

Title	核医学診断・治療における件数, 国民線量およびリスクの推定 第2報 臓器・組織線量および実効線量当量の計算
Author(s)	丸山, 隆司; 山口, 寛; 野田, 豊 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1988, 48(12), p. 1536-1543
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16099
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

核医学診断・治療における件数，国民線量およびリスクの推定

第2報 臓器・組織線量および実効線量当量の計算

放射線医学総合研究所物理研究部

丸山 隆司 山口 寛 野田 豊

放射線医学総合研究所技術部

隈 元 芳 一

日本大学歯学部放射線学教室

岩 井 一 男

杏林大学医学部放射線医学教室

西 沢 かな 枝

(昭和63年4月27日受付)

(昭和63年6月20日最終原稿受付)

Estimation of Frequency, Population Doses and Stochastic Risks in Medical Uses of Radiopharmaceuticals in Japan, 1982

2. Determination of Organ or Tissue Doses and Effective Dose Equivalents

Takashi Maruyama, Hiroshi Yamaguchi, Yutaka Noda, Yoshikazu Kumamoto*,
Kazuo Iwai** and Kanae Nishizawa***

*Division of Physics and Technical Services, National Institute of Radiological Sciences

**Department of Radiology, School of Dentistry, Nihon University

***Department of Radiology, School of Medicine, Kyourin University

Research Code No : 302, 302.1

Key Words : Medical exposures, Nuclear medicine, MIRD,
Internal dose calculation, Population doses

When evaluating population doses and stochastic risks from the uses of radiopharmaceuticals in diagnostic and therapeutic nuclear medicine, the determination of organ or tissue doses is essentially required. The dose determinations of organs or tissues from radiopharmaceuticals deposited in the human body can be carried out with the MIRD system originally developed by the Society of Nuclear Medicine in U.S.A., although they depend on various factors, such as the physical properties of the radionuclides and the biokinetics of the radiopharmaceuticals in the organism.

The absorbed doses of organs or tissues related to the population doses and stochastic effects were calculated with a modified MIRD technique for Japanese physiques, using biokinetic data compiled from a few scientific literatures. The effective dose equivalents per unit activity of radiopharmaceuticals commonly administered in nuclear medicine were calculated according to the ICRP recommendation.

The resultant organ or tissue doses per unit administered activity (10^{-14} Gy Bq⁻¹) were ranged from 0.01 to 10^6 , depending on the types of organ or tissue and radiopharmaceuticals. A maximum effective dose equivalent for the most common use of radiopharmaceuticals in diagnostic nuclear medicine procedures was $85.6 \mu\text{Sv}$ for sodium iodine-131 and a minimum value of $0.0076 \mu\text{Sv}$ from ¹³¹I-Hippurate.

1. はじめに

1982年に日本全国で行われた核医学診断の頻度は、男性で54万件、女性で45万件、合計99万件であり、治療件数は約3,000件であることがわかった¹⁾。医療被曝による国民の健康への影響を評価する研究の一環として、この調査結果に基づき、国民線量、集団実効線量当量および確率的影響のリスクを推定しなければならない。

放射性医薬品による国民線量やリスクの推定を行うには、生殖腺や赤色骨髄以外に肺や消化器など種々の臓器・組織の線量を求める必要がある。人体に投与された放射性物質からの臓器・組織線量はMIRD法を用いて計算できる²⁾³⁾。しかし、線量は放射性核種の物理的特性、人体の体位あるいは体内での放射性医薬品の生物学的挙動などいろいろなファクタに関係する。MIRD法に用いられるファントムは、身長が175cmで体重が70kgの欧米人を基準にした標準ファントムである。最近、日本人の体位は向上してはいるが、核医学診断件数の多い中高年層の人の体位は、欧米人に比べてまだかなり小さい⁴⁾。MIRD法を日本人の体格に変換する方法が考察されている⁵⁾ので、その変換法を用いて、放射性医薬品による臓器・組織線量と実効線量当量の計算を行った。放射性医薬品の生理学的挙動については、Kaulらの文献など⁶⁾⁷⁾を参考にして決定し、そのデータを計算に使用した。

2. 線量計算

2.1. 平均組織線量

核医学診断における放射性医薬品による被曝線量の計算は、放射性物質が臓器のなかに均等に分布するという単純な仮定に基づいている。放射性医薬品を取り込んでから時刻 t 後における標的臓器 r_k 中での線量率 $D(r_k, t)$ は、放射線医薬品を取り込んだ線源臓器 r_h からの放射線によって与えられる。吸収割合の概念では、線量率は(1) r_k の質量 m_k ; (2) r_h の中の放射能 $A_h(t)$; (3) 放射性壊変あたりに放出される i 番めの放射線のエネルギー E_i および(4) 線源臓器 r_h から放出される放射線のうち標的臓器 r_k に吸収される割合 $\phi_i(r_k \leftarrow r_h)$ に関係する。

時刻 t における線源臓器 r_h の中の放射能 $A_h(t)$ からの標的臓器 r_k は、次のような線量をうける：

$$D(r_k \leftarrow r_h, t) = c \cdot \tilde{A}_h(t) \cdot \frac{1}{m_k} \cdot \sum_i n_i \cdot E_i \cdot \phi_i(r_k \leftarrow r_h)$$

$$\tilde{A}_h(t) = \int_0^t A_h(t') \cdot dt' \quad (1)$$

ここで、 $c = 2.13 \text{ grad}/\mu\text{Cih}$, SI単位では $c = 1.60 \times 10^{-7} \text{ Gy kg/MBq sec}$ である。

$\tilde{A}_h(t)$ は累積放射能で、時間0から t の間に r_h の中での壊変数を示す。放射線防護の目的には50年間の預託線量が用いられるが、核医学で投与される放射性医薬品の物理的半減期は短いので、 $t = \infty$ として A_h を簡単化することができる。

$$\tilde{A}_h = \tilde{A}_h(t = \infty) = \int_0^{\infty} A_h(t') \cdot dt' \quad (2)$$

$\tilde{A}_h(t)$ は臓器の中でのそれぞれの放射性医薬品の生物学的な挙動によって決定される。 r_h の中での壊変あたり r_k に与えられる平均吸収線量 $S(r_k \leftarrow r_h)$ とすれば、

$$S(r_k \leftarrow r_h) = c \cdot \frac{1}{m_k} \cdot \sum_i n_i \cdot E_i \cdot \phi_i(r_k \leftarrow r_h) \quad (3)$$

従って、

$$D(r_k \leftarrow r_h) = \tilde{A}_h S(r_k \leftarrow r_h)$$

いくつかの線源臓器から標的臓器が受ける線量は、

$$D(r_k) = \sum_h D(r_k \leftarrow r_h)$$

$$= \sum_h \tilde{A}_h S(r_k \leftarrow r_h) \quad (4)$$

非透過性放射線：臓器の大きさに比べて、飛程が短い放射線（荷電放射線と10keV以下のエネルギーを有する光子）は、非透過性放射線と見做される。この場合は、線源臓器自身が標的臓器となり、他の臓器に線量を与えることはない。従って(4)式は簡単化される。

$$D(r_k) = \tilde{A}_k S(r_k \leftarrow r_k) \quad (5)$$

透過性放射線：10keV以上のエネルギーを有する光子については、 $S(r_k \leftarrow r_h)$ の値は、放射性核種の物理的特性に加えて、人体中の臓器の大きさ、質量および位置によって異なる。非透過性放射線では、こどもの線量は成人の線量 $D(r_k)$ に線

源臓器の質量の比： m_k (child)/ m_k (adult) を乗じて算定することができる。しかし、透過性放射線ではこのような単純な補正法を適用することはできない。この場合は、山口⁵⁾が報告した方法によって線量計算を行った。

2.2. 生物学的挙動

人体に投与された放射性医薬品は、その物理化学的性質によって体内で異なった挙動をする。放射性物質の生物学的挙動、すなわち人体内での時間依存分布は、放射性核種の化合物に関係するだけでなく、投与の方法あるいは様式、個々の臓器の機能状況にもよる。線量計算では、それらの関係は、累積放射能の値の中に含まれる。投与後時間 t においてある臓器の中に存在する放射能 $A_h(t)$ の全放射能 A_0 に対する比は、それぞれの放射性核種の化合物の代謝関数によって表わすことができる。体内の放射性医薬品の代謝関数 $R_h(t)$ は次式で与えられる：

$$R_h(t) = \sum_j \alpha_{h,j} \cdot \exp [-(\lambda_{h,j} + \lambda_p) \cdot t] = \sum_j \alpha_{h,j} \cdot \exp \left(-\frac{\ln 2}{T_{h,j}} \cdot t \right) \quad (6)$$

ここで、

- $\alpha_{h,j}$: j 番めの成分の割合；
- $\lambda_{h,j}$: j 番めの成分の生物学的排出率；
- λ_p : 放射性核種の物理的壊変率；
- $T_{h,j}$: j 番めの成分の実効半減期；
- 累積放射能 $A_h(t)$ は次式で与えられる。

$$\tilde{A}_h(t) = A_0 \int_0^t R(t') \cdot dt' = A_0 \cdot 1.44 \cdot \sum_j \alpha_{h,j} \cdot T_{h,j} \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{\ln 2}{T_{h,j}} \cdot t \right) \right] \quad (7)$$

放射性医薬品では $t = \infty$ と考えられるので、この式は簡略化される。 $1.44 \sum \alpha_{h,j} \cdot T_{h,j}$ は、 r_h の中で放射能の平均滞留時間 r_h である。したがって、

$$A_h = A_0 \cdot \tau_h \quad (8)$$

放射性医薬品の生物学的挙動に関する Kaul⁶⁾ および NCRP⁷⁾ のデータを参考にし、次のようにして、平均滞留時間 τ_h を求めた：

MIRD 法⁸⁾ では、14の線源臓器が決められ、標準人についてそれぞれの臓器の重量が与えられてい

る。Kaul および NCRP のデータには、すべての線源臓器に対して、 τ_h が与えられていない。放射性医薬品にとって主要と思われる線源臓器とそれらを除く残りの臓器全体について τ_h が与えられている。残りの線源臓器の全重量に対する残りの臓器それぞれの重量を比を求め、その比を τ_h に乗じ

Table 1 Lists of Radiopharmaceuticals with Their Symbols.

Symbols	Radionuclides	Radiopharmaceuticals
Tc-1	^{99m} Tc	Pertechnetate
Tc-2	^{99m} Tc	MDP
Tc-3	^{99m} Tc	Colloidal Sn-hydroxide
Tc-4	^{99m} Tc	Phytic acid
Tc-5	^{99m} Tc	Albumin
Tc-6	^{99m} Tc	DTPA
Tc-7	^{99m} Tc	HIDA
Tc-8	^{99m} Tc	PYP
Tc-9	^{99m} Tc	MAA
Tc-10	^{99m} Tc	RBC
Tc-11	^{99m} Tc	Others
I-1	¹³¹ I	Fibrinogen
I-2	¹³¹ I	Adosterol
I-3	¹³¹ I	Hippurate
I-4	¹³¹ I	HSA
I-5	¹³¹ I	NaI
I-6	¹²³ I	NaI
I-7	¹²⁵ I	HSA
I-8	¹²⁵ I	PVP
I-9	¹²³ I	Hippurate
Ga-1	⁶⁷ Ga	Citrate
Tl-1	²⁰¹ Tl	Chloride
Se-1	⁷⁵ Se	Selenomethionine
Se-2	⁷⁵ Se	Cinitadrain
Xe-1	¹³³ Xe	IV
Xe-2	¹³³ Xe	Gas
In-1	^{113m} In	DTPA
In-2	¹¹¹ In	Chloride
In-3	¹¹¹ In	Oxine
Au-1	¹⁹⁸ Au	Colloid
Kr-1	^{81m} Kr	Generator
Kr-2	^{81m} Kr	Gas
Cr-1	⁵¹ Cr	NaCr
Cr-2	⁵¹ Cr	RBC
Fe-1	⁵⁹ Fe	Ferric citrate
Co-1	⁵⁷ Co	Cianocobalamin
Co-2	⁵⁸ Co	Cianocobalamin
Ca-1	⁴⁷ Ca	CaCl

Table 2 Mean residence time τ_n of radiopharmaceuticals in typical organs or tissues (in hours). (see Table 1)

Radiopharmaceuticals	Ovary	Testis	Total Skeleton	Thyroid	Lung	Liver	Kidney	Spleen	Pancreas	Upper Large Intestine	Adrenal	Total Body
Tc-1	0.000852	0.00382	1.08	0.145	0.103	0.186	0.0293	0.0179	0.00621	0.0206	0.00160	7.67
Tc-2	0.000651	0.00292	0.825	0.00155	0.0787	0.143	0.0224	0.0137	0.00475	0.0158	0.00122	5.77
Tc-3	0.0000525	0.000235	0.0665	0.000125	0.00634	7.40	0.00180	0.609	0.000383	0.00127	0.0000984	8.44
TC-4												
TC-5	0.00101	0.00451	1.27	0.00239	0.122	0.220	0.0345	0.0211	0.00733	0.0243	0.00189	8.50
TC-6	0.0000511	0.000229	0.0647	0.000121	0.00617	0.0112	3.89	0.00107	0.000372	0.00124	0.0000958	4.32
TC-7	0.00000144	0.00000646	10.0	0.00000342	0.000174	1.96	0.0000495	0.0000302	0.0000105	4.23	0.0000270	16.2
TC-8	0.0031	0.00714	5.13	0.0000670	0.00341	0.00618	0.158	0.000593	0.000206	0.000683	0.0000529	5.50
TC-9	0.000278	0.00124	0.352	0.000660	4.02	0.564	0.00956	0.00584	0.00203	0.00673	0.000521	6.84
TC-10	0.000123	0.000553	0.156	0.000293	0.0149	0.0270	0.00424	7.66	0.000899	0.00298	0.000231	8.70
I-1	0.0329	0.0148	41.7	0.0781	3.98	7.20	1.13	0.691	0.240	0.796	0.0617	278.
I-2	0.0117	0.0523	14.8	1.14	1.41	2.55	0.401	0.245	0.0849	0.282	1.43	101.
I-3	0.0000194	0.0000870	0.0246	0.0000460	0.00234	0.00424	0.264	0.000407	0.000141	0.000469	0.0000363	0.427
I-4	0.0205	0.0918	25.9	0.0486	2.47	4.48	0.704	0.430	0.149	0.495	0.0384	173.
I-5	0.00199	0.00892	2.52	97.2	0.240	0.435	0.0683	0.0417	0.0145	0.0481	0.00373	114.
I-6	0.000703	0.00315	0.890	5.06	0.0850	0.154	0.0242	0.0148	0.00512	0.0170	0.00132	11.0
I-7	0.0637	0.285	80.6	0.151	7.69	13.9	2.19	1.34	0.464	1.54	0.119	538.
I-8	0.0413	0.185	52.3	0.0980	4.99	9.03	1.42	0.867	0.301	0.999	0.0774	349.
I-9	0.0000304	0.000136	0.0385	0.0000722	0.00368	0.00665	0.516	0.000639	0.000222	0.000736	0.0000570	0.772
Ga-1	0.00966	0.0433	15.8	0.0229	1.17	4.51	0.680	0.627	0.0704	0.234	0.0181	88.4
Tl-1	0.00845	0.174	10.7	0.121	0.0320	7.02	2.82	0.177	0.0616	0.194	0.0158	80.6
Se-1												
Se-2	0.285	1.28	216.	1.23	40.8	188.	34.5	12.4	1.46	4.12	0.319	1650.
Xe-1												
Xe-2	0.0000479	0.000215	0.0607	0.000114	0.00579	0.0465	0.00165	0.00101	0.000349	0.00116	0.0000898	0.441
In-1	0.00204	0.00916	2.59	0.00485	0.247	0.447	31.3	0.0429	0.0149	0.0494	0.00383	48.5
In-2	0.00777	0.0349	9.84	0.0185	0.0939	32.0	0.267	0.163	0.0567	0.188	0.0146	96.0
In-3	0.0809	0.363	102.	0.192	9.78	17.7	2.78	1.70	0.590	1.96	0.152	684.
Au-1	0.000793	0.00356	1.00	0.00188	0.0958	83.8	0.0272	2.79	0.00578	0.0192	0.00149	93.1
Kr-1	0.000781	0.00350	0.989	0.00185	0.0944	0.171	0.0268	0.0164	0.00569	0.0189	0.00146	6.60
Kr-2	0.00000206	0.00000923	0.00261	0.00000489	0.0133	0.120	0.0000708	0.0000432	0.0000150	0.0000498	0.00000386	0.150
Cr-1	0.0378	0.169	47.8	0.0897	4.56	8.26	1.30	0.793	0.275	0.914	0.0708	319.
Cr-2	0.0534	0.239	67.6	0.127	6.45	11.7	1.83	150.	0.389	1.29	0.100	600.
Fe-1	0.125	13.9	158.	0.296	30.0	329.	43.0	54.0	0.910	3.02	0.234	1475.
Co-1	0.870	36.5	48.1	0.00632	0.322	2215.	69.3	16.8	0.0194	0.0644	0.00499	2500.
Co-2	0.250	10.5	13.9	0.00182	0.0928	638.	20.0	4.85	0.00560	0.0186	0.00144	720.
Ca-1	0.000139	0.000624	95.0	0.000330	0.0168	0.0304	0.00478	0.00292	0.00101	0.00337	0.000261	96.0

て、それぞれの臓器の τ_n を算定する Cloutier の方法⁹⁾により、Table 2 のように計算した。

3. 計算結果

3.1. 臓器・組織線量

日本人の主要な臓器・組織に関する性別および年齢別重量については、田中ら¹⁰⁾のデータがある。日本人の性別、年齢平均身長および体重については厚生省統計が使用できる。山口⁵⁾は、これらのデータを用いて、欧米人とは体位が異なる日本人に MIRD 法を適用するための補正方法について

報告している。本報告では、この補正方法を用いて式(3)の平均吸収線量 $S(r_n, r_k)$ を求め、その値と Table 2 の値を式(5)に代入して、核医学診断・治療のため患者に投与された放射性医薬品による臓器・組織の吸収線量を計算した。計算では、生殖腺、赤色骨髄、肺、乳房、甲状腺、骨表面など遺伝有意線量や実効線量当量に関係した臓器・組織を標的臓器とした。Table 3 は結果の1例として、成人の臓器・組織線量を示す。放射性医薬品によっては、線量が $1 \sim 10^6$ 程度変動することを示

Table 3 Organ or Tissue Dose per Unit Administered Activity of Radiopharmaceuticals (10^{-2} pGy per Bq). (see Table 1)

Radiopharmaceuticals	Ovary	Testis	Red Marrow	Breast	Thyroid	Lung	Bone Surface	*Liver	*Kidney	*Spleen	*Adrenal	*Upper large intestine
Tc-1	2.19	2.07	2.32	0.888	12.2	2.66	4.16	3.55	3.15	3.75	2.90	2.15
Tc-2	2.29	1.90	7.65	1.87	2.17	2.54	13.8	2.90	2.61	2.54	3.01	2.01
Tc-3	1.29	3.06	3.80	4.51	0.529	6.33	5.84	105.6	10.8	74.1	11.8	6.13
Tc-4	1.29	3.06	3.80	4.51	0.529	6.33	5.84	105.6	10.8	74.1	11.8	6.13
Tc-5	1.24	0.487	4.56	5.07	1.74	68.1	5.69	7.20	45.3	9.54	1422.	2.21
Tc-6	0.983	0.669	1.12	0.390	0.710	0.934	1.80	1.70	25.2	2.16	2.38	1.06
Tc-7	17.6	2.39	19.4	5.56	2.61	4.81	3.42	33.5	8.68	4.27	7.39	205.
Tc-8	6.75	3.68	8.95	2.08	1.46	1.76	16.0	1.56	10.5	1.63	2.51	1.43
Tc-9	0.889	0.569	2.85	4.27	1.73	63.0	4.18	11.2	2.44	3.85	4.76	1.24
Tc10	1.27	0.361	3.34	2.82	0.472	5.64	4.97	3.80	21.7	909.	15.3	3.55
I-1	632.	508.	254.	70.5	548.	582.	683.	723.	605.	726.	715.	403.
I-2	224.	180.	93.3	27.0	7253.	210.	251.	262.	229.	265.	13860.	144.
I-3	0.649	0.332	0.510	0.272	0.343	0.554	1.35	1.33	123.	2.38	3.09	0.900
I-4	438.	350.	161.	43.6	338.	359.	449.	448.	376.	450.	443.	266.
I-5	39.4	30.9	62.5	62.8	6.17×10^8	123.	356.	56.3	40.7	54.9	59.1	25.4
I-6	2.76	2.24	8.30	1.86	5850.	4.50	16.3	4.31	3.15	3.83	3.51	2.27
I-7	151.	132.	789.	8.7	130.	157.	1440.	225.	163.	209.	170.	112.
I-8	98.2	85.7	512.	5.68	84.2	102.	932.	146.	106.	136.	111.	72.8
I-9	0.334	0.116	0.724	0.216	0.112	0.278	1.03	0.945	50.9	2.07	2.66	0.632
Ga-1	46.0	36.2	38.9	12.7	39.5	46.3	79.9	117.	89.8	151.	60.0	36.1
Tl-1	38.6	91.7	38.9	7.83	123.	9.47	70.2	127.	228.	45.3	48.5	37.0
Se-1	1105.	876.	1360.	694.	1480.	1620.	2280.	5790.	4290.	3180.	2000.	1170.
Se-2	1105.	876.	1360.	694.	1480.	1620.	2280.	5790.	4290.	3180.	2000.	1170.
Xe-1	0.443	0.362	0.256	0.100	0.406	32.2	1.19	0.562	0.417	0.580	0.571	0.253
Xe-2	0.443	0.362	0.256	0.100	0.406	32.2	1.19	0.562	0.417	0.580	0.571	0.253
In-1	48.0	13.8	85.0	35.0	13.2	38.2	107.	135.	4760.	283.	344.	95.5
In-2	23.8	19.0	56.9	8.74	20.5	24.5	103.	38.9	28.9	32.6	29.8	21.8
In-3	516.	412.	1234.	190.	444.	532.	2230.	844.	628.	708.	646.	474.
Au-1	31.2	15.5	110.	144.	25.3	205.	567.	12310.	327.	4420.	417.	210.
Kr-1	4.98	4.02	1.63	0.593	4.31	4.62	3.92	5.73	4.79	5.71	5.58	3.22
Kr-2	0.0291	0.0115	0.0472	0.0800	0.0203	0.677	0.162	3.73	0.153	0.0552	0.204	0.0970
Cr-1	55.5	44.1	51.4	16.2	49.1	54.8	107.	80.4	62.5	71.4	69.4	45.5
Cr-2	43.7	28.1	42.6	22.7	31.7	58.8	84.4	51.3	137.	4640.	114.	428.
Fe-1	1.69×10^3	3.64×10^4	2.32×10^3	1.98×10^3	8.69×10^2	5.76×10^3	5.36×10^3	3.55×10^4	2.20×10^4	4.77×10^4	7.20×10^3	2.98×10^3
Co-1	2.23×10^3	1.60×10^4	1.07×10^3	1.31×10^3	1.06×10^2	1.80×10^3	1.72×10^3	3.51×10^4	7.45×10^3	3.40×10^3	3.33×10^3	1.91×10^3
Co-2	1.93×10^3	1.34×10^4	1.29×10^3	2.43×10^3	3.10×10^2	3.55×10^3	1.50×10^3	4.35×10^4	9.77×10^3	4.67×10^3	7.48×10^3	3.77×10^3
Ca-1	205.	160.	211.	317.	193.	217.	164.	238.	238.	166.	355.	168.
Weighting Factor** W_T	0.25	0.25	0.12	0.15	0.03	0.12	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

*remaining organs or tissues for the calculation of effective dose equivalent. **Weighting factors recommended by the ICRP.

している。Table 4は ^{99m}Tc を含む医薬品について、年齢による臓器・組織線量の違いを示す。身体が小さくなれば、線源臓器と標的臓器の距離が短くなるため、身体中での放射線の減弱が小さくなり、線量は大きくなる。

3.2. 実効線量当量

ICRPは実効線量当量 H_E を次式で定義している¹¹⁾。

$$H_E = \sum W_T H_T$$

ここで、 H_T は臓器・組織Tの受ける平均線量当量である。 W_T は荷重係数で、ICRPはTable 3の値を勧告している。残りの臓器または組織として、その名称を特定していないが、線量当量の大きい5つの臓器・組織を選び、それぞれに0.06の荷重係数を適用するように勧告している。本報告では、どの放射性医薬品についても被曝が大きいと思わ

Table 4 Age-dependent Organ or Tissue Doses per Unit Administered Radioactivity (10^{-2} pGy per Bq). (see Table 1)

		^{99m} Tc Radiopharmaceuticals										
		Age	Tc-1	Tc-2	Tc-3	Tc-4	Tc-5	Tc-6	Tc-7	Tc-8	Tc-9	Tc-10
Ovary		1	9.51	9.10	4.25	4.25	4.63	4.12	56.1	30.7	3.66	4.43
		5	5.62	5.45	2.62	2.62	2.80	2.45	34.8	18.1	2.18	2.71
		10	3.47	3.48	1.80	1.80	1.83	1.53	24.2	10.1	1.38	1.82
		15	2.22	2.32	1.31	1.31	1.26	0.997	17.7	6.86	0.901	1.29
		25	2.19	2.29	1.29	1.29	1.24	0.983	17.6	6.75	0.890	1.27
Testis		1	16.4	13.9	1.46	1.46	4.42	6.43	7.66	32.4	5.41	2.75
		5	18.4	14.4	1.27	1.27	4.87	7.19	4.76	35.4	6.03	2.89
		10	13.1	10.2	0.895	0.895	3.46	5.11	3.32	25.1	4.29	2.05
		15	1.99	2.12	0.321	0.321	0.566	0.786	2.42	4.24	0.668	0.406
		25	1.69	1.90	0.306	0.306	0.487	0.669	2.39	3.68	0.569	0.361
Bone Marrow		1	7.27	24.5	11.6	11.6	13.8	3.51	62.0	28.7	8.70	10.1
		5	4.51	15.2	7.20	7.20	8.55	2.18	38.5	17.8	5.40	6.28
		10	3.14	10.6	5.01	5.01	5.95	1.51	26.8	12.4	3.76	4.37
		15	2.32	7.73	3.84	3.84	4.61	1.13	19.7	9.05	2.88	3.37
		25	2.29	7.65	3.80	3.80	4.56	1.12	19.4	8.95	2.85	3.34
Equivalent Dose Female		1	32.9	12.7	49.6	49.6	471.	10.1	100.	18.8	41.4	199.
		5	23.9	9.42	33.1	33.1	281.	6.86	61.3	15.4	29.7	130.
		10	16.6	6.68	24.8	24.8	174.	4.93	39.9	11.0	24.1	100.
		15	11.2	3.45	17.9	17.9	103.	2.65	26.8	4.99	11.2	75.7
		25	10.0	3.35	15.3	15.3	101.	2.60	26.1	4.91	10.7	62.8
Effective Dose Male		1	50.1	13.9	48.9	48.9	471.	10.7	87.9	19.3	41.8	199.
		5	27.1	11.7	32.8	32.8	281.	8.04	61.6	19.7	30.7	130.
		10	19.0	8.36	24.6	24.6	174.	5.83	34.7	14.4	24.8	100.
		15	11.5	3.40	17.5	17.5	103.	2.65	23.0	4.34	12.6	75.9
		25	10.4	3.25	15.1	15.1	101.	2.53	22.3	4.14	10.7	63.0

れる、肝臓、腎臓、脾臓、大腸上部および副腎の5つを残りの臓器・組織とした。それらの臓器・組織の線量を Table 3 に示す。(9)式に Table 3 の値を代入して、単位投与量あたりの実効線量当量を算定した。それらの結果を Table 5 に示す。さらに、実態調査で得られた放射性医薬品の投与量から、それぞれの医薬品について代表的投与量を選び、それらの投与量に対する実効線量当量を求め、Table 5 に示した。参考のため SI 単位のほかに従来 mCi 単位を用いて実効線量当量を示した。

4. 考 察

放射性医薬品による臓器・組織線量は MIRD 法によって、容易に計算できるようになったが、人体内での放射性医薬品の生物学的挙動に関してまだ不明な点が多く、内臓の線量評価にならざるを

得ない。本報告では、いくつかの文献を参考にし、Table 2 のように決めた。それらの値は、当然のことながら西独の Kaul らや米国の NCRP のデータに比較的よく一致している。

標準日本人が確立されていないため、臓器の重量や容積、身体の重さや大きさなど田中ら¹¹⁾のデータによった。日本人成人では、体重は MIRD ファントムの 77%、座高は 92.8%、胸囲は約 98.7% であり、脾臓などいくつかを除いて、臓器の重量も MIRD に比べ小さい値であった。最近の日本人の体位はかなり向上しているが、核医学診断件数の多い年齢層の体位は欧米人に比して、まだ小さいようである。

MIRD 法の物理的な部分かなりの精度の線量計算が期待できそうであるが、放射性医薬品の人体内での挙動にはまだまだ不明な点が多い。理

Table 5 Effective Dose Equivalents per Unit Administered Radiopharmaceuticals and Effective Dose Equivalents for Typical Administered Activity (See Table 1).

Type of Radiopharmaceuticals	Effective Dose Equivalent per Unit Administered Activity		Typical Administered Bq(mCi)	Effective Dose Equivalent (μ Sv)	
	Male $\text{pSv Bq}^{-1}(\mu\text{Sv mCi}^{-1})$	Female $\text{pSv Bq}^{-1}(\mu\text{Sv mCi}^{-1})$		Male	Female
Tc- 1	$9.89 \times 10^{-3} (3.66 \times 10^{-1})$	$1.00 \times 10^{-2} (3.70 \times 10^{-1})$	$5.55 \times 10^8 (1.5 \times 10^1)$	5.49×10^0	5.55×10^0
Tc- 2	$3.24 \times 10^{-3} (1.20 \times 10^{-1})$	$3.35 \times 10^{-3} (1.24 \times 10^{-1})$	$7.4 \times 10^8 (2.0 \times 10^1)$	2.40×10^0	2.48×10^0
Tc- 3	$1.51 \times 10^{-2} (5.58 \times 10^{-1})$	$1.53 \times 10^{-2} (5.67 \times 10^{-1})$	$1.67 \times 10^8 (4.5 \times 10^0)$	2.51×10^0	2.55×10^0
Tc- 4	$1.51 \times 10^{-2} (5.58 \times 10^{-1})$	$1.53 \times 10^{-2} (5.67 \times 10^{-1})$	$1.85 \times 10^8 (5 \times 10^0)$	2.79×10^0	2.84×10^0
Tc- 5	$1.01 \times 10^{-1} (3.72 \times 10^0)$	$1.01 \times 10^{-1} (3.73 \times 10^0)$	$7.4 \times 10^8 (2.0 \times 10^1)$	7.44×10^1	7.46×10^1
Tc- 6	$2.53 \times 10^{-3} (9.35 \times 10^{-2})$	$2.61 \times 10^{-3} (9.64 \times 10^{-2})$	$1.85 \times 10^8 (5 \times 10^0)$	4.68×10^{-1}	4.82×10^{-1}
Tc- 7	$2.23 \times 10^{-2} (8.26 \times 10^{-1})$	$2.61 \times 10^{-2} (9.67 \times 10^{-1})$	$5.55 \times 10^8 (1.5 \times 10^1)$	1.24×10^1	1.45×10^1
Tc- 8	$4.14 \times 10^{-3} (1.53 \times 10^{-1})$	$4.92 \times 10^{-3} (1.82 \times 10^{-1})$	$3.7 \times 10^8 (1.0 \times 10^1)$	1.53×10^0	1.82×10^0
Tc- 9	$1.07 \times 10^{-2} (3.95 \times 10^{-1})$	$1.08 \times 10^{-2} (3.98 \times 10^{-1})$	$5.55 \times 10^8 (1.5 \times 10^1)$	5.93×10^0	5.97×10^0
Tc-10	$6.27 \times 10^{-2} (2.32 \times 10^0)$	$6.27 \times 10^{-2} (2.32 \times 10^0)$	$1.85 \times 10^8 (5 \times 10^0)$	1.16×10^1	1.16×10^1
I- 1	$4.68 \times 10^{-1} (1.73 \times 10^1)$	$4.97 \times 10^{-1} (1.84 \times 10^1)$	$7.4 \times 10^6 (2 \times 10^{-1})$	3.46×10^0	3.68×10^0
I- 2	$1.51 \times 10^0 (5.60 \times 10^1)$	$1.52 \times 10^0 (5.64 \times 10^1)$	$3.7 \times 10^7 (1 \times 10^0)$	5.60×10^1	5.64×10^1
I- 3	$8.19 \times 10^{-3} (3.03 \times 10^{-1})$	$8.27 \times 10^{-3} (3.06 \times 10^{-1})$	$9.25 \times 10^5 (2.5 \times 10^{-2})$	7.60×10^{-3}	7.70×10^{-3}
I- 4	$5.14 \times 10^{-1} (1.90 \times 10^1)$	$5.35 \times 10^{-1} (1.98 \times 10^1)$	$5.55 \times 10^6 (1.5 \times 10^{-1})$	2.85×10^0	2.97×10^0
I- 5	$4.63 \times 10^1 (1.71 \times 10^3)$	$4.63 \times 10^1 (1.71 \times 10^3)$	$1.85 \times 10^6 (5 \times 10^{-2})$	8.56×10^1	8.56×10^1
I- 6	$3.95 \times 10^{-1} (1.46 \times 10^1)$	$3.95 \times 10^{-1} (1.46 \times 10^1)$	$1.11 \times 10^7 (3 \times 10^{-1})$	4.38×10^0	4.38×10^0
I- 7	$2.48 \times 10^{-1} (9.17 \times 10^0)$	$2.52 \times 10^{-1} (9.34 \times 10^0)$	$3.7 \times 10^5 (1 \times 10^{-2})$	9.17×10^{-2}	9.34×10^{-2}
I- 8	$1.33 \times 10^{-1} (4.91 \times 10^0)$	$1.64 \times 10^{-1} (6.06 \times 10^0)$	$1.48 \times 10^6 (4 \times 10^{-2})$	1.96×10^{-1}	2.42×10^{-1}
I- 9	$3.70 \times 10^{-3} (1.37 \times 10^{-1})$	$3.76 \times 10^{-3} (1.39 \times 10^{-1})$	$3.7 \times 10^7 (1 \times 10^0)$	1.37×10^{-1}	1.39×10^{-1}
Ga- 1	$4.81 \times 10^{-2} (1.78 \times 10^0)$	$5.46 \times 10^{-2} (2.02 \times 10^0)$	$1.11 \times 10^8 (3 \times 10^0)$	5.34×10^0	6.06×10^0
Tl- 1	$8.43 \times 10^{-2} (3.12 \times 10^0)$	$7.11 \times 10^{-2} (2.63 \times 10^0)$	$7.4 \times 10^7 (2 \times 10^0)$	6.24×10^0	5.26×10^0
Se- 1	$1.81 \times 10^0 (6.71 \times 10^1)$	$1.87 \times 10^0 (6.92 \times 10^1)$	$9.25 \times 10^6 (2.5 \times 10^{-1})$	1.68×10^1	1.73×10^1
Se- 2	$1.81 \times 10^0 (6.71 \times 10^1)$	$1.87 \times 10^0 (6.92 \times 10^1)$	$9.25 \times 10^6 (2.5 \times 10^{-1})$	1.68×10^1	1.68×10^1
Xe- 1	$4.19 \times 10^{-3} (1.55 \times 10^{-1})$	$4.22 \times 10^{-3} (1.56 \times 10^{-1})$	$3.7 \times 10^8 (1.0 \times 10^1)$	1.55×10^0	1.56×10^0
Xe- 2	$4.19 \times 10^{-3} (1.55 \times 10^{-1})$	$4.22 \times 10^{-3} (1.56 \times 10^{-1})$	$3.7 \times 10^8 (1.0 \times 10^1)$	1.55×10^0	1.56×10^0
In- 1	$3.70 \times 10^{-1} (1.37 \times 10^1)$	$3.78 \times 10^{-1} (1.40 \times 10^1)$	$3.7 \times 10^7 (1 \times 10^0)$	1.37×10^1	1.40×10^1
In- 2	$2.86 \times 10^{-2} (1.06 \times 10^0)$	$2.97 \times 10^{-2} (1.10 \times 10^0)$	$7.4 \times 10^7 (2 \times 10^0)$	2.12×10^0	2.20×10^0
In- 3	$6.22 \times 10^{-1} (2.30 \times 10^1)$	$6.49 \times 10^{-1} (2.40 \times 10^1)$	$2.22 \times 10^7 (6 \times 10^{-1})$	1.38×10^1	1.44×10^1
Au- 1	$1.15 \times 10^0 (4.27 \times 10^1)$	$1.16 \times 10^0 (4.29 \times 10^1)$	$1.11 \times 10^6 (3 \times 10^{-2})$	1.28×10^0	1.29×10^0
Kr- 1	$3.59 \times 10^{-3} (1.33 \times 10^{-1})$	$3.84 \times 10^{-3} (1.42 \times 10^{-1})$	$1.85 \times 10^8 (5 \times 10^0)$	6.65×10^{-1}	7.10×10^{-1}
Kr- 2	$3.59 \times 10^{-4} (1.33 \times 10^{-2})$	$3.76 \times 10^{-4} (1.39 \times 10^{-2})$	$3.7 \times 10^8 (1.0 \times 10^1)$	1.37×10^{-1}	1.39×10^{-1}
Cr- 1	$5.30 \times 10^{-2} (1.96 \times 10^0)$	$5.38 \times 10^{-2} (1.99 \times 10^0)$	$3.7 \times 10^6 (1 \times 10^{-1})$	1.96×10^{-1}	1.99×10^{-1}
Cr- 2	$3.43 \times 10^{-1} (1.27 \times 10^1)$	$3.46 \times 10^{-1} (1.28 \times 10^1)$	$3.7 \times 10^6 (1 \times 10^{-1})$	1.27×10^0	1.28×10^0
Fe- 1	$1.77 \times 10^1 (6.55 \times 10^2)$	$9.11 \times 10^0 (3.37 \times 10^2)$	$7.4 \times 10^5 (2 \times 10^{-2})$	1.31×10^1	6.74×10^0
Co- 1	$7.95 \times 10^1 (2.94 \times 10^2)$	$4.51 \times 10^0 (1.67 \times 10^2)$	$1.85 \times 10^4 (5 \times 10^{-4})$	1.47×10^{-1}	8.35×10^{-2}
Co- 2	$8.92 \times 10^1 (3.30 \times 10^2)$	$6.05 \times 10^0 (2.24 \times 10^2)$	$3.7 \times 10^4 (1 \times 10^{-3})$	3.30×10^{-1}	2.24×10^{-1}
Ca- 1	$6.51 \times 10^{-1} (2.41 \times 10^1)$	$6.62 \times 10^{-1} (2.45 \times 10^1)$	$5.55 \times 10^8 (1.5 \times 10^1)$	3.61×10^2	3.67×10^2

論的なモデル計算が困難な現状では、生物実験などを積み重ねにより、より真実に近いデータを得ていかねばならない。ここでは、日本人とは食生活の異なる欧米人のデータを参考にしてきめた、放射性医薬品の生物学的挙動を用いて臓器・組織線量を計算した。今後、新しいデータが明らかに

なったときは、正しい線量に改められねばならない。

核医学診療によるリスクの評価や便益などの計算には、ここに示した臓器・組織線量は十分に利用できると思われる。

X線診断の場合、検査の対象となる臓器・組織

は利用線維の中に入るため、最も大きな線量を被曝する。核医学診断においても、検査対象となる臓器・組織には、放射性医薬品が滞留するため、線源臓器となり、大きな線量を受けることになる。そのため、臓器や組織によっては、同じ放射性核種であっても医薬品の種類が異なると1万倍以上も大きい線量を受けることがある。

ICRP が勧告している実効線量当量の概念を導入し、実態調査で使用が確認された主な放射性医薬品について、実態調査で得られた代表的投与量を用いて、成人患者の実効線量当量を計算した。放射性医薬品の種類により、実効線量当量は Table 5 に示すように、放射性医薬品の種類によって、0.008から370 μ Sv程度まで変動することがわかった。

5. 結 論

1) 欧米人と日本人の体位の違いを考慮した修正 MIRD 法によって、1982年の実態調査で使用が確認された放射性医薬品について、臓器・組織線量を計算した。

2) ICRP が勧告している実効線量当量を放射性医薬品について計算した。

3) 計算で求めた臓器・組織線量は放射性医薬品による国民線量と確率的影響のリスクの推定に利用できる。

文 献

- 1) 丸山隆司, 野田 豊, 隈元芳一, 他: 核医学診断・治療における件数, 国民線量およびリスクの推定. 第1報. 件数と放射性医薬品の使用量, 日本医放会誌, 48, 911-920, 1988
- 2) Loevinger R, Budinger TF, Watson EE: MIRD primer for absorbed dose calculations, The Society of Nuclear Medicine, New York, 1988
- 3) Loevinger R, Berman MA: A Revised schema for calculating the absorbed dose from biologically distributed radionuclides, MIRD Pamphlet No. 1. The Society of Nuclear Medicine, New York, 1976
- 4) 山口 寛, 西沢かな枝, 丸山隆司, 他: 日本人の MIRD 表の作表プログラム, 保健物理, 18: 43-48, 1983
- 5) 山口 寛: 大きさの異なる人体へ MIRD 法を適用する際の変換法, 日本医放会誌, 39: 252-266, 1979
- 6) Kaul A, Henrichs K, Roedler HD: Radionuclide biokinetics and internal dosimetry in nuclear medicine. La Ricerca Clin. Lab. 10: 629-660, 1980
- 7) NCRP 70: Nuclear medicine—Factors influencing the choice and use of radionuclides in diagnosis and therapy, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, 1982
- 8) Snyder WS, Ford MR, Warner GG, et al: Estimation of absorbed fraction for monoenergetic photon source uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom, MIRD pamphlet No. 5. J. Nucl. Med. 10(Suppl 3): 5-52, 1969
- 9) Cloutier RJ, Watson EE, Rohrer RH, et al: Calculating the radiation dose to an organ. J Nucl Med 14: 53-55, 1973
- 10) Tanaka G, Kawamura H, Nakahara Y: Reference Japanese man—I. Mass of organs and other characteristics of normal Japanese. Health Phys 36: 333-346, 1979
- 11) ICRP Publ. 42: ICRP が使用しているおもな概念と量の用語解説, 日本アイソトープ協会訳, International Commission on Radiological Protection, 1986