

Title	遠隔放射線治療による国民線量の推定 第3報 がんの有意線量とリスク
Author(s)	橋詰, 雅; 松沢, 秀夫; 丸山, 隆司 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1981, 41(2), p. 158-167
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18639
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

遠隔放射線治療による国民線量の推定

第3報 がんの有意線量とリスク

放射線医学総合研究所物理研究部

橋詰 雅 松沢 秀夫 丸山 隆司
河内 清光 野田 豊 白貝 彰宏

臨床研究部

館 野 之 男

(昭和55年8月1日受付)

(昭和55年9月17日最終原稿受付)

Population Doses from Beam-therapy in Japan, 1978

Part 3. Estimation of Malignancy Significant Dose and Fatal Malignant Risk

Tadashi Hashizume*, Hideo Matsuzawa*, Takashi Maruyama*,
Kiyomitsu Kawachi*, Yutaka Noda*, Akihiro Shiragai*
and Yukio Tateno**Division of Physics* and Clinical Research**, National Institute of Radiological Sciences, 9-1,
Anagawa-4-chome Chiba-shi 260, Japan

Research Code No.: 302

Key Words: Risk estimates, Population dose, Beam therapy, malignant diseases

As a series of estimations of population doses and of risk estimates from medical exposures in Japan, the malignancy significant dose (MSD) and the fatal malignant risk from beam therapy were estimated based on a nationwide survey of radiotherapeutic treatments, using a malignancy significant factor and a weighting factor determined from the data on the cancer mortality among the atomic bomb survivors in Nagasaki. The effective dose was defined as a sum of the product of the weighting factor and the organ or tissue doses with respect to the malignant diseases. The organ or tissue doses were determined with ionization chambers placed at the positions of their center in a MixDp-phantom simulated lung tissues by a block of cork, using a telecobalt unit, a conventional X-ray unit and a medical linear accelerator. The organ or tissue doses were categorized into three dose components; namely 1) dose from useful beams; 2) scattered radiation dose from irradiated materials and 3) leakage radiation dose through structures of the units. The effective doses were separately determined for the organs or tissues in the useful beams and out of the beams.

The resultant MSD was 1 mrad (0.01 mGy) $p^{-1}y^{-6}$ (p:person;y:year) for male and 3.3 mrad (0.033 mGy) $p^{-1}y^{-1}$ for female, with a total 4.3mrad(0.043mGy) $p^{-1}y^{-1}$. The malignant risk from the beam therapy was estimated to be $0.53 \times 10^{-6}y^{-1}p^{-1}$ for the organs or tissues irradiated with the useful beams

and $0.17 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ for the organs or tissues out of the beams, with a total of $0.70 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$. Consequently, the population fatal malignant risk were estimated to be about 82 persons per year for the whole population in Japan.

1. 緒言

著者らは1978年、遠隔放射線治療の全国調査を行い、年間の患者数および治療照射回数を第1報¹⁾に、遺伝有意線量 (GSD) と白血病有意線量 (LSD) とを第2報²⁾に報告した。これらにより前回 (1971年) の調査結果との比較が可能となったし、日本における遠隔放射線治療による遺伝的リスクと患者の白血病に対するリスクを推定するための基礎資料が得られた。

しかし、放射線による確率的影響のリスクは単に遺伝的のものと白血病に限らず、被曝後の年数の経過につれて悪性腫瘍 (白血病を除く) の発生が次第に増加することが、広島・長崎の被曝者の調査などから明確になっており³⁾、これをどう評価すべきかの問題が残っていた。

悪性腫瘍 (以後、がんという) のリスクに関しては国連科学委員会 (UNSCEAR) や国際放射線防護委員会 (ICRP) でも関心を持ちはじめしており、1977年に出版された ICRP-26⁴⁾ ではがんの対象となる臓器・組織の線量当量に、臓器・組織別の放射線に対するリスクから求めた「荷重係数」を乗じて加え合わせた「実効線量当量」を求めることを提案している。

医療被曝の評価には低 LET 放射線の外部照射のデータが適当であるとの考えから、本研究では、ICRP の荷重係数とは別に、長崎の原爆被曝者の臓器・組織別のガンの超過死亡率から推定した荷重係数⁵⁾を用いて「実効線量」を算出し、これにすでに提案した年齢による致死的がんの発生の相違を考慮した「がん有意因子」⁶⁾を乗じて、遠隔放射線治療によるがん有意線量 (MSD) およびがんのリスクを推定した。

2. がん有意線量およびがんのリスク

GSD や LSD と同様、MSD の推定には (1) 線量効果関係は直線で与えられ、(2) 線量と効果は蓄積されると仮定した。MSD は次式で定義

される⁷⁾。

$$\text{MSD} = \frac{\sum_j \sum_k (N_{jk}^{(F)} \cdot M_{jk}^{(F)} \cdot d_{jk}^{(F)} + N_{jk}^{(M)} \cdot M_{jk}^{(M)} \cdot d_{jk}^{(M)})}{\sum_k (N_k^{(F)} + N_k^{(M)})} \quad (1)$$

ここで、

N_{jk} : k 年齢層の患者で j 部位の治療照射回数、

N_k : k 年齢層の人口、

M_{jk} : j 部位の照射を受けた k 年齢層の患者のがん有意因子、

d_{jk} : j 部位の照射を受けた k 年齢層の患者の実効線量。

(F) および (M) はそれぞれ女性および男性を表わす。

一方、致死的がんのリスクは長崎の原爆被曝者のがんによる超過死亡率を用いて推定した致死的がんのリスク係数⁵⁾ ($165 \times 10^{-6} \text{rad}^{-1}$) を、(1) 式で算出した MSD に乗じ、さらに集団の人口 (N) を乗じて算出される。定式化すればがんのリスク mR は次式で与えられる。

$$mR = 165 \times 10^{-6} (\text{MSD}) \cdot N \quad (2)$$

3. 実効線量

MSD の推定における基本量の一つは (1) 式から明らかなる如く実効線量である。この線量は ICRP-26⁴⁾ と同様の考え方により次式で求めることができる。ある年齢層の患者のある部位の治療による実効線量を d とすれば、

$$d = \sum_T W_T \cdot D_T \quad (3)$$

ここで、 W_T は臓器・組織 T の照射に起因するがんのリスクのすべてのがんのリスクに対する割合を表わす荷重係数で、日本人の場合にはすでに報告⁵⁾した如く Table 1 の値を用いる。 D_T はある部位の治療を受けたときの臓器・組織 T の線量である。臓器・組織 T が治療の照射野内にあるときは、利用線から線量を与えられるが、照射野外にあるときは発生装置あるいは照射装置からの漏洩線および人体などでの散乱線により線量を受け

Table 1. Weighting factor (W_T).

Organ	Risk factor (10 ⁻⁶)	W _T
Lung	32	0.2
Stomach	50	0.3
Large Bowel	10	0.06
Other Digestive	23	0.14
Bladder & Urinary	15	0.08
Lymphatic Tissue	13	0.08
Thyroid	2	0.02
Breast	(20)	(0.12)
Total	165	1.00

The figures in parentheses are used only for female.

る。漏洩線および散乱線による臓器・組織線量をそれぞれ、L_T および S_T (利用線の照射野 1cm² あたりの散乱線量である) とし、ファントム実験で得た照射野 10×10cm と 5×5cm としたときの照射野外にある臓器・組織線量をそれぞれ、₁₀D_T および ₅D_T とし、次式から S_T および L_T を求めた。

$$S_T = (\sub{10}D_T - \sub{5}D_T) / 75 \tag{4}$$

$$L_T = \sub{10}D_T - 100S_T \tag{5}$$

ファントム実験は第2報²⁾と同様、ML-15M II 型直線加速器 (三菱電機製)、⁶⁰CoRTGS-2DM (島津製作所製)、信愛 250kV X線装置 (島津製作所製) および KXO-12 診断用 X線装置 (東京芝浦電気製) を用い、Mix Dp ファントムに挿入した電離箱で線量を測定した。がんの対象となる臓器・組織の位置は CT による人体の連続断面図⁸⁾ を用いて決めた。放射線治療における照射部位は Fig. 1 に示した皮膚面区分図により、例えば、腹背方向で左肺を照射すれば照射部位を 4—4 で表わした。

Table 1 に示された臓器・組織について、ファントム実験の結果と(4)および(5)式とから、利用線束による線量 M_T、散乱線による線量 S_T および漏洩線による線量 L_T を算出し、さらに (3)式に従い Table 1 に与えた荷重係数と線量との積和から実効線量を求めた。Table 2 および 3 はそれぞれ男性および女性に対する皮膚線量 (高エネルギー放射線ではピーク吸収線量) 1 rad あたりの実効

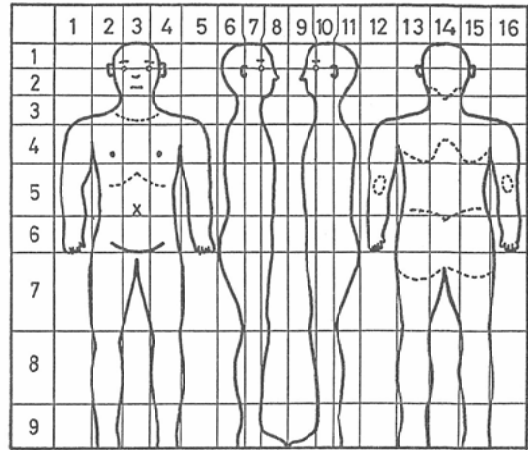


Fig. 1. Grid reference system for defining irradiated position.

線量を線源別に示す。利用線束および散乱線による線量は照射野 1cm² あたりの値で示してある。

4. がん有意線量とリスクの推定

(1) がん有意因子

広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査結果⁹⁾は、がんによる死亡が被爆後10数年ごろから増加しはじめ、35年を経過した現在でも未だ持続していることを示している。放射線による致死性がんの潜伏期が長いことを考えると、高齢の人では余命が短いため、若年者に比べて放射線によるがんの致死率は低下することになる。

余命が十分に長い人 (有意因子が無視できる程度の年齢まで生きている人) のがんの致死率を 1 としたがんの有意因子はすでに報告した⁹⁾ ように、被曝時年齢の関数として Table 4 の如く与えられている。

(2) がん有意線量 (MSD)

遠隔放射線治療による MSD を (1)式から推定した。N_{jk} は第1報¹⁾に年齢別、照射部位別の年間治療照射回数で与えられており、M_{jk} は Table 4 に示した値を用いた。Table 2 と 3 に成人男女の実効線量を示してあるが、子供については照射部位からがんに関する臓器・組織 (標的臓器という) までの距離を標準の座高⁹⁾の比で補正し、成人のデータから推定した実効線量を用いた。 (1)

Table 2. Effective dose per 1 rad at the peak absorbed dose due to useful beam (M), scattered (S) and leakage (L) radiations for male.

Irradiated* positions	⁶⁰ Co			He X			Conv X			He E			Su X		
	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
1-3	250	34	9	299	53	5	38	19	10	220	—	2	11	5	1
2, 4	229	34	8	275	53	5	30	19	9	193	—	2	8	5	1
7, 10	133	34	5	192	53	3	32	19	7	170	—	2	4	5	1
14	220	34	7	266	53	4	33	19	9	197	—	2	8	5	1
13, 15	204	34	7	251	53	4	28	19	8	172	—	2	6	5	6
2-3	332	93	21	304	119	6	67	68	25	424	—	4	12	26	5
2, 4	434	150	15	286	184	6	53	120	20	371	20	3	11	64	4
7, 10	176	212	11	196	253	4	45	183	18	326	155	2	6	116	2
14	291	93	18	270	119	5	60	68	22	380	—	3	9	26	5
13, 15	271	150	17	251	184	5	51	120	19	332	20	—	7	64	3
3-3	566	169	54	339	192	21	148	157	41	106	175	7	20	116	2
2, 4	487	140	47	322	160	20	123	102	33	930	—	5	19	60	11
6, 7, 10, 11	300	150	29	217	184	15	127	120	32	814	20	5	10	64	7
14	496	169	47	301	192	18	130	157	36	955	175	5	16	116	14
13, 15	464	140	47	311	160	19	110	102	30	833	—	4	12	60	9
4-3	1162	34	99	449	53	26	283	19	120	1500	—	15	33	5	22
2, 4	1004	279	85	421	356	22	235	205	131	1314	—	4	32	77	19
6, 7, 10, 11	617	103	65	289	159	19	199	56	104	1026	—	9	24	16	11
14	1023	34	83	398	53	25	250	19	119	1346	—	12	28	5	17
13, 15	816	279	64	376	356	21	212	205	99	1198	—	10	26	77	15
1, 5, 12, 16	496	—	16	341	—	7	126	—	29	423	—	4	1	—	1
5-3	1308	683	157	447	1060	96	569	374	265	2205	—	20	55	103	25
2, 4	1171	34	131	396	53	52	372	19	185	1763	—	15	46	80	19
6, 7, 10, 11	673	870	76	218	1470	60	254	406	125	1600	—	9	22	270	12
14	1179	683	142	444	1060	93	463	374	245	2057	—	17	42	103	19
13, 15	1070	34	119	376	53	47	353	19	175	1644	—	14	33	80	15
1, 5, 12, 16	556	—	18	198	—	10	220	—	19	621	—	5	3	—	2
6-3	1449	203	125	457	343	78	396	95	214	1699	—	17	46	18	32
2, 4	1147	190	93	388	330	52	309	81	186	1538	—	12	29	18	19
6, 7, 10, 11	744	513	55	221	793	60	171	280	103	1089	—	9	17	77	47
14	1306	203	104	438	343	89	376	95	203	1634	—	15	43	18	30
13, 15	1034	190	108	360	330	39	294	81	158	1483	—	11	27	18	22
1, 5, 12, 16	581	—	192	194	—	9	178	—	32	478	—	4	2	—	1
7-3	673	232	58	274	297	36	285	172	136	1038	—	9	3	65	23
2, 4	419	—	46	267	—	21	161	—	97	936	—	8	4	—	24
7, 10	344	—	30	145	—	16	144	—	46	666	—	6	4	—	21
14	607	232	52	295	297	31	258	172	128	1000	—	9	2	65	21
14, 15	380	—	42	235	—	26	143	—	96	910	—	8	2	—	18
8-2, 4, 13, 15	96	—	1	60	—	1	46	—	3	130	—	—	—	—	—
7, 10	15	—	—	10	—	—	12	—	1	22	—	—	—	—	—
9-2, 4, 13, 15	43	—	1	60	—	1	44	—	3	130	—	—	—	—	—
7, 10	7	—	—	8	—	—	7	—	1	20	—	—	—	—	—

L: $\mu\text{rad rad}^{-1}$, M and S: $\mu\text{rad cm}^{-2} \text{rad}^{-1}$

⁶⁰Co; Cobalt gamma-rays, He X; High energy X-rays, Conv X; Conventional X-rays, He E; High energy electrons, Su X; Superficial X-rays

* see Fig. 1.

Table 3. Effective dose per 1 rad at the peak absorbed dose due to useful beam (M), scattered (S) and leakage (L) radiations for female.

Irradiated positions*	⁶⁰ Co			He X			Conv X			He E			Su X		
	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
1— 3	323	37	11	345	58	6	48	22	10	288	—	2	9	6	1
2, 4	297	37	10	318	58	5	31	22	9	242	—	2	7	6	1
7, 10	166	37	6	220	58	4	32	22	7	210	—	2	5	6	1
14	282	37	9	308	58	5	43	22	9	242	—	2	7	6	1
13, 15	269	37	9	285	58	4	36	22	8	213	—	2	5	6	6
2— 3	421	100	25	375	131	7	81	79	25	523	—	4	17	33	5
2, 4	326	162	19	343	202	6	66	140	20	450	28	3	15	80	4
7, 10	216	229	14	230	278	5	51	212	18	390	217	2	9	145	2
14	368	100	22	319	130	6	72	79	22	460	—	3	13	33	5
13, 15	342	162	20	292	202	5	63	140	19	399	20	3	10	30	3
3— 3	756	183	68	440	211	23	190	182	41	1282	245	7	28	145	15
2, 4	650	151	61	396	176	25	160	118	33	1108	—	5	27	75	11
6, 7, 10, 11	380	162	35	280	202	22	157	140	32	937	28	5	15	80	7
14	671	183	61	360	211	21	167	182	36	1121	245	5	22	147	14
13, 15	611	151	78	364	176	21	138	118	30	980	—	4	17	75	9
4— 3	1489	37	138	551	58	32	367	22	120	1993	—	15	56	6	22
2, 4	1280	391	121	505	502	26	293	318	131	1711	120	12	58	205	19
6, 7, 10, 11	760	111	84	340	175	30	245	65	104	1410	—	9	38	20	11
14	1320	37	119	467	58	31	303	22	119	1692	—	12	40	6	17
13, 15	1072	301	90	429	392	24	260	238	99	1480	—	10	42	96	15
1, 5, 12, 16	617	—	21	411	—	8	155	—	29	545	—	4	2	—	1
5— 3	1654	737	208	569	1166	961	605	434	269	2878	—	20	96	129	25
2, 4	1489	37	171	472	58	52	441	22	185	2173	—	15	64	100	19
6, 7, 10, 11	893	940	104	254	1617	60	260	470	125	1288	—	9	31	338	12
14	1500	738	183	512	1166	93	546	434	245	2512	—	17	60	129	19
13, 15	1305	37	156	431	58	47	413	22	175	2032	—	14	47	100	15
1, 5, 12, 16	638	—	24	226	—	10	255	—	19	782	—	5	4	—	2
6— 3	1801	220	151	527	377	87	467	110	214	2019	—	17	65	23	32
2, 4	1440	205	113	451	363	52	363	94	186	1814	—	12	41	23	19
6, 7, 10, 11	955	554	67	258	872	60	201	325	103	1275	—	9	32	96	11
14	1630	220	126	505	377	89	436	110	203	1916	—	15	61	23	30
13, 15	1303	205	131	413	363	39	339	94	160	1743	—	11	38	23	22
1, 5, 12, 16	718	—	24	221	—	9	205	—	32	562	—	4	3	—	1
7— 3	825	250	71	342	327	37	328	200	136	1224	—	9	57	81	23
2, 4	156	—	56	320	—	23	19	—	98	110	—	8	4	—	24
7, 10	129	—	37	183	—	18	17	—	46	78	—	6	5	—	21
14	222	250	62	332	327	34	30	200	122	117	—	9	5	81	21
13, 15	138	—	52	271	—	29	17	—	96	106	—	8	3	—	13
8— 2, 4, 13, 15	115	—	1	72	—	1	55	—	4	152	—	1	1	—	1
7, 10	18	—	—	12	—	—	15	—	1	31	—	—	—	—	—
9— 2, 4, 13, 15	52	—	1	70	—	1	53	—	3	150	—	—	—	—	—
7, 10	8	—	—	8	—	—	8	—	1	20	—	—	—	—	—

L: $\mu\text{ran rad}^{-1}$; M and S: $\mu\text{rad cm}^{-2} \text{rad}^{-1}$ ⁶⁰Co; Cobalt gamma-rays, He X: High energy X-rays, Conv X; Conventional X-rays, He E; High energy electrons, Su X; Superficial X-rays

* see Fig. 1.

Table 4. Malignancy significant factor (MSF) by age group and sex.

Age		MSF	Age		MSF
Male	Female		Male	Female	
—	0—4	0.94	35—39	40—44	0.45
0—4	5—9	0.93	40—44	44—49	0.34
5—9	10—14	0.91	50—54	50—54	0.26
10—14	15—19	0.87	55—59	60—64	0.18
15—19	20—24	0.82	60—64	65—69	0.10
20—24	25—29	0.74	65—69	70—74	0.05
25—29	30—34	0.65	70—74	75—79	0.02
30—34	35—39	0.54	75—	80—	0.004

式の d_{jk} は、(a) 標的臓器が治療の対象であるか、対象でなくても利用線束に照射される場合 (d'_{jk}) および (b) 標的臓器が利用線束に照射されない場合 (d''_{jk}) にわけられる。すなわち、

$$d'_{jk} = \{L + (M + S) f\} \cdot D_p \quad (6)$$

$$d''_{jk} = (L + Sf) \cdot D_p \quad (7)$$

ここで、 D_p は治療時の表面線量で、高エネルギー放射線ではピーク吸収線量であり、 f は照射野の面積である。

(6) および (7) 式に Table 2 および 3 の値を

代入して d'_{jk} および d''_{jk} を算出した。

Table 5 および 6 に利用線束に照射された臓器・組織を含めた場合の実効線量 (d'_{jk}) で計算したがん有意線量を、また Table 7 および 8 は利用線束中の臓器・組織を除いた場合の d''_{jk} で計算したがん有意線量を示す。参考のため、Table 5 および 7 の右欄に平均骨髓線量 (CMD) に相当する国民 1 人あたりの平均実効線量 (MD) を示す。

(3) がんのリスク

遠隔放射線治療によるがん有意線量は利用線束に照射された臓器・組織を含めた場合、男性で $1\text{mrad} \cdot \text{p}^{-1}\text{y}^{-1}$ (p : 人, y : 年), 女性で $3.3\text{mrad} \cdot \text{p}^{-1}\text{y}^{-1}$ となり、利用線束に照射された臓器・組織を除外した場合、男性で $0.2\text{mrad} \cdot \text{p}^{-1}\text{y}^{-1}$ 女性で $0.9\text{mrad} \cdot \text{p}^{-1}\text{y}^{-1}$ となる。日本の人口は 1.16×10^8 人であるから、がんのリスク mR は (2) 式により、

$$mR = 165 \times 10^{-6} \times (1 + 3.3) \times 10^{-3} \times 1.16 \times 10^8 = 82\text{y}^{-1}$$

あるいは

Table 5. Malignancy significant dose classified by sex, age-group and type of radiations used for radiotherapy* (m. rad person⁻¹ year⁻¹)

Source	Age	MSD*							MD**						
		0—14	15—29	30—44	45—59	60—74	75—	Total	0—14	15—29	30—44	45—59	60—74	75—	Total
Male	Co- γ	0.04	0.11	0.20	0.13	0.01	—	0.49	0.84	0.71	1.99	4.87	6.36	1.63	16.4
	SF-X	0	—	0	—	0	0	—	0	—	0	—	0	0	—
	Conv. X	0	0	—	—	0	0	—	0	0	—	0.03	0.01	—	0.04
	He-X	0.08	0.11	0.17	0.1	0.01	0	0.46	0.76	0.83	1.89	3.85	6.66	1.77	15.8
	He-E	—	—	—	—	—	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.13	0.05	0.35
	Sub T.	0.12	0.22	0.37	0.23	0.02	—	0.96	1.63	1.55	3.89	8.89	13.16	3.45	32.6
Female	Co- γ	0.04	0.08	0.89	0.77	0.14	0	1.92	0.54	0.54	6.67	13.2	13.3	3.50	37.7
	SF-X	—	0	—	—	—	0	—	—	0	—	0.01	—	0	0.01
	Conv. X	0	0	0.01	0.01	—	0	0.02	0	0	0.13	0.17	0.13	0.10	0.53
	He-X	0.17	0.16	0.37	0.49	0.09	0	1.26	1.53	1.11	3.13	10.0	9.00	2.29	27.1
	He-E	—	0.01	0.02	0.01	—	0	0.04	0.01	0.04	0.12	0.20	0.10	0.04	0.51
	Sub T.	0.21	0.25	1.29	1.28	0.23	0	3.26	2.08	1.69	10.05	23.6	22.5	5.93	65.9
Total		0.33	0.47	1.66	1.51	0.25	—	4.22	3.71	3.24	13.90	32.5	35.7	9.4	98.5

MSD*: Malignancy significant dose; MD**: per Caput mean effective dose

Table 6. Malignancy significant dose classified by sex, type of disease and type of radiations used for radiotherapy. m·rad person⁻¹ year⁻¹

Source		malignant*								non malignant	Total
		B	C	D	E	F	G	H	Sub T.		
Male	Co-γ	0.02	0.02	0.04	0.01	0.27	0.08	0.05	0.49	0.006	0.49
	SF-X	0	0	0	—	0	0	0	—	—	—
	Conv. X	0	0	0	—	—	0	—	—	—	—
	He-X	0.03	0.02	0.04	0.02	0.17	0.11	0.07	0.46	—	0.46
	He-E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01
	Sub T.	0.05	0.04	0.08	0.03	0.44	0.19	0.12	0.95	0.006	0.96
Female	Co-γ	0.01	0.01	0.02	0.81	0.83	0.05	0.09	1.82	0.1	1.92
	SF-X	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—
	Conv. X	0	0	0	—	0.01	0	—	0.01	0.01	0.02
	He-X	0.01	0.04	0.02	0.36	0.36	0.15	0.07	1.28	—	1.28
	He-E	—	—	—	0.02	—	—	—	0.03	0.01	0.04
	Sub T.	0.02	0.05	0.04	0.20	1.47	0.20	0.16	3.14	0.12	3.26
Total		0.07	0.09	0.12	1.23	1.91	0.39	0.28	4.09	0.13	3.22

* B: M.N. (Malignant neoplasm) of buccal cavity and pharynx.

C: M.N. of digestive organs and peritoneum

D: M.N. of respiratory system

E: M.N. of bone, connective tissue skin and breast.

F: M.F. of genito-urinary organs

G: Neoplasms of lymphatic and haematopoietic tissue.

H: M.N. of other and unspecified sites.

Table 7. Malignancy significant dose classified by sex, age-group and type of radiations used for radiotherapy (except main beam). m·rad person⁻¹ year⁻¹

Source		Age	MSD*						MD**						
			0-14	15-29	30-44	45-59	60-74	75-	Total	0-14	15-29	30-44	45-59	60-74	75-
Male	Co-γ	0.01	0.03	0.05	0.04	—	0	0.13	0.19	0.21	0.52	1.42	2.01	0.56	4.91
	SF-X	0	—	0	0	0	0	—	0	—	0	—	0	0	—
	Conv. X	0	0	—	—	0	0	—	0	0	—	0.01	—	—	0.01
	He-X	0.01	0.02	0.02	0.01	—	0	0.06	0.15	0.11	0.24	0.50	0.79	0.23	2.02
	He-E	—	—	—	—	—	0	—	0.01	0.01	—	0.03	0.03	0.01	0.09
	Sub T.	0.02	0.05	0.07	0.05	—	0	0.19	0.35	0.33	0.76	1.96	2.83	0.80	7.03
Female	Co-γ	0.01	0.02	0.29	0.27	0.06	0	0.65	0.14	0.18	2.54	5.12	5.27	1.36	14.61
	SF-X	—	0	—	0	—	0	—	—	0	—	—	—	0	—
	Conv. X	0	0	0.01	—	—	0	0.01	0	0	0.08	0.10	0.05	0.05	0.28
	He-X	0.01	0.02	0.05	0.07	0.02	0	0.17	0.12	0.13	0.53	1.49	1.59	0.37	4.23
	He-E	0.01	—	0.01	0.01	—	0	0.03	0.01	0.01	0.10	0.13	0.06	0.02	0.33
	Sub T.	0.03	0.04	0.36	0.35	0.08	0	0.86	0.27	0.32	3.25	6.84	6.97	1.80	19.45
Total		0.05	0.09	0.43	0.40	0.08	0	1.05	0.62	0.65	4.01	8.80	9.80	2.60	26.48

MSD*: Malignancy significant dose; MD**: per Caput mean effective dose.

Table 8. Malignancy significant dose classified by sex, type of disease and type of radiations used for radiotherapy (except main beam radiation) m. rad person⁻¹ year⁻¹

Source	malignant*								non malignant	Total	
	B	C	D	E	F	G	H	Sub T.			
Male	Co-T	—	0.01	0.01	—	0.08	0.02	0.01	0.13	—	0.13
	SF-X	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
	Conv. X	0	0	0	—	—	0	—	—	—	—
	He-X	—	0.01	—	—	0.03	0.01	0.01	0.06	—	0.06
	He-E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Sub T.	—	0.02	0.01	—	0.11	0.03	0.02	0.19	—	0.19
Female	Co-γ	—	—	—	0.24	0.34	0.01	0.02	0.61	0.02	0.63
	SF-X	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
	Conv. X	0	0	0	—	0.01	0	—	0.01	—	0.01
	He-X	—	0.01	—	0.03	0.11	0.01	0.01	0.17	—	0.17
	He.E	—	0	—	0.02	—	—	—	0.02	0.01	0.03
	Sub T.	—	0.01	—	0.29	0.46	0.02	0.03	0.81	0.03	0.84
Total	—	0.03	0.01	0.29	0.57	0.05	0.05	1.00	0.03	1.03	

* see footnote Table 6.

$$mR = 165 \times 10^{-6} \times (0.2 + 0.9) \times 10^{-3} \times 1.16 \times 10^8 = 21y^{-1}$$

となる。すなわち、遠隔放射線治療による、利用線束に照射された臓器・組織を含めたがんのリスクは国民全体で82人、含まないがんのリスクは21人である。

5. 考 察

(1) 放射線治療の場合、大部分ががんの治療のために行われているので、放射線治療による身体的確率的影響はあまり問題ではないと思われる。しかし、実際には放射線治療によって治癒に至る人が多くなったことから、治療に用いた放射線によってがんになるリスクも無視できなくなった。がんのリスクは国民全体で、82人が治療した放射線により致死性的がんになることを示している。このうち、61人が利用線により、21人が散乱線や漏洩線によるものである。

(2) 乳がんや子宮がんでは致死性的がんのリスクは60人で、うち44人が利用線束の照射によるものであった。しかし、放射線によるこれらのがんの治癒率は高く、放射線治療により治癒した人はこのリスクの値の約300倍以上である。

(3) X線診断によるがんのリスクは国民全体で825人⁷⁾であったが、遠隔放射線治療によるがんのリスクは82人で、X線診断の場合のほぼ10%であった。

(4) 治療照射回数では、男性は女性の90%近い数¹⁾であったが、がん有意線量では29%しかなかった。これは男性では長期救命の困難な肺がんが多いのに比して、女性では長期延命の容易な子宮がんや乳がんが多いためであると思われる。

(5) 非悪性腫瘍の遠隔放射線治療による致死性的がんのリスクは比較的小さく、10年に1人程度のリスクで無視できるが、女性では毎年2名程度のリスクとなる。利用線束外ではこの1/10程度のリスクと推定される。

(6) 治療患者の年齢分布は Fig. 2 の実線の如く、男女とも45歳以上の患者が非常に多いのに、がん有意線量(破線)は30~44歳が高くなっている。これはがんの有意因子が加齢と共に減少していることによる。

(7) 男性の患者全部(36,100人)が受けるがん有意線量は $11.1 \times 10^4 \text{rad}$ であるので、患者1人あたり約3radとなる。患者個人の受けるリス

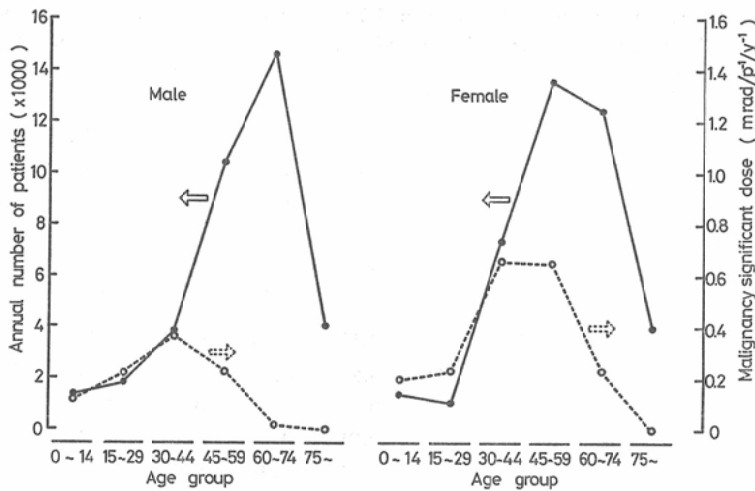


Fig. 2. Annual number of patients treated with beam therapy and components of malignancy significant dose by sex and age group.

クは 5×10^{-4} ($=3.1 \times 165 \times 10^{-6}$) となる。女性の場合は患者1人あたり9radとなり、個人のリスクは 15×10^{-4} となり、男性の約3倍大きい。放射線によってがんを治療した人のうち、男女平均して1,000人に1人が治療した放射線により致死性的がんとなる。そのうち25%は治療した部位以外の被曝によるがんである。また、子宮がんおよび乳がんの治癒患者の0.3%が放射線によって致死性的がんになると推定される。

(8) 遠隔放射線治療による遺伝有意線量および白血病有意線量は第2報²⁾に報告したように、国民1人あたり年あたり、それぞれ $66 \mu\text{rad}$ および 23mrad であった。遺伝的影響および白血病のリスク係数はそれぞれ $185 \times 10^{-6} \text{rad}^{-1}$ および $20 \times 10^{-6} \text{rad}^{-1}$ であった²⁾から、(2)式と同様の考え方で遺伝的および白血病のリスクを求めると、それぞれ 0.012 および $0.46 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ である一方、がんのリスクは $0.003 \times 165 \times 10^{-6} = 0.70 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ となり、他のリスクに比して最も高い値である。

(9) 遠隔放射線治療による遺伝、白血病およびがんのリスクを合計したトータル・リスクは $1.16 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ であった。X線診断によるトータル・リスクはすでに報告⁷⁾したように $11.6 \times$

$10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ であった。従って、遠隔放射線治療のトータル・リスクはX線診断によるその1/10である。

6. 結 論

遠隔放射線治療による日本人のがん有意線量は、国民1人あたり年あたり男性で1mrad (0.01 mGy)、女性で3.3mrad (0.033 mGy)の合計4.3mrad (0.043 mGy)であった。この値からがんのリスクを算出すると $0.70 \times 10^{-6} \text{y}^{-1}$ となる。これらの値は治療部位を含む臓器・組織の実効線量にもとづくものであったが、治療部位を除いた場合にはがんの有意線量およびリスクはそれぞれ1.1mrad (0.011 mGy) および $0.17 \times 10^{-6} \text{y}^{-1}$ であった。この数字から単純に計算すれば国民全体で毎年82人(治療部位の照射による61人を含む)が遠隔放射線療法により致死性的がんになることになる。

非悪性腫瘍の治療による致死性的がんは男性では10年に1人程度のリスクで無視できるが、女性では毎年2名程度のリスクとなる。遠隔放射線治療全体による致死性的がんのリスクは女性の30~59歳が最も高く、全体の約60%を占めている。この大部分は放射線治療による治癒率の高い子宮がんおよび乳がん患者のリスクで、治癒患者の約0.3%が致死性的がんになると推定される。

遠隔放射線治療による遺伝的影響、白血病およびがんのリスクはそれぞれ、0.012, 0.46および $0.70 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ であり、トータル・リスクは $1.16 \times 10^{-6} \text{p}^{-1} \text{y}^{-1}$ であったこれはX線診断によるトータル・リスクの1/10である。

(この研究の一部は昭和55年5月、仙台市で行われた日本医学放射線学会総会の宿題報告で発表された。)

文 献

- 1) 橋詰 雅, 松沢秀夫, 丸山隆司, 河内清光, 箱野之男: 遠隔放射線治療による国民線量の推定, 第1報. 治療照射回数, 照射門数, 患者数について. 日本医放会誌, 40: 52—61, 1980
- 2) 橋詰 雅, 松沢秀夫, 丸山隆司, 河内清光, 白見彰宏, 野田 豊, 箱野之男: 遠隔放射線治療による国民線量の推定, 第2報. 遺伝有意線量, 平均骨髄線量および白血病有意線量. 日本医放会誌, 40: 466—474, 1980
- 3) Kato, H. and Schull, G.J.: Life Span Study. Report 9, Cancer Mortality Among Atomic Bomb Survivors, 1950—1979, Technical Report RERF TR 1980
- 4) ICRP Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 26, Pergamon Press, Oxford, 1977
- 5) 橋詰 雅, 丸山隆司: 医療被曝のリスク推定方法について. 日本医放会誌 40, 1175—1182, 1980
- 6) 橋詰 雅, 丸山隆司, 箱野之男: がん有意因子について. 日本医放会誌 40, 815—822, 1980
- 7) 橋詰 雅, 丸山隆司, 野田 豊, 岩井一男, 福久健二郎: 診断用X線によるリスクの推定, 第3報. X線診断による国民線量と集団のリスク. 日本医放会誌 41: 132—143, 1981
- 8) Gambarelli, J., Guerinel, G., Chevrot, L. and Mattei, M.: Computed Axial Tomography (Springer Verlag, Berlin-Heidelberg), 1977 (日本語版, 箱野之男, 飯沼 武訳: CT スキャニングによる人体横断面図譜. 丸善, 東京, 1979)
- 9) 厚生省 公衆衛生局 栄養課: 国民栄養の現状, 1978