放射性医薬品による吸収線量[†]

三枝健二, 寛 弘毅*

千葉大学医学部放射線医学教室 千葉市支鼻 1-8-1

* 帝京大学医学部放射線医学教室 東京都板橋区加賀 2-11-1

1. はじめに

放射性医薬品を人体に投与し、体内諸器官を検査する方法（主としてシンチグラフィ）は核医学診療のなかで重要な役割を果しているが、近年、核医学放射線機器の進歩、放射性医薬品の開発と相まって、その利用は急速に増大している。しかし、一方では放射性医薬品の人体投与による患者の放射線被曝が問題となり、被曝軽減が望まれている。被曝線量軽減の方法として、投与量の減少、短半減期核種、 β 線非放出核種の利用など挙げられるが、現段階で的確な診断情報を得るにはある程度十分な投与量が必要で、この点から短半減期核種の使用が有用となる。現在、ほとんどすべての体内臓器がシンチグラフィ検査の対象となっており、使用される放射性核種も20数種にわたっているが、このうち、サイクロトロン生産核種を除く半減期3日以内の核種は、 ^{99m}Tc , ^{113m}In , ^{132}I , ^{198}Au の4種に過ぎない。 ^{99m}Tc （半減期6時間, no β , γ 線140keV）は現在のところ、最もよく利用されている核種の1つであるが、これに代わりうる核種はサイクロトロン生産短寿命アイソトープであろう。サイクロトロン生産核種のうち、診断に利用できる短寿命アイソトープは20種類くらい挙げられるが、これまでわが国で使用され、また試みられたことのある核種は8種前後である。 ^{87m}Sr , ^{18}F , ^{68}Ga , ^{197}Hg 等は比較的早くから試みられ、また最近では ^{67}Ga , ^{111}In , ^{123}I が利用されている。短半減期核種の使用で被曝線量は大幅に軽減されるがこれらに関する詳細なデータは少ない。今回、放射性医薬品投与による体内吸収線量推定値について、1965年1月から1974年12月までの過去10年間に主としてアメリカの核医学会雑誌（Journal of Nuclear Medicine）で報告され、または、引用されているデータを調べ、検査対象臓器ごとに、使用した放射性医薬品とその吸収線量計算値を表にまとめた。これらのなかには現在ほとんど使用されていない放射性医薬品、研究的

に試みられただけの核種も若干含まれているが、比較のためにすべて載せた。以下、その結果について報告する。

2. 吸収線量の表

脳、脳槽、甲状腺、心（筋）、肺、腎、骨、骨髓、胎盤、腫瘍、その他の各検査対象臓器について、現在使用している核種、使用していない核種を含めて、投与量、吸収線量推定値、報告者の一覧を表1～表11にまとめた。なお、表中吸収線量の数値を他の文献から引用している報告者も同じに扱ったので数値が重複している場合もある。

3. 考 察

放射性医薬品の投与による患者被曝線量の推定には多くの生理的データを必要とし、また、いくつかの仮定がはいるので、必ずしも正しく評価されていない場合もあろう。しかし、1つの放射性医薬品を使用した場合、被検者が正常か病的かによってもその吸収線量は大幅に変わるので、当然ある幅がある。ここではある報告者の値が正しく、他の報告者の値が間違っているなどという批判はできない。前記吸収線量の表でわかるとおり、各報告者の示したデータにはかなりの幅が認められる。吸収線量データは1965年以後に報告された分で、同一計算方法により得た結果とは限らないが、1970年前後からはアメリカ核医学会内の MIRD（Medical Internal Radiation Dose Committee）が提唱した計算法を使用するようになり、現在ではほとんどこの計算法が採られている。吸収線量の算出には、さきに述べたとおり生理的データを必要とするが、

[†] Absorbed Dose from Radiopharmaceuticals. Kenji SAEGUSA and Hirotake KAKEHI*: Dept. of Radiology, Chiba Univ. School of Medicine, 1-8-1, Inohana, Chiba, *Dept. of Radiology, Teikyo Univ. Medical School, 2-11-1, Kaga, Itabashi-ku, Tokyo.

表 1 脳

放射性医薬品	投与量	吸 収 線 量 (rad)										報告者
		全身	肝	腎	甲状腺	胃	大腸	生殖腺	血液	膀胱	その他	
¹³¹ I-HSA	375 μ Ci	0.72							2.5			Smith
²⁰³ Hg-Chlor-merodrin	700 μ Ci			70(皮質)								Blau
	700			37								Rhoton
	750	0.46		38-115								Smith
	1 mCi			75(皮質) 44(髄質)								Snyder
¹⁹⁷ Hg-Chlor-merodrin	700 μ Ci			9.1(皮質)								Blau
	700			3.5								Rhoton
	750	0.09		4								Smith
	1 mCi			8.6-6.0 (皮質) 7.0(髄質)								Snyder
^{99m} TcO ₄ ⁻ (+ClO ₄ ⁻) (Orally)	1 mCi	0.081 (小児)										Berke
	10	0.13			2.7	1.0	1.5	0.12(辜) 0.16(卵)				"
	10	0.12			0.09	0.59	0.96	0.12(辜) 0.15(卵)				"
	10	0.14			2.1	1.4	2.9	0.12(辜) 0.18(卵)			0.8 (粘膜)	"
	10	0.1	0.7		1.0		1.0					Mack
	10	0.13			2.7	1.0	1.5-2.9	0.16(卵)	0.3- 0.47			O'Mara
	10	0.1-0.2	0.3-0.7	1.0	1-5	0.4-2		0.1-0.4			0.06 (脳)	Hine
^{99m} Tc-DTPA	1 mCi	0.016		0.042	2.1					0.555		Brooke- man
^{113m} In-DTPA	10 mCi	0.09		0.6				0.27	0.34	5.1-6.0		O'Mara
⁶⁸ Ga-DTPA	10 mCi	0.28		2.0			2.9	1.4		15.7-21.4		"

表 2-1 脳 脊 髄 腔

放 射 性 医 薬 品	投与量	吸 収 線 量 (rad)						報 告 者	
		全 身	脊 髄 腔 表 面	神 經 根	脳	甲 状 腺	生 殖 腺		
¹³¹ I-HSA	100 μCi 100 " 100 " 100 "	0.12	5-55 16(0 cm) 9(0.01cm) 12(0.01 cm) 7(0.01cm)	6-66 19 12 15 10 1.3		24	<0.5	Johnston " Harbert Ashburn	
^{99m} Tc-HSA	1 mCi		0.01		0.3				"
¹⁶⁹ Yb-DTPA	1 "		0.02- 0.07	31±18(0 cm) 5± 3(0.01cm) 12-14	46±20 8± 3	1.1			Morin Alazraki
	1 "								
^{99m} Tc-DTPA	1 "		0.2(0.01cm)					Brookeman	
^{113m} In-DTPA	1 "		0.2(")					"	
⁵¹ Cr-DTPA	1 "		0.7(")					"	
⁶⁷ Ga-DTPA	1 "		1.4(")					"	
¹¹¹ In-DTPA	1 "		2.5(")					"	
¹¹¹ In-Transferrin	0.5 "		0.2 0.13(脊髓)					0.8	Matin Starke
²⁰³ Pb-EDTA	0.5 "		5						

表 2-2 腦 脊 髓 腔 (腰椎腔表面)

放射性医薬品	投 与 量 (μCi)	吸 收 線 量 (rad)					
		正 常	比	水 頭 症	比	頸部遮断	比
^{131}I	100	7.2	1	12.3	1	58.7	1
^{123}I	100	1.1	0.15	1.93	0.16	2.59	0.04
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	100	0.27	0.04	0.46	0.04	0.54	0.01
$^{113\text{m}}\text{In}$	100	0.75	0.10	1.27	0.10	1.96	0.03

(Harbert and McCullough)

表 3 甲 状 腺

放 射 性 医 薬 品	投 与 量	吸 收 線 量 (rad)			報 告 者
		全 身	甲 状 腺	血 液	
$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$	1 mCi	0.014	0.5		Nishiyama
	1 "		0.235-0.3		Preston
	1 "		0.6		Atkins
	1 "	0.020	2.6(摂取率3.8%)		Sparagana
	3 "	0.04	0.81		Remodios
^{123}I	50 μCi		18		Atkins
	50 "		41		Sparagana
	50 "		58(摂取率60%)		Harper
^{131}I	10 "		10(" 15%)		Atkins
	50 "		65(" 20%)		Sparagana
	100 "	0.354	131		Pfannenstiel
	100 "	0.36	210(" 30%) 重量15 g		Remodios
	100 "		130		Preston
	100 "		145*		Cottrall
	100 "		165**		"
	100 "		100(摂取率15%)		Levy
	100 "	0.071	104	0.043	Singh
^{130}I	100 "	0.085	18.6		Pfannenstiel
^{132}I	1 mCi		7.6		Charkes
	100 μCi		2.6(摂取率10%)		Levy
^{123}I	100 μCi	0.0070	2.00		Nishiyama
^{123}I (^{124}I , ^{125}I)	100 "	0.0095	2.73		"
^{123}I (^{130}I 3%)	100 "	0.03	6.0(40%摂取率) 20 g 重 量		Mckeighen
^{123}I	1 mCi	0.07	20		"
^{124}I	1 "	14.2	1200		"
^{126}I	1 "	5.5	2300		"

* MIRD, ** ICRP

表 4 心 筋

放 射 性 医 薬 品	投 与 量	吸 收 線 量 (rad)					報 告 者
		全 身	肝	腎	肺	消化管	
^{81}Rb	1 mCi	0.1					Budinger
^{81}Rb (^{82m}Rb , ^{83}Rb)	1 "	0.2					"
^{81}Rb ($^{82m}\text{Rb} < 1/3$)	1 "	<0.21					Lumb
$^{13}\text{NH}_3$	1 "	0.005	0.025				Harper
^{43}KCl	0.5 "	0.35					Hurley
^{43}K	1 "	0.62					Chandra
^{199}Tl	1 "	0.045					"
^{201}Tl	1 "	0.14					"
^{134m}Cs	1 "	0.24-0.48 (^{134}Cs 0.34-0.68%)					"
^{131}Cs	1 "	0.31					"
^{129}Cs	1 "	0.24					"
^{129}Cs (^{22}Na)	0.5 " (0.15 μCi)	0.11(0.0025)	0.21	1.32	0.12	1.10	Yano

表 5 肺

放 射 性 医 薬 品	投 与 量	吸 收 線 量 (rad)						報 告 者
		全 身	肝	腎	肺	血 液	生殖腺	
^{131}I -MAA	200 μCi				1.2			Yano
	300 "	0.008			1.9	0.049		Furth
	300 "	0.14	0.24	0.18	0.88		0.57	Miller
	1 mCi	0.1-0.4	0.5-2	6	4-6	0.5-1.5	0.3-1.3	Hine
	1 "	6.3						Bruno
^{99m}Tc -MAA	1 "		(3%)		0.62(90%)			Yano
	1 "	0.01-				0.04-		Hine
	1 "	0.02				0.05		Chandra
^{99m}Tc -SnAA	1 "	0.008	0.026	0.019	0.231-0.331		0.001	Monroe
^{99m}Tc -FeMA	1 "	0.28			(0.267)			Bruno
^{113m}In -Fe(OH) ₃	1 "	0.55						"
	1 "				0.75			Yano
^{133}Xe	1 mCi $\cdot$ min				0.0001			Jones
^{81m}Kr	1 mCi				0.00075			Yano
	10 "				0.006			Colombetti
(Aerosol)								
^{198}Au -Colloid	100 μCi				0.216			Taplin
^{131}I -HSA	100 "				0.134			"
^{197}Hg -Chlor-merodrin	100 "				0.046			"
^{125}I -HSA	100 "				0.017			"
^{99m}Tc -HSA	100 "				0.011			"

表 6 腎

放射性医薬品	投与量	吸 收 線 量 (rad)										報 告 者
		全身	甲状腺	腎	肝	心	脾	肺	消化管	膀胱	生殖腺	
^{131}I -Hippuran	30 μCi	0.0009	0.0125	0.0312	0.0023	0.0015	0.0007	0.0004	0.0018		0.0036	Miller
	100 "		100	0.011-						0.04-		Hidalgo
	250 "		(25%)	0.082						0.052		Freeman
	3.3 $\mu\text{Ci/kg}$			0.0175								Meckstroth
	(32-221)			0.050 (正常)								
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (Renotic)	1 mCi	0.009		0.243								Eckelman
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (Instant)	1 "		0.036								"
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Ascorbic acid	1 "	(0.01)	0.336							(0.01)	Tully
^{203}Hg -Chlor- merodrin	100 μCi	0.1-0.2		6-7	2					0.5	0.09	Hine
	100 "	0.16		8.04	0.37						0.90	Miller
	150 "	0.13		23								Reba
	150 "			15 (皮質)								Buchanan
^{197}Hg -Chlor- merodrin	100 "	0.01		0.7	0.15					0.2-0.3	0.008	Hine
	150 "	0.012		1.5								McAfee
				1.95								Buchanan
	150 "			(皮質)								

表 7 骨

放 射 性 医 薬 品	投与量	吸 收 線 量 (rad)							報 告 者			
		全 身	骨	骨 髓	血 液	腎	膀 胱	生殖腺				
^{47}Ca	30 μCi	0.22	0.91	1.5					Papworth			
$(^{45}\text{Ca}$ + ^{47}Sc 5 %)	100 "	0.40	2.0						Hine			
	100 "	0.72	3.1						Herbert			
	100 "		6.3						Weber			
^{85}Sr	20 "	0.46	0.88						Papworth			
	75 "	1.6	3.1						Herbert			
	100 "	0.5-2	3-5						Hine			
	100 "	0.67	1.97(50%)						Mamilton			
	100 "	0.937	2.76(70%)						Lange			
	100 "		1.5						Corey			
	100 "		2.3						Vannart			
	100 "		4.6						Charkes			
	100 "		5.2						Weber			
	100 "	1.3	5.5						Castronovo			
	150 "		3.89						1.35	McAfee		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Polyphos.	1 mCi	0.016	0.066	0.1	0.02	0.89	0.203	0.028	Graham			
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Diphos.	1 "	0.016	0.068						0.018	0.229	0.030	"
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pyrophos.	1 "	0.016	0.068						0.018	0.230	0.030	"
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Polyphos.	10 "											Park
"	10 "		0.45						Subramanian			

放射性医薬品	投与量	吸収線量 (rad)							報告者
		全身	骨	骨髓	血液	腎	膀胱	生殖腺	
^{99m}Tc -EHDP	10 mCi	0.148	0.267			3.68	7.36		Yano
^{99m}Tc -EDSP	1 "	0.011	0.045	0.01		(辜) 0.49	0.07	0.114	Castronovo
" (1時間後)						(卵) 0.006		0.134	"
^{113m}In	4 "	0.2							Mishkin
^{117m}Sn	100 μCi		1.4						Chervu
^{133m}Ba	1 mCi	0.459	2.57(60%)						Lange
^{135m}Ba	1 "	0.178	1.17(60%)						"
"	1 "		1.2 (60%)						Syed
^{131}Ba (+ ^{131}Cs)	1 "	1.84	0.3 (均等)						Spencer
^{139}Ba	0.3 "	0.002	6.48(60%)						Herbert
^{153}Sm	1 "		3.3	0.85					McAfee
^{171}Er	4 "		3.0	0.76					"
^{176m}Lu	1 "		4.2	0.3					O'Mara
^{177}Lu	1 "		5.4	1.3					"
^{18}F	0.2 "						0.5-1.0		Neuman
	1 "	0.0256	0.111						Vennart
	1 "	0.03	0.12						Nusynowitz
	1 "	0.05-0.1	0.1-0.3				2-5		Hine
	1 "		0.23						Blau
	1 "		0.26						Weber
	1 "	0.045	0.178		0.086		1.36	0.087	Graham
	1 "	0.05	0.29	0.04					Castronovo
	2 "	0.07	0.36						Herbert
	10 "		1.5	0.4					McAfee
^{87m}Sr	0.4 "	0.05	0.24						Papworth
	1 "	0.01	0.1-0.4	0.1		0.2			Hine
	1 "	0.011	0.046(50%)						Charkes
	1 "	0.0151	0.064(70%)						Lange
	1 "		0.14						Weber
	1 "	0.02	0.16	0.02					Castronovo
	3 "	0.02	0.30						Herbert
	10 "		0.71	0.1					McAfee
^{68}Ga	1 "		0.38						Weber
^{157}Dy -EDTA	1 mCi		0.144(50%)			0.158	0.316		Yano
	10 "		1.27	0.55					O'Mara
^{203}Pb	0.1 "	0.03	0.06						Rao
^{203}Pb -Acetate	8 "	2.4	4.8 (50%)		(肝) 6.0 (8%)		(脾) 29.2 (5%)		Syed

表 8 骨 髓

放射性医薬品	投与量 (mCi)	吸 收 線 量 (rad)						報 告 者
		全 身	肝	脾	骨 髓	辜 丸	卵 巢	
¹⁹⁸ Au-Colloid	1		32-34					Smith
	2.5	5.8	51-108	62-183	7.0-18	0.98	1.5	
¹⁹⁹ Au-Colloid	2.5	1.7	31-54	32-96	3.5-9.4	0.28	0.49	"
^{99m} Tc-Colloid	1		0.2-0.3					"
	5	0.08	1.1-6.2	0.8-2.2	0.13-0.17	0.06	0.11	
¹⁵⁹ Gd-Colloid	1		10-13					Knisely
¹¹¹ InCl ₃	1	0.5	4.5		3.6			Lilien

表 9 胎 盤

放 射 性 医 薬 品	投 与 量	吸 收 線 量 (mrad)								報 告 者
		母 体			胎 児					
		全身	血液	生殖腺	全 身	血液	生殖腺	甲状腺	肺	
¹³¹ I-HSA	5 μCi 5 "	5	87	15		5	7	4900		Smith Herbert
¹³² I-HSA	50 "			10			5	130		"
^{99m} Tc-HSA	100 "	1.3	4.3		1.4	1.4		2-7		McAfee
	100 "	0.5	4.7			1.4		5		Smith
	100 "	1.4	4.5	3.8	1.2	1.2	1.2	2.8		Herbert
^{113m} In (+ ¹¹³ Sn)	1 mCi (+0.05μCi)				8					MacDonald
^{113m} In(OH) ₃	1 "				36(1cm) 3(14cm)					Niehoff
	1 "	17.6	146			8				Merwe
	1-1.5 "				15-25					Burdine
¹¹ CO	0.5 "		5.5		4	6		⁵ ¹³ N(+12%, 0.8)		Glass

表 10-1 腫 瘍

放射性医薬品	投与量	吸 收 線 量 (rad)								報 告 者
		全 身	肝	腎	骨	骨 髓	血 液	膀 胱	生殖腺	
⁷⁵ Se-Selenite	250 μ Ci (4 μ Ci/kg)	1.14	4.78	6.12						Cavalieri
¹⁸⁵ Er-Citrate	10 mCi	0.12			0.33					Rao
¹⁶⁹ Yb-Citrate	0.5 "	1.74			5.77					Hisada
⁶⁷ Ga-Citrate	1 " *	0.25	1.33	0.90	0.82				0.19	Langham-mer
	1 " **	0.32	0.37	0.36	0.37				0.41	"
	1 " **	0.30								Cloutier
	3 "	0.90								Grove
⁵⁷ Co-Bleo.	0.1 "	0.03						0.45		"
¹¹¹ In-Bleo.	1.75 "	0.15						1.4		"
	1 "	0.085		0.50		0.09	0.01			Emmerson

*: 不均等分布 ** : 均等分布

表 10-2 腫 瘍

クエン酸 Ga 核種 臓器	吸 収 線 量 (rad/mCi)			
	⁶⁶ Ga	⁶⁷ Ga	⁶⁸ G	⁷² Ga
	9.3 h	78.0 h	1.14 h	14.1 h
全 身	0.66	0.26	0.052	0.76
肝	1.2	0.58	0.10	1.4
腎	1.1	0.41	0.089	1.2
脾	1.5	0.53	0.13	1.5
胃	0.52	0.22	0.042	0.65
小 腸	1.4	0.36	0.21	1.4
大 腸(上)	3.5	0.56	0.23	3.0
大 腸(下)	3.6	0.90	0.094	3.7
卵 巢	0.64	0.28	0.048	0.84
睪 丸	0.54	0.24	0.039	0.74
骨	1.1	0.44	0.094	1.2
骨 髄	1.2	0.58	0.10	1.4

(MIRD Report No. 2)

表 11-3 前 立 腺

臓 器	吸 収 線 量 (rad)	
	⁶² Zn 1 mCi	^{69m} Zn 0.5 mCi
全 身	0.4	0.15
肝	12	2.75-0.48
腎	6	1.64-0.20
脾	12	0.09-0.42
膵	—	0.58-0.29
肺	—	0.25-0.13
前 立 腺	12	—
睪 丸	—	0.02-
血 液	—	0.11-
報 告 者	Chisholm	Lorber

表 11-1 脾

放 射 性 医 薬 品	投 与 量 (μ Ci)	吸 収 線 量 (rad/mCi)									報 告 者
		全身	肝	腎	膵	脾	甲状腺	卵巢	睪丸	血液	
⁷⁵ Se-Seleno-methionine	200-250	8 $\pm$ 1	25 $\pm$ 4	21 $\pm$ 3 23 $\pm$ 3	12 $\pm$ 2	16 $\pm$ 2	6 $\pm$ 1	5 $\pm$ 1	11 $\pm$ 2	9 $\pm$ 1	MIRD Report No. 1 Lathrop Melmed
"	250	8.4	30	21	10	18	4.6	3.1	6.9	100	
"	200	6.5		57.5							
⁷⁵ Se-Seleno-cystine	200	5		45							"

表 11-2 副 腎

放 射 性 医 薬 品	投 与 量 (mCi)	吸 収 線 量 (rad)							報 告 者
		全 身	肝	副 腎	卵 巢	睪 丸	消化管	胸 骨	
¹³¹ I-Iodocholesterol	1	1.1	7-11	30-40	1.7	0.4	1.2	0.7	Beierwaltes Kirschner
"	1	0.94	7.1	49	20.7	4.8	—	—	

表 11-4 脾・血液量・抗腫瘍

	放射性医薬品	投与量	吸収線量 (rad)				報告者
			全身	肝	腎	脾	
脾	^{99m}Tc -RBC	1 mCi				0.43	Eckelman
	^{51}Cr -RBC	1 "				4.2	"
血液量	^{11}CO	30 μCi	0.00033				Glass
	^{51}Cr -RBC	30 "	0.0073				"
抗腫瘍	^{195m}Pt -DDP	1 mCi	0.837	1.3	3.5		Smith
	^{195m}Pt	1 "	0.985				Lange
	^{193m}Pt	1 "	0.603				"

表 11-5 RI アンギオグラフィ

放射性医薬品	投与量 (mCi)	吸収線量 (rad)						報告者
		全身	甲状腺	大腸	胃	生殖腺	血液	
$^{99m}\text{TcO}_4^-$	10	0.14	2.7	1.5	1			Smith
	10	0.08				0.1		Kriss
^{99m}Tc -RBC	1	0.0027-0.020						Matin
^{131}I -HSA	0.5	0.05					2-3	Kriss

このデータ収集が十分に行なわれておらず、たとえば有効半減期を物理的半減期に置き換えて計算、報告しているものもあった。今後は放射性医薬品ごとに生理的データを詳細に収集し、確立された計算法にもとづき、できるだけ多くの放射性医薬品について、より信頼できる吸収線量推定値が報告されることを期待する。

最後に、本稿はシンチグラフィ検査における諸臓器の吸収線量計算値について、各報告者の数値をまとめたもので、日常、これら検査業務に携わっている方々の参考になれば幸である。

文 献

- Alazraki, N., et al.: *J. Nucl. Med.*, **15**, 643 (1974)
- Ashburn, W.L., et al.: *ibid.*, **9**, 523-29 (1968)
- Atkins, H.L., et al.: *ibid.*, **9**, 7-15 (1968)
- Berke, R.A., et al.: *ibid.*, **14**, 51-52 (1973)
- Beierwaltes, W.H., et al.: *ibid.*, **15**, 246-51 (1974)
- Blau, M.: *Recent Advances in Nuclear Medicine*, Meredith Publishing Co., NY (1966)
- Blau, M., et al.: *J. Nucl. Med.*, **3**, 332 (1962)
- Brookeman, V.A., et al.: *ibid.*, **11**, 733-38 (1970)
- Brookeman, V.A., et al.: *ibid.*, **15**, 479 (1974)
- Bruno, F.P., et al.: *ibid.*, **11**, 134-37 (1970)
- Buchanan, C.R.: *ibid.*, **9**, 502-03 (1968)
- Budinger, T.F., et al.: *ibid.*, **15**, 408 (1974)
- Burdine, J.A., et al.: *ibid.*, **10**, 324-25 (1969)
- Castronovo, F.P., et al.: *ibid.*, **13**, 823-27 (1972)
- Cavalieri, R.R., et al.: *ibid.*, **7**, 197-208 (1966)
- Chandra, R., et al.: *ibid.*, **14**, 243-45 (1973)
- Chandra, R., et al.: *ibid.*, **14**, 702-05 (1973)
- Charkes, N.D., et al.: *Radiol. Clin. N. Amer.*, 499 (1965)

- 19) Charkes, N.D., et al.: *JAMA*, **206**, 2482-88 (1968)
- 20) Charkes, N.D.: *J. Nucl. Med.*, **10**, 752 (1969)
- 21) Chervu, L.R., et al.: *ibid.*, **13**, 781-82 (1972)
- 22) Chisholm, G.D., et al.: *ibid.*, **15**, 793 (1974)
- 23) Cloutier, R.J., et al.: *ibid.*, **12**, 384 (1971)
- 24) Colombetti, L.G., et al.: *ibid.*, **15**, 874-79 (1974)
- 25) Corey, K.R., et al.: *ibid.*, **3**, 454 (1962)
- 26) Cottrall, M.F., et al.: *ibid.*, **12**, 841-42 (1971)
- 27) Dose Estimate Report No. 1, *ibid.*, **14**, 49-50 (1973)
- 28) Dose Estimate Report No. 2, *ibid.*, **14**, 755-56 (1973)
- 29) Eckelman, W., et al.: *ibid.*, **12**, 310-11 (1971)
- 30) Eckelman, W., et al.: *ibid.*, **12**, 384 (1971)
- 31) Eckelman, W.C., et al.: *ibid.*, **12**, 699 (1971)
- 32) Emmerson, D.A., et al.: *ibid.*, **14**, 625 (1973)
- 33) Freeman, L.M., et al.: *ibid.*, **10**, 545-49 (1969)
- 34) Furth, E.D., et al.: *ibid.*, **6**, 506-18 (1965)
- 35) Glass, H.I., et al.: *ibid.*, **9**, 468-70 (1968)
- 36) Glass, H.I., et al.: *ibid.*, **9**, 571-75 (1968)
- 37) Graham, L.S., et al.: *ibid.*, **15**, 496 (1974)
- 38) Grove, R.B., et al.: *ibid.*, **15**, 386-90 (1974)
- 39) Harbert, J.C., et al.: *ibid.*, **11**, 534-41 (1970)
- 40) Harper, P.V., et al.: *ibid.*, **13**, 278-80 (1972)
- 41) Harper, P.V., et al.: *ibid.*, **15**, 500 (1974)
- 42) Herbert, R.J., et al.: *ibid.*, **10**, 224-32 (1969)
- 43) Hidalgo, J.U., et al.: *ibid.*, **11**, 768 (1970)
- 44) Hine, G.J., et al.: *ibid.*, **11**, 468-69 (1970)
- 45) Hisada, K., et al.: *ibid.*, **14**, 772-73 (1973)
- 46) Hisada, K., et al.: *ibid.*, **15**, 210-12 (1974)
- 47) Hurley, P.J., et al.: *ibid.*, **12**, 516-19 (1971)
- 48) Johnston, G.S., et al.: *ibid.*, **9**, 198-201 (1968)
- 49) Johnston, R.E., et al.: *ibid.*, **11**, 322 (1970)
- 50) Jones, R.H., et al.: *ibid.*, **15**, 598-609 (1974)
- 51) Kirschner, A., et al.: *ibid.*, **14**, 416 (1973)
- 52) Kirschner, A.S., et al.: *ibid.*, **14**, 713-17 (1973)
- 53) Knisely, R.M., et al.: *ibid.*, **7**, 575-82 (1967)
- 54) Kriss, T.P.: *ibid.*, **10**, 233-41 (1969)
- 55) Lange, R.L., et al.: *ibid.*, **13**, 342-43 (1972)
- 56) Lange, R.L., et al.: *ibid.*, **14**, 191 (1973)
- 57) Langhammer, H., et al.: *ibid.*, **13**, 25-30 (1972)
- 58) Lathrop, K.A., et al.: *ibid.*, **11**, 394 (1970)
- 59) Levy, B.S.: *ibid.*, **10**, 286-89 (1969)
- 60) Lorber, S.A., et al.: *ibid.*, **11**, 699-703 (1970)
- 61) Lilien, D.L., et al.: *ibid.*, **14**, 184-86 (1973)
- 62) Lumb, J.F., et al.: *ibid.*, **15**, 509-10 (1974)
- 63) Mack, J.F., et al.: *ibid.*, **7**, 633-40 (1966)
- 64) MacDonald, N.S., et al.: *ibid.*, **11**, 344-45 (1970)
- 65) Mamilton, J.G.: *Radiology*, **49**, 325-43 (1947)
- 66) Matin, P., et al.: *J. Nucl. Med.*, **11**, 723-30 (1970)
- 67) Matin, P., et al.: *ibid.*, **12**, 668-72 (1971)
- 68) McKeighen, R.E., et al.: *ibid.*, **15**, 328-31 (1974)
- 69) Meckstroth, G.R., et al.: *ibid.*, **10**, 423 (1969)
- 70) Melmed, R.N., et al.: *ibid.*, **10**, 575-80 (1969)
- 71) Merwe, E.J., et al.: *ibid.*, **11**, 31-35 (1970)
- 72) Miller, J.P., et al.: *ibid.*, **6**, 194-206 (1965)
- 73) Mishkin, F.S., et al.: *ibid.*, **9**, 462-63 (1968)
- 74) Monroe, L.A., et al.: *ibid.*, **15**, 192-94 (1974)
- 75) Morin, R.L., et al.: *ibid.*, **15**, 375-76 (1974)
- 76) Morin, R.L., et al.: *ibid.*, **15**, 786-96 (1974)
- 77) Neuman, W.F., et al.: *The Chemical Dynamics of Bone Mineral*, 95 Univ. of Chicago Press, Chicago (1958)
- 78) Niehoff, R.D., et al.: *J. Nucl. Med.*, **11**, 15-18 (1970)
- 79) Nishiyama, H., et al.: *ibid.*, **15**, 261-65 (1974)
- 80) Nusynowitz, M.L., et al.: *ibid.*, **6**, 473-80 (1965)
- 81) O'Mara, R.E., et al.: *ibid.*, **10**, 18-27 (1969)

- 82) O'Mara, R.E., et al.: *ibid.*, **10**, 49-51(1969)
83) O'Mara, R.E., et al.: *ibid.*, **12**, 400 (1971)
84) Papworth, M.P., et al.: *ibid.*, **8**, 723-34 (1967)
85) Park, C.H., et al.: *ibid.*, **14**, 534-36 (1973)
86) Pfannenstiel, P., et al.: *ibid.*, **9**, 90-95 (1968)
87) Preston, D.F.: *ibid.*, **12**, 457 (1971)
88) Preston, D.F., et al.: *ibid.*, **15**, 525 (1974)
89) Rao, D.V., et al.: *ibid.*, **14**, 772-73 (1973)
90) Rao, D.V., et al.: *ibid.*, **15**, 1008-10 (1974)
91) Remodios, L.V, et. al.: *ibid.*, **12**, 673-77 (1971)
92) Rhoton, A.L., et al.: *ibid.*, **7**, 50-59 (1966)
93) Singh, B., et al.: *ibid.*, **15**, 674 (1974)
94) Smith, E.M.: *ibid.*, **6**, 231-51 (1965)
95) Smith, P.H.S., et al.: *ibid.*, **15**, 349-51 (1974)
96) Snyder, W.S., et al.: ORNL 4168 Division, Annual Progress Report, NBS, Virginia (1967)
97) Sparagana, M., et al.: *J. Nucl. Med.*, **11**, 224-25 (1970)
98) Spencer, R.P., et al.: *ibid.*, **12**, 216-21 (1971)
99) Stark, V.J., et al.: *ibid.*, **13**, 468-69 (1972)
100) Subramanian, G., et al.: *ibid.*, **12**, 399 (1971)
101) Syed, I.B., et al.: *ibid.*, **12**, 630-31 (1971)
102) Syed, I.B.: *ibid.*, **15**, 910-11 (1974)
103) Taplin, G.V., et al.: *ibid.*, **7**, 77-87 (1966)
104) Tully, R.J., et al.: *ibid.*, **13**, 544-47 (1972)
105) Vennart, J.: *Brit. J. Radiol.*, **35**, 372(1962)
106) Weber, D.A., et al.: *J. Nucl. Med.*, **10**, 8-17 (1969)
107) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **10**, 384 (1969)
108) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **10**, 683-86 (1969)
109) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **11**, 663-68 (1970)
110) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **12**, 407-08 (1971)
111) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **12**, 815-21 (1971)
112) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **13**, 480 (1972)
113) Yano, Y., et al.: *ibid.*, **14**, 73-78 (1973)
-