR) for all solid cancer by age at exposure and attained age.

Sugárzás okozta szolid tumoros elhalálozás kockázatának dózis-függése



A küszöbdózis 0 Gy

Kis dózisú ionizáló sugárzás okozta daganatos-elhalálozás kockázatának dózis-függése

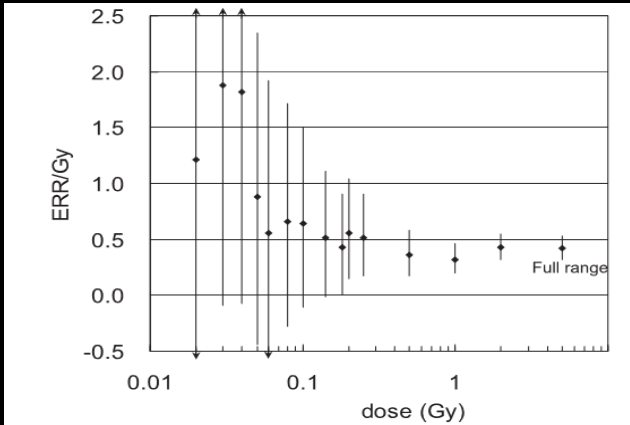
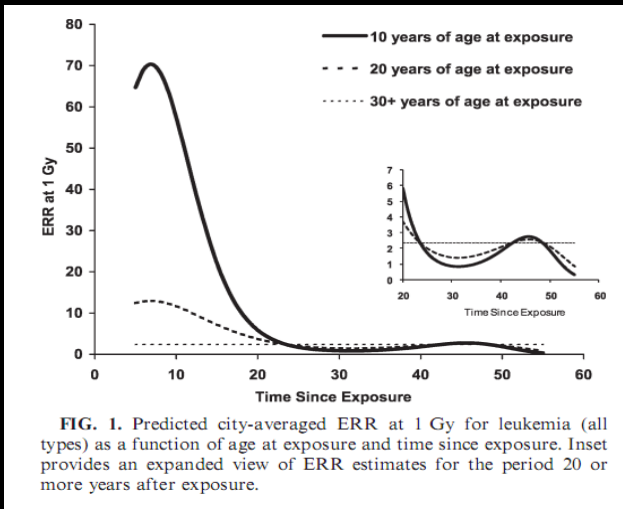


FIG. 5. Excess relative risk per Gy (ERR/Gy) for all solid cancer for selected dose ranges. The figure shows the ERR/Gy and 95% CI for a dose range from zero to a given dose based on the linear model for the full data that allowed for different ERRs below and above the given dose and taking radiation effect modifiers as common to the two dose ranges. The increased ERR/Gy in the low-dose levels less than 0.1 Gy corresponds to the estimates of ERR higher than the expected linear line in Fig. 4.

Leukémia elhalálozás az atomtámadás túlélőiben



Többszörös relatív kockázat (ERR) alakulása az expozíciós korú életkor függvényében

Sugárzás okozta leukémiák számának alakulása az expozíciós korú életkor és a sugár-dózis függvényében

Predicted Number of Background ^a Deaths, Excess Deaths, and the Attributable Fraction of Deaths due to Leukemia of all Types among those Exposed to >0.005 Gy (AF _{0.005}) ^b			
	Leukemia: all types		
	Fitted background	Fitted excess	Sugárzásnak tulajdonítható
Elért életkor (év)			
5-9	0.1	3.9	0.98
10-19	3.0	10.0	0.94
20-29	7.8	14.2	0.80
30-39	12.1	9.9	0.57
40-49	25.2	11.8	0.42
50-59	32.9	11.1	0.41
60-69	55.4	19.6	0.41
70+	70.5	22.5	0.38
Calendar year			
1950-1960	40.1	41.8	0.67
1961-1970	34.9	20.2	0.49
1971-1980	41.3	13.4	0.39
1981-1990	44.9	15.0	0.41
1991-2000	45.7	12.6	0.34
Marrow dose (Gy)			
<0.005	99.1	0.2	— ^c
0.005-0.1	64.8	5.3	0.08
0.1-0.5	28.1	19.5	0.41
0.5-1	8.4	19.5	0.70
1-2	4.8	26.7	0.85
2+	1.7	31.8	0.95
Total	206.9	103.1	0.49

^a Estimates of background and excess cases are based on ERR models shown in Table 3.

^b Attributable fraction among those exposed to >0.005 Gy; AF_{0.005} is the excess number of cases among those exposed to >0.005 Gy divided by the fitted number of cases among those exposed to >0.005 Gy.

^c No value for AF_{0.005} is shown for those exposed to <0.005 Gy.

Nem-daganatos megbetegedések alakulás a hiroshimai és nagaszakii túlélőkben

TABLE 8
Excess Relative Risk (ERR) Estimates per Gy for Noncancer Deaths, 1966–2003

Cause of death	Number of deaths	ERR/Gy ^a	(95% CI ^b)	P
Noncancer disease ^c	25,618	0.13	(0.08, 0.18)	<0.001
Circulatory disease	14,586	0.11	(0.05, 0.18)	<0.001
Respiratory disease	4,190	0.23	(0.11, 0.36)	<0.001
Digestive disease	2,226	0.20	(0.05, 0.38)	0.009
Genitourinary disease	951	0.18	(−0.06, 0.46)	0.15
Infectious disease	781	−0.03	(−0.22, 0.23)	>0.5
Other disease	2,884	0.03	(−0.11, 0.19)	>0.5

^a ERR was estimated using the linear dose model, in which city, sex, age at exposure, and attained age were included in the background rates, but not allowing radiation effect modification by those factors.

^b Confidence interval.

^c Non-neoplastic blood diseases were excluded from noncancer diseases.

Becsült sztochasztikus kockázat

244

RADIOBIOLOGY FOR THE RADIOLOGIST

TABLE 15.5. Risk Estimates for Cancer and Hereditary Effects

Exposed Population	Detriment, 10 ^{−2} 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 = 5×10^{-2} halálos daganat

A csernobili baleset következményei

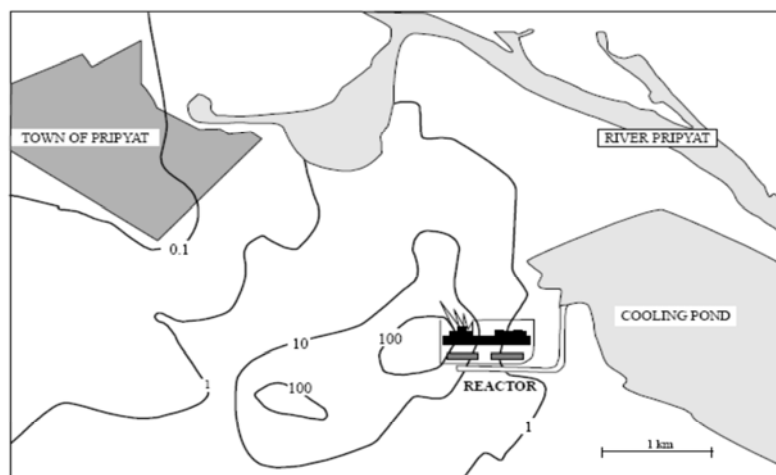


Figure XII. Measured exposure rates in air on 26 April 1986 in the local area of the Chernobyl reactor.
Units of isolines are R h^{−1}.

Akut sugárbetegség a közvetlen elhárítókban

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

Professional group	Accident witnesses	Emergency workers (at 8 a.m. on 26 April 1986)
Staff of the power plant (Units 1, 2, 3 and 4)	176	374 ^a
Construction workers at Units 5 and 6	268	–
Firemen	14 ^a , 10 ^b	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 1057 ember vett részt az elhárítási munkában, vagy tartózkodott a helyszínen.

Akut sugárbetegség a közvetlen elhárítókban

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

Degree of acute radiation sickness	Range of dose (Gy)	Number of patients treated ^a		Number of deaths ^b	Number of survivors
		Moscow	Kiev		
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

^a Acute radiation sickness was not confirmed in a further 103 treated workers.

^b Percentage of treated patients in parentheses.

134 akut sugárbetegség, 28 áldozat

ARS betegek túlélési adatai 2004-ig

Table D7. Causes of death among Chernobyl ARS survivors in the later period [B10, B39, B41, B42, B44, G9, U3]

Number	Name	ARS grade	Year of death	Age (years)	Cause of death
1	P.V.A.	I	1993	41	Sudden cardiac death
2	V.O.E.	I	1995	51	Lung TB
3	K.A.P.	I	1995	53	Post-traumatic fatty embolism
4	S.M.A.	I	1995	26	Sudden cardiac death
5	S.V.G.	I	2002	51	Myelodysplastic syndrome
6	R.G.I.	I	2002	51	Trauma
7	V.M.P.	II	1987	81	Lung gangrene
8	K.Ya.F.	II	1990	68	Sudden cardiac death
9	B.V.I.	II	1995	46	Liver cirrhosis
10	G.M.Yu.	II	1998	45	Liver cirrhosis
11	Sh.V.K.	II	1998	61	Acute myelomonoblastic leukaemia
12	B.V.M.	II	1998	80	Sudden cardiac death
13	M.A.S. ^a	II	1999	61	Stroke
14	T.L.P.	II	2004	53	Lower jaw neurinoma
15	V.M.P.	III	1992	67	Sudden cardiac death
16	B.G.V.	III	1993	52	Myelodysplastic syndrome
17	D.A.S.	III	1995	64	Myelodysplastic syndrome
18	B.I.Z.	III	2001	87	Sudden cardiac death
19	P.A.N.	III	2004	41	Lung TB

A csernobili baleset hosszú távú 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)	530000	117
Evacuees from highly-contaminated zone (1986)	115000	31
Residents of “strict-control” zones (1986–2005)	270 000	>50
Residents of other ‘contaminated’ areas (1986–2005)	6400000	9

Szolid tumor gyakoriság a késői liquidátorok csoportjában

Table D20. Incidence of all solid cancers combined among emergency and recovery operation workers (thyroid cancer excluded)

Standardized incidence ratios, by country and calendar year period

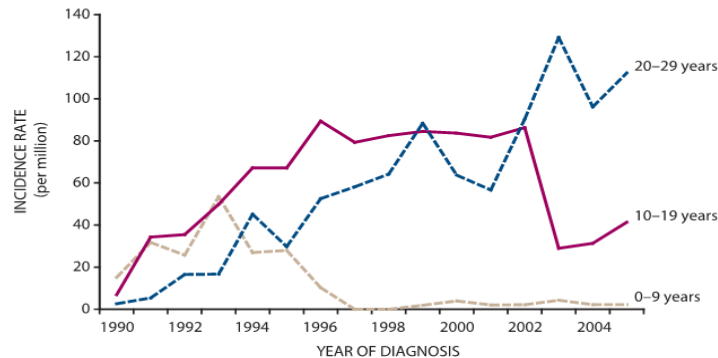
Country/exposed group	Calendar year periods			
Russian Federation [I25, I26]	1991–1995	1996–2000	2001–2005	1991–2005
Emergency and recovery operation workers (males) (95% CI)	1.25 (n = 1 018) (1.17, 1.33)	1.18 (n = 1 461) (1.12, 1.24)	1.10 (n = 1 741) (1.05, 1.15)	1.16 (n = 4 220) (1.12, 1.19)
Ukraine [P16, S18]	1990–2004			
Emergency and recovery operation workers (males) (95% CI)	1.17 (n = 5 396) (1.14, 1.20)			

Pajzsmirigy daganatok a szennyezett területen élőkben: nők

ANNEX D: HEALTH EFFECTS DUE TO RADIATION FROM THE CHERNOBYL ACCIDENT

201

Figure D-VIII. Thyroid cancer incidence rates for different age groups (age at diagnosis) of the total Belarusian female population



Születési rendellenességek gyakorisága a kontaminált területen

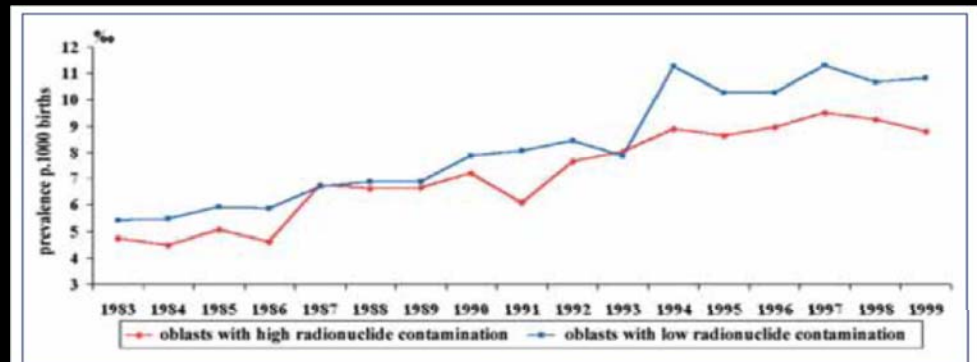


FIG. 4. Prevalence at birth of congenital malformations in 4 oblasts of Belarus with high and low levels of radionuclide contamination (Lasyuk et al., 1999).

A daganatos elhalálozás várható alakulása a csernobili baleset következtében exponált populációknál

ANNEX D: HEALTH EFFECTS DUE TO RADIATION FROM THE CHERNOBYL ACCIDENT

197

Table D24. Predictions of background and excess mortality from solid cancers and leukaemia in populations exposed as a result of the Chernobyl accident (based on reference [C1])

Population	Population size and average dose	Cancer type	Period	Background cancer mortality	Predicted excess cancer mortality	AF ^a (%)
Emergency and recovery operation workers (liquidators), 1986-1987	200 000 100 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 years)	41 500	2 000	5
		Leukaemia	Lifetime (95 years)	800	200	20
			First 10 years	40	150	79
Evacuees from 30-km zone	135 000 10 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 years)	21 500	150	0.7 ^b
		Leukaemia	Lifetime (95 years)	500	10	2
			First 10 years	65	5	7
Residents of SCZs ^c	270 000 50 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 years)	43 500	1 500	3
		Leukaemia	Lifetime (95 years)	1 000	100	9
			First 10 years	130	60	32
Residents of other contaminated areas	6 800 000 7 mSv	Solid cancers	Lifetime (95 years)	800 000	4 600	0.6
		Leukaemia	Lifetime (95 years)	24 000	370	1.5
			First 10 years	3 300	190	5.5

^a AF: attributable fraction = (excess deaths/total death from the same cause) × 100.

^b A misprint has been corrected which appeared in references [C1, W5].

^c Strictly Controlled Zones, i.e. areas with ¹³⁷Cs soil deposition above 555 kBq/m² (15 Ci/km²) in 1986.

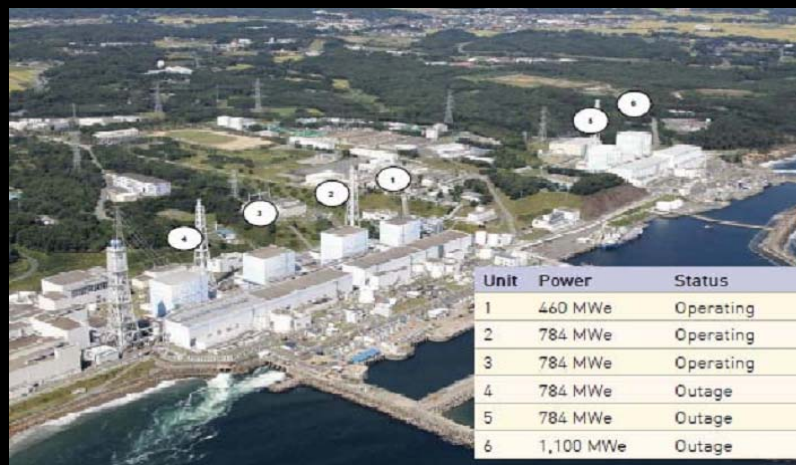
Fukushima reaktorbaleset

- 2011. március 11-én a Japánban valaha előfordult legnagyobb földrengést követően hatalmas cunami érte el Japánt. A vízoszlop magassága a Fukushima reaktoroknál 8-14 m magas volt, az Iwate prefektúra területén a 40 m-t is elérte. A földrengés és cunami következtében 15854-en haltak meg, és 3155 személy tűnt el. Kb. 27000 személy sérült meg.
- A fukusimai erőmű védelmi rendszerét 5,7 m magas vízoszlop visszatartására tervezték.



A földrengés alatti helyzet

- Az erőmű 6 reaktorából az, 1, 2 és 3 működött. Ezeket az automata védelmi rendszer leállította, és bekapcsolta a vészhelyzeti generátorokat, amelyek a hűtővízellátást biztosító pumpákat működtették.
- A cunami a földrengés után 15 perccel érte el az erőművet, amely teljesen a víz alá került, a generátorok működése leállt.
- A hűtés nélkül a leállított reaktorok felmelegedtek és részleges leolvadás alakult ki. A hűtővíz felforrt, hidrogén keletkezett, amely felrobbant. Az 1-4 reaktorok károsodtak, a 2-ben tűz is kiütött. A robbanás következtében radioaktív anyagok (pl. Cs-137, Cs-134, I-131) kerültek a környezetbe.



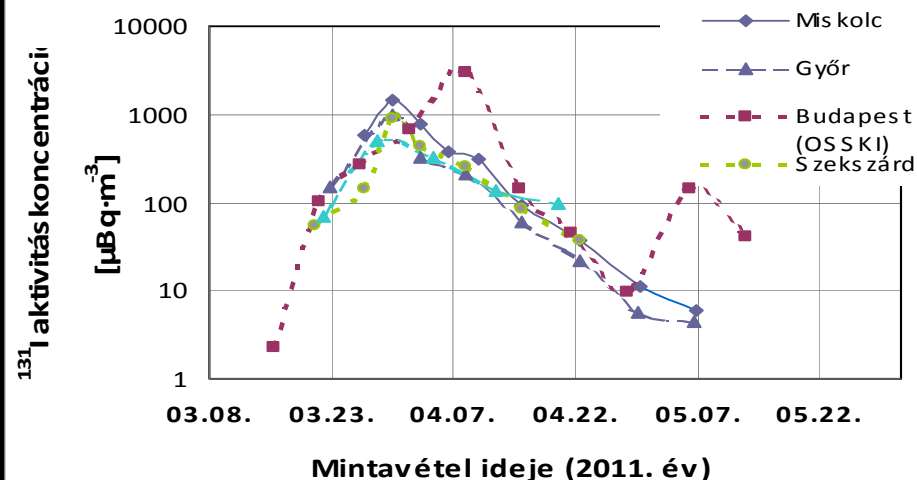
A robbanás utáni helyzet



A radioaktív kontamináció terjedése a levegőben



Aeroszolhoz kötött ^{131}I aktivitáskoncentrációjának időbeli változása Magyarországon

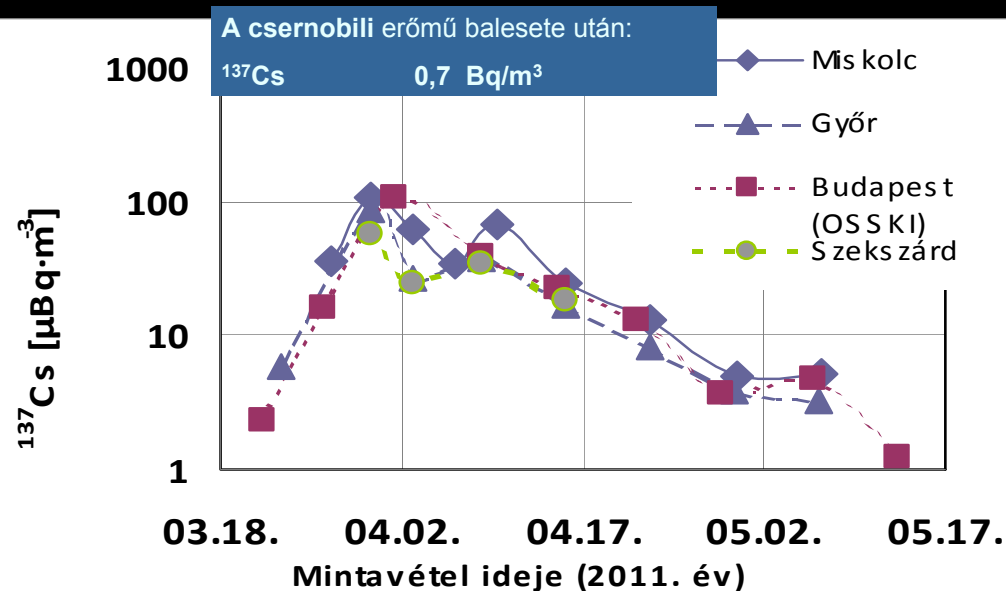


A csernobili erőmű balesete után Budapesten

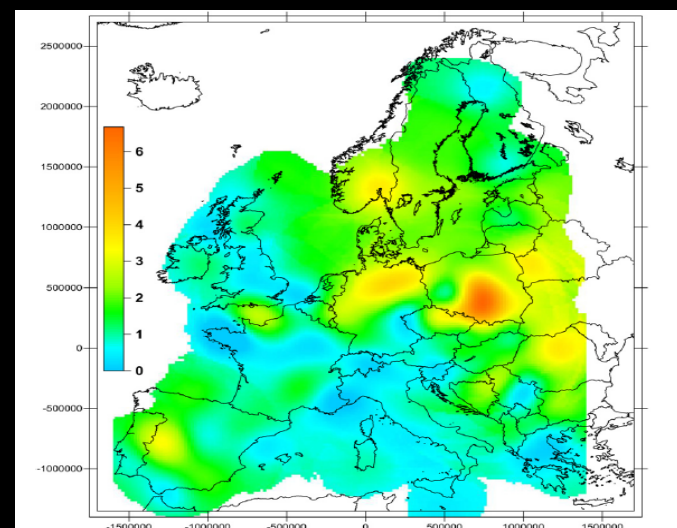
(1986.05.06.)

^{131}I 2,15 Bq·m⁻³

^{137}Cs aktivitáskoncentrációjának időbeli változása aeroszol mintákban Magyarországon



Levegő I-131 kontamináció Európában (mBq/m³)



Intézkedés nem volt szükséges

Korai következmények, elhárító személyzet

Vészhelyzeti dóziskorlát: 100 mSv

Felemelt vészhelyzeti dóziskorlát: 250 mSv

Az elhárító személyzetből ~100 személy kapott >100 mSv-et.

Néhány elhárító 2-3 Sv helyi (láb) dózist kaphatott.

A fukushimai elhárítók által elszenvedett sugárdózisok

Dose (mSv)	March	April	May	June	July	August	September
Greater than 250	6	0	0	0	0	0	0
200-250	2	0	0	0	0	0	0
150-200	13	0	0	0	0	0	0
100-150	77	0	0	0	0	0	0
50-100	309	3	0	0	0	0	0
20-50	859	81	19	16	6	0	7
10-20	1041	310	133	96	69	21	28
Less than 10	1434	3214	2854	1997	2043	1080	1011
Total personnel	3742	3608	3017	2111	2118	1101	1046
Max (mSv)	670.36	69.28	41.61	39.62	31.24	18.27	30.81
Average (mSv)	22.58	3.83	2.85	2.26	1.85	1.46	1.80

Korai következmények, lakosság

Protective Action Recommendations at Fukushima Dai-ichi	
March 11	Evacuation of residents within 3 kilometers (1.9 miles) and shelter-in-place for residents within 10 kilometers (6.2 miles)
March 12	Evacuation of residents within 20 kilometers (12.4 miles)
March 15	Evacuation of residents within 30 kilometers (18.6 miles)
April 11	"Planned Evacuation Areas" and "Evacuation Prepared Area" established in the areas beyond 20 kilometers (12.4 miles)
April 21	Restricted area within 20 kilometers (12.4 miles) established to allow temporary access and exclusion area of 3 kilometers (1.9 miles) established for members of the public

A lakosság részére ~230000 jódtablettát osztottak ki.

Table 4: Estimated external doses to 9747 members of the public from Namie Town, Kawamata Town and Itate Village from 11 March to 11 July 2011

Estimate dose (mSv)	Number of people*
0-1	5636
1-2	2081
2-3	825
3-4	387
4-5	290
5-6	203
6-7	130
7-8	62
8-9	46
9-10	16
10-11	26
11-12	14
12-13	8
13-14	6
14-15	7
>15	10
Total	9747

* Please note the figures apply only to members of the public in the surrounding areas. They do not include radiation workers who lived in the area and worked onsite in this time period.

Rövid távú következmények Japánban

Közvetlen intézkedések

- >50 mSv/év nem engedélyezett a lakosság visszatérése
- 20-50 mSv/év korlátozott tartózkodás
- < 20 mSv/év lakosság visszaköltözhet

Tervezett intézkedések

dekontamináció

A fukusimai reaktorbaleset várható hosszú távú következményei (2013. február 28. WHO jelentés)

- Újszülött fiúk leukémia kockázata várhatóan 7%-al nő, vagyis 10000 újszülött közül 60 helyett 64-ben fog kialakulni leukémia a várható teljes élettartama alatt.
- Újszülött lányok esetében az emlőrák kockázata várhatóan 6%-al nő, vagyis 10000 nő közül 553 helyett 586-ban alakul ki emlőrák.
- A legnagyobb kockázattal a pajzsmirigy daganatok esetében kell számolni. Az újszülött lányok kockázata 70%-al nő, vagyis 10000 személy esetében az eredetileg várható 75 helyett 125 pajzsmirigy daganat fog kialakulni.

Computer tomográf (CT) vizsgálatok kockázata gyerekekben

Követett populáció – ~178000 1985-2002. között CT vizsgálaton átesett nem-daganatos személy

Életkor - <22 év a CT vizsgálat időpontjában

Követési periódus – 1985-2008

Leukémia szám – 74/178604

Agydaganat szám – 135/176587

Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study

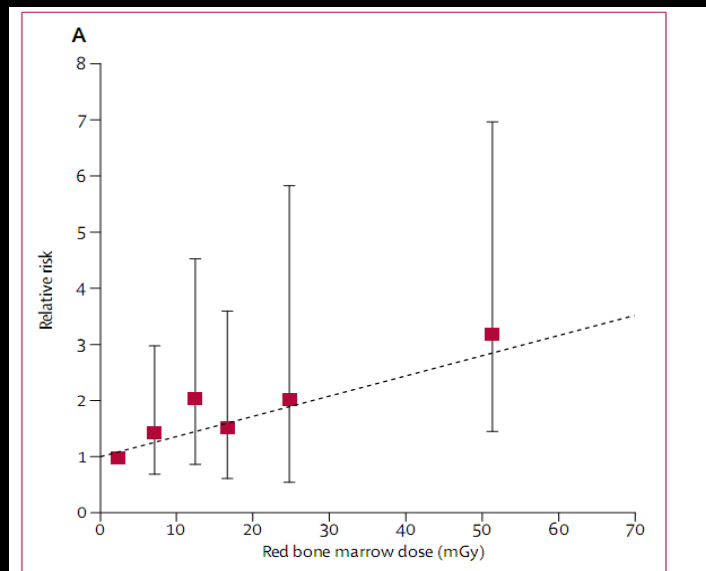
Mark S Pearce, Jane A Scahill, Mark P Little, Kieran M McKnight, Choonsik Lee, Kwang Pyo Kim, Nicole L Howe, Cecile M Ronckers, Pratheek Rajaraman, Si Alan W Croft, Louise Parker, Amy Berrington de Gonzalez

CT vizsgálatonként elszenvedett becsült sugár dózis

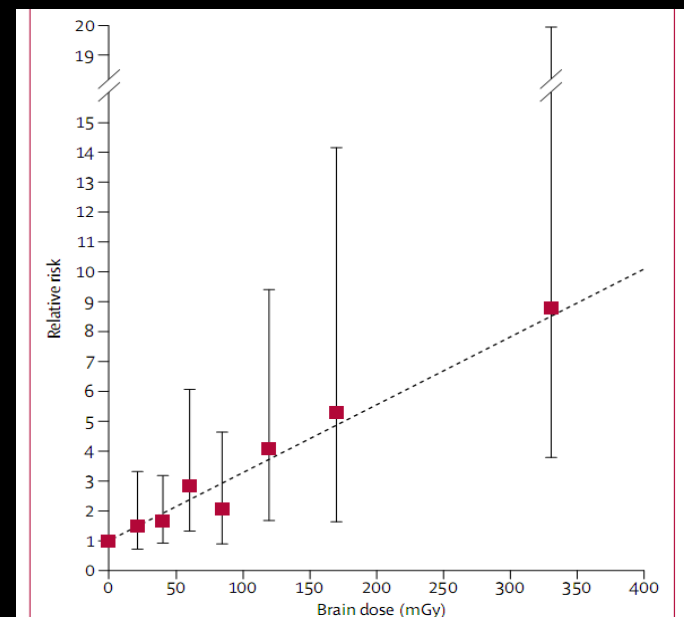
	Male patients		Female patients	
	Brain dose (mGy)	Red bone marrow dose (mGy)	Brain dose (mGy)	Red bone marrow dose (mGy)
Age at brain CT				
0 years	28	8	28	8
5 years	28	9	28	9
10 years	35	6	35	6
15 years	43	4	44	6
20 years	35	2	42	2
Age at chest CT				
0 years	0.4	4	0.4	4
5 years	0.3	3	0.3	3
10 years	0.3	3	0.3	3
15 years	0.2	4	0.3	4
20 years	0.2	4	0.3	4
Age at abdominal CT				
0 years	0.2	3	0.2	3
5 years	0.1	2	0.1	2
10 years	0.1	3	0.1	3
15 years	0.0	3	0.0	3
20 years	0.0	3	0.0	4
Age at extremity CT				
0 years	0.0	1	0.0	1
5 years	0.0	0.2	0.0	0.2
10 years	0.0	0.1	0.0	0.1
15 years	0.0	0.0	0.0	0.0
20 years	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 1: Estimated radiation doses to the brain and red bone marrow from one CT scan, by scan type, sex, and age at scan, as used in this study for scans after 2001.

Leukémiák kialakulásának kockázata a dózis-függvényében



Agydaganatok kialakulásának kockázata a dózis-függvényében

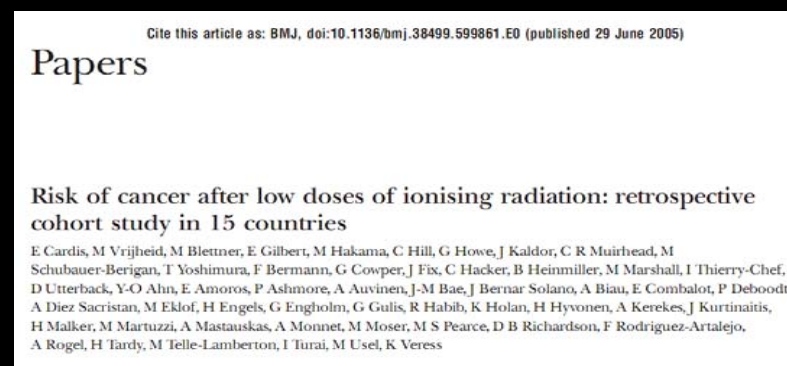


Fiatalokon elvégzett CT vizsgálatok esetén a leukémiák és agydaganatok kialakulásának kockázata dózis függő, az abszolút daganatszámok azonban nem nagyok

EAR leukémia – 0,83/10 év/10000 személy/CT

EAR agytumor - 0,32/10 év/10000 személy/CT

Sugárzás-indukálta daganatos elhalálozás a nukleáris iparban dolgozóknban



Résztvevő országok

Table 1 Cohorts included in the 15 country study

	No of facilities	First year of operations	Follow-up period	No of workers	Person years	Deaths			Collective cumulative dose (Sv)	Average individual cumulative dose (mSv)
						All causes	All cancers excluding leukaemia	Leukaemia excluding CLL		
Australia	1	1959	1972-98	877	12 110	56	17	0	5.4	6.1
Belgium	5	1953	1969-94	5 037	77 246	322	87	3	134.2	26.6
Canada	4	1944	1956-94	38 736	473 880	1 204	400	11	754.3	19.5
Finland	3	1960	1971-97	6 782	90 517	317	33	0	53.2	7.8
France CEA-COGEMA	9	1946	1968-94	14 796	224 370	645	218	7	55.6	3.8
France EDF	22	1956	1968-94	21 510	241 391	371	113	4	340.2	15.8
Hungary	1	1982	1985-98	3 322	40 557	104	39	1	17.0	5.1
Japan	33*	1957	1986-92	83 740	385 521	1 091	413	19	1526.7	18.2
Korea (south)	4	1977	1992-97	7 892	36 227	58	21	0	122.3	15.5
Lithuania	1	1984	1984-2000	4 429	38 458	102	24	1	180.2	40.7
Slovak Republic	1	1973	1973-93	1 590	15 997	35	10	0	29.9	18.8
Spain	10	1968	1970-96	3 633	46 358	68	25	0	92.7	25.5
Sweden	6	1954	1954-96	16 347	220 501	669	190	4	291.8	17.9
Switzerland	4	1957	1969-95	1 785	22 051	66	24	0	111.2	62.3
UK	32	1946	1955-92	87 322	1 370 101	7 983	2201	54	1810.1	20.7
US Hanford	1	1944	1944-86	29 332	678 833	5 564	1279	35	695.4	23.7
US INEL	1	1949	1960-96	25 570	505 236	3 491	886	26	254.6	10.0
US NPP	15	1960	1979-97	49 346	576 682	983	314	19	1336.0	27.1
US ORNL	1	1943	1943-84	5 345	136 673	1 029	225	12	81.1	15.2
Total	154	—	—	407 391	5 192 710	24 158	6519	198	7892.0	19.4

CEA-COGEMA=Commissariat à l'Energie Atomique-Compagnie Générale des Matières Nucléaires; EDF=Electricité de France; NPP=nuclear power plants; INEL=Idaho National Engineering Laboratory; ORNL=Oak Ridge National Laboratory; CLL=chronic lymphocytic leukaemia.

*No information available to allow separation of different facilities.

Dózis megoszlás

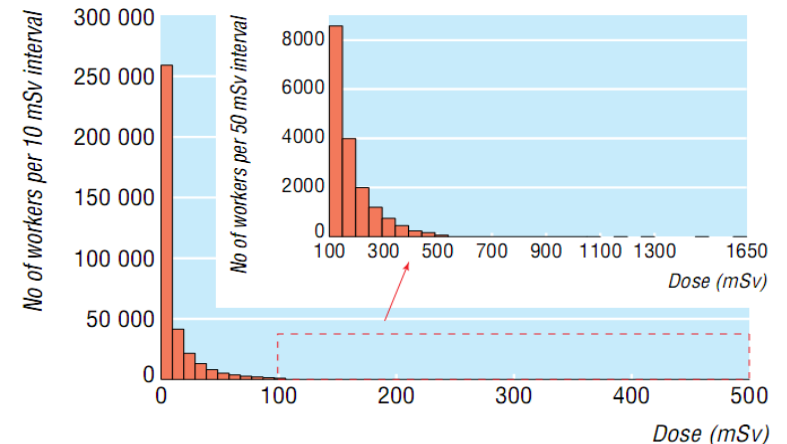


Fig 1 Distribution of cumulative radiation doses among workers included in the analyses

Többlet relatív kockázat per 1 Sv

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*

	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§ to 8.47)	83	3.15¶ (1.58 to 5.67)
Linear quadratic model				1.54** (-1.14 to 5.33)

CLL=chronic lymphocytic leukaemia.

*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^{3, 14} 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.¹⁴

Összes daganat:

Leukémia:

$$ERR/1 \text{ Sv} = 0.97$$

$$ERR/1 \text{ Sv} = 1.93$$

$$RR/100 \text{ mSv} = 1.1$$

$$RR/100 \text{ mSv} = 1.19$$

100 mSv expozíció esetén a szolid tumor halálozások ~6%-át, a leukémiás halálozások ~19%-át okozza a sugárexpozíció. Atomerőművi dolgozóknál a sugár expozíció a daganatok 1-2%-áért felelős.

Sugaras munkahelyek kockázata

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

- Az ionizáló sugárzás általános daganatkeltő ágens.
- Nincs ionizáló sugárzásra specifikus daganat.
- Fiatalon exponálódott személyekben hamar megugrik a leukémiák gyakorisága, majd a megnőtt kockázat eltűnik.
- Az ionizáló sugárzás okozta szolid tumorok abszolút száma nő az idővel.
- Az ionizáló sugárzás nem-daganatos betegségeket is okozhat.

Köszönöm a figyelmüket!