

- ・ 予定外に手技が長引く場合には、患者や X 線ビームの入射位置を変え、特定部位の皮膚吸収線量が高くならないようにする。
- ・ 線量率は手技中大きく変動する。このため、透視時間は放射性皮膚炎の予後決定因子としての価値は大きくない。透視時間が同じであっても患者の体格や X 線ビームの入射位置や入射方向、線量率、X 線管から患者への距離などにより、患者の最大皮膚吸収線量は 10 倍程度変わりうる。

その他には、モニタの輝度なども患者被曝の大きさを左右しうる。

一方、今回の検討では、I.I.視野径を変え拡大率を変更しても実効線量にはあまり影響がなかった。IVR に用いられる診療用の X 線装置は、自動照射条件制御機構が広く用いられている。この制御のアルゴリズムは、X 線装置によって異なっている。現在の傾向は、IVR に伴う被曝線量の増加が問題になっているため、透視の被曝線量低減と画質のバランスが重視された設計になっている。Cu などの付加フィルタが挿入されると通常管電圧が高くなり、皮膚吸収線量の相対割合を低く抑えるのには効果的ではあるものの（図 7）光子エネルギー分布の右方移動により患者内での相互作用のうち光電吸収の割合が

少なくなるためコントラストは低下する。また、再生係数が高くなり患者の体内で散乱した光子が検出器に入射し雑音の原因となるため現在の光子入射方向弁別能が低い検出器システムでは、透視像はコントラストが低くなる。このため、グリッドを使用して I.I.に入射する散乱線を除去しているが、患者に入射する光子数を増やす必要が生じている。一方、IVR では非常に細いマイクロカテーテル、ガイドワイヤを使用するため分解能が重要である。このため、患者の厚みがある一定範囲では管電圧を 70kV 程度で一定に保ち、管電流、付加フィルタの組み合わせ、X 線パルス幅やパルス間隔などを調整したり、平滑化技術を活用し、画像処理でノイズを減らす工夫も試みられている。今回の各装置に測定においても同じようなファントムを用いたにも関わらず、それらの装置設計の思想の違いにより、自動照射条件は様々であった。また、診療上の必要性から、得られる画像の空間分解能を変えた異なるモード（パルスレートモード、線量モード（通常モードあるいは低線量モード）など）で照射条件を制御するシステムや、同等の分解能を得るためであっても、患者の物理的な性質の違いにより、制御のアルゴリズムを選択することが可能

な装置も登場している。いずれにしても、これらのモードの照射条件設定は装置導入時に画像の分解能を確認しながら各医療機関毎に調整されている現状があり、患者への被ばく低減の視点からは、装置受け入れ時の各モードの調整のあり方の整備が望まれる。

また、I.I.視野径による出力の制御は、検出器全体に入射する光子数（率）が一定になるように電子銃のフルエンス率を変えるような自動制御機構を持っている。このため、I.I.視野径を絞り拡大率を大きくすると、光子のフルエンス率が上がって照射野内の患者皮膚吸収線量が増加する傾向がある。その一方、患者全体に入射する光子数（率）には変わりがないために患者の実効線量や散乱線の強度はあまり変動しない。むしろ、実効線量は X 線の入射部位やその入射角度に大きく依存する。このため、比較的若い患者の IVR においては、放射線リスクを低減するため、診療上問題がない範囲で X 線入射方向を工夫することが有益であるかもしれない。ただし、心臓モードおよび DSA モードにおいては、I.I.視野径によって単位実照射時間あたりの線量がほぼ一定になるように、X 線照射パルスの制御が行われていた。IVR に従事する放射線診療従事者は、このよ

うな装置の特性を理解して、被曝の最適化を図るべきであると考えられた。

また、患者の皮下組織の厚みが皮膚基底細胞に少なからぬ影響を与えることが示唆された。症例によっては、このような患者の条件によっても、照射の条件を最適化するような工夫も望まれよう。

今後は、光子入射方向弁別能を持つ検出器の活用など、患者に入射させる光子数の低下を図るとともに、濃度および空間分解能と皮膚吸収線量や臓器の等価線量の適正なバランスを達成するために、よりよい制御システムの開発が重要だと考えられた。

事実、X 線 CT 装置においては、被曝低減の鍵の一つが自動照射条件制御 (Automatic Exposure Control: AEC) とされていることもあり、その機能評価のあり方も課題となっている。しかし、IVR に使われる装置については、X 線装置の据付時や点検時などに最大 X 線条件時の線量を JESRA TI-0002-2001 などに従って測定したり、テストファントムに X 線を照射し、モニタ画像の輝度、解像力チャートの解像度、X 線条件の確認を確認するなど I.I.の輝度劣化を判断するための点検は広く行われるようになっているものの、被写体厚

や I.I.視野径の条件を変え、X 線照射条件（管電圧、管電流、X 線パルス幅、付加フィルタの材質厚さ）の変化を観察し、照射条件の制御アルゴリズムを確認することは一般的には行われていない。

一方、医療法施行規則では、透視装置の空気カーマ率に制限を定めている。また、放射線治療ではフィルタの透過率の設定誤りによる過剰照射事故が発生している。このため、IVR を行っている医療機関では、これら（撮影も含む）の照射条件の最適化の点検が求められよう。

（6）線量測定 of 標準化・校正

現在、診断 X 線の線量標準研究会（会長 東京都立保健科学大学 加藤二久 先生）によって校正センター運用計画、トレーサブルシステム確立に向けての活動が進行中である（診断 X 線の線量標準研究会誌 Vol.2, No.1, 2002.11.29）。

診断領域の X 線出力の測定においても測定器の適切な校正が必要である。また、この校正場は、今後、エネルギー特性が電離箱と比べ平坦とはいえない測定システムがその手軽さなどにより普及することを考えると、実際の照射場に近しい条件とするか放射光による単色場で基本的な特性を把握し、さらに測定する放射線

場 of 特性をあらかじめ調べ、場に応じた補正係数をモンテカルロ法などで求めた上で使用すると測定 of 不確かさを小さくすることができると考えられる。

（7）モニタリングデバイス

面積線量計に代表されるリアルタイムに被ばく線量の指標となる線量を表示するデバイスが開発されている。モニタリングデバイスとしては面積線量計が最も普及している。しかし、これらのモニタリングデバイスはサードパーティ製であり搭載または接続できるメーカー、機種が限定され、更にオプションであるため普及が進んでいない。

一方、面積線量は確率的な影響を推定するためには、空気カーマよりも意味を持つ量である。また、そのままでは関心領域の皮膚吸収線量の推定には、あまり有用ではないが、照射条件と組み合わせると、その推定の精度を高くすることができる。しかし、放射線防護において、関心領域の皮膚吸収線量の推定の不確かさを過度に小さくすることに労力をかける意義は見出しがたい。このため、より安価な不変性試験が行えれば、面積線量計の機能は代行される。従って、装置照射条件記録情報を組み合わせた、リアルタイムあるいは

事前予測線量推計システムを普及させるのがよいとも考えられた。このようなシステムが実現すると、IVRシミュレータに組み合わせることで、放射線診療に従事する医師等の教育において、より放射線防護への理解を深めることができるものと期待される。また、モンテカルロ法は放射線物理実験のシミュレーションだけでなく、その結果得られた放射線の飛跡を図示することにより、エックス線診療室内等での放射線の挙動を可視可することができる。このようなツールを活用することにより、より効果的な教材を作成しうるものと考えられる。

他方、機能性色素を用いた化学線量計の感度が高くなっており、その応用利用なども検討する価値があるものと思われる。

(8) 日本の放射線診療の特殊性

わが国では IVR を行う診療科が放射線科、脳神経外科、循環器内科、心臓血管外科、血管外科等多彩である。一方、これらの診療手技の標準化は進められているが、被曝に対する意識は必ずしも十分に進んでいない現状にある。院内感染対策などではエビデンスに基づく対策が推進されている。放射線診療においても科学的根拠を持つ、診療の標準化が進

められており、それを放射線防護の側面からも推進する必要がある。

E. 結論

IVR では比較的高い線量を患者に与える。循環器疾患における PTCA のみならず、消化器領域のリザーバー埋込み術、脳神経領域の脳血管塞栓術においても繰り返し施行した場合に、患者皮膚に確定的影響を誘発しうる線量に達する可能性がある。

一方、装置に照射条件が記録されていれば、患者の被ばく線量がある程度推定できる。より精度が高い推定には、装置に記録する照射条件項目の充実や装置の不変性試験の実施が必要である。

謝辞

本研究実施にあたり、測定に協力頂いた患者の皆様や各医療機関の医療従事者に深く感謝申し上げます。また、山形大学付属病院の江口陽一氏より X 線装置の保守点検の現状に関する資料を頂いた。さらに、長瀬ランダウア社には、線量素子の読みとりを行って頂くとともに、小林育夫技術部長より、指示値の補正法について技術的なご助言を頂いた。

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表

1. 論文発表 なし

2. 学会発表

山口一郎、古井滋、岡崎正敏、中村仁信、坂本力、石口恒男、竹部英紀、諸澄邦彦. IVR における患者被曝その低減策の検討. 第 15 回関東 I V R 学会. 2003 年 7 月

山岸正文、真田茂、古井滋、岡崎正敏、中村仁信、坂本力、石口恒男、竹部英紀、諸澄邦彦、山口一郎. IVR 実施 4 施設における患者の被曝線量.

日本放射線技術学会第 3 1 回秋季学術大会. 2003 年 10 月 (予定)

真田茂. IVR における患者の被曝線量測定に関する基礎的検討. 日本放射線技術学会第 3 1 回秋季学術大会. 2003 年 10 月 (予定)

上田規靖、諸澄邦彦、山口一郎. モンテカルロ法を利用した皮膚表面線量計算プログラムの有用性の検証. 日本放射線技術学会第 3 1 回秋季学術大会. 2003 年 10 月 (予定)

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得 なし

2. 実用新案登録 なし

3. その他 特記事項

表 1. 装置の一覧

装置名	製造元	購入年	I.I.使用期間
AdvantX LC	GE	1996年	7年
AdvantX LCA	GE	1997年	6年
ANGIOSTAR Plus	Siemens	2001年	1年10ヶ月
Multi Star TOP	Siemens	1995年	8年
AXIOM Artis FA	Siemens	2001年	1年7ヶ月
Integris V3000 SUPER100CP	PHILIPS	1992年	3年2ヶ月
Integris H5000F	PHILIPS	1998年	5年
ANGIOREX C/Ω KXO-80C	東芝	1992年	1年6ヶ月

(I.I.使用期間は2003年3月現在)

表 2 装置出力測定結果 (透視、MIX-DP: 15cm)

装置名	管電圧(kV)	管電流 (mA)	I.I. Size(inch)	Pulse rate(/s)	Hp(0.07) (mSv/min)	実効エネルギー ギ一(keV)
Advantx LCA	70	0.8	16	50	5.9	42
Advantx LCA	70	1.2	12	50	8.6	39
Advantx LCA	70	1.9	9	50	12	37
Advantx LCA	70	2.8	6	50	17	37
Advantx LC	80	1	9	50	8.8	40
Advantx LC	80	2	6	50	17	40
Advantx LC	80	4.1	4.5	50	30	40
Multistar-top	69	2.5	14.2	60	4.8	39
AXIOM Artis FA	65	72.4	11	15	4.7	37
AXIOM Artis FA	68	確定せず	8	15	7.5	37
ANGIOSTAR plus	確定せず	確定せず	11	15	40	40
ANGIOSTAR plus	確定せず	確定せず	8	15	58	57
INTEGRIS H5000F	60	10.3	9	15	34	41
INTEGRIS H5000F	61	11.8	7	15	52	34
INTEGRIS H5000F	63	13.1	6	15	68	44
OPTIMUS 2000	74	4.4	7	30	77	37
OPTIMUS 2000	70	3.6	5	30	85	38

表 3 装置出力測定結果 (透視、MIX-DP: 20cm)

装置名	管電圧(kV)	管電流(mA)	I.I. Size(inch)	Pulse rate(/s)	Hp(0.07) (mSv/min)	実効エネルギー (keV)
Advantx LCA	70	2.4	16	50	17.1	41
Advantx LCA	70	3.4	12	50	24.5	38
Advantx LCA	70	5.5	9	50	37.2	39
Advantx LCA	70	8.0	6	50	49.2	36
Advantx LC	81	3.1	9	50	27.0	41
Advantx LC	81	6.4	6	50	50.8	39
Advantx LC	94	6.3	4.5	50	65.2	42
Multistar-top	62	1.6	14	60	11.8	40
INTEGRIS H5000F	65	15	9	15	36.5	41
INTEGRIS H5000F	67	17.3	7	15	34.1	45
INTEGRIS H5000F	70	19.7	6	15	34.4	43
Integris V3000	85	5.7	6.5	60	46.1	41
ANGIOREX C/Ω	85	50	4.5	15	27.3	39

表 4 装置出力測定結果 (撮影：心臓モード, MIX-DP: 15cm)

装置名	管電圧(kV)	管電流(mA)	I.I. Size(inch)	Pulse rate(/s)	Hp(0.07) (mSv/s)	実効エネルギー (keV)
Advantx LC	75	6	9	25	3.2	40
Advantx LC	75	13	6	25	7.5	38
Advantx LC	75	25	4.5	25	11.4	37

表 5 装置出力測定結果 (撮影：心臓モード, MIX-DP: 20cm)

装置名	管電圧(kV)	管電流(mA)	I.I. Size(inch)	Pulse rate(/s)	Hp(0.07) (mSv/s)	実効エネルギー (keV)
Advantx LC	75	2.2	9	25	8.8	40
Advantx LC	75	4.9	6	25	18.4	40
Advantx LC	85	6.3	4.5	25	25.3	42
ANGIOREX C/Ω	77	730*	4.5	15	9.3	31

(* 最大管電流、無印は平均管電流)

表 6 装置出力測定結果 (撮影 : DSA モード, MIX-DP: 15cm)

装置名	管電圧(kV)	管電流(mA)	I.I. Size(inch)	Hp(0.07) (mSv/f)	実効エネルギー(keV)
Advantx LCA	70	400	16	0.43	42
Advantx LCA	70	400	12	0.66	44
Advantx LCA	70	400	9	1.26	41
Advantx LCA	70	400	6	2.31	41
Multistar-top	73	302	14.2	0.34	45
AXIOM Artis FA	77	319	11	0.08	43
AXIOM Artis FA	87	282	8	0.22	41
AXIOM Artis FA	97	193	5.5	0.25	43
ANGIOSTAR plus	82	299	8	0.15	44
ANGIOSTAR plus	73	288	11	0.18	37

表 7 装置出力測定結果 (撮影 : DSA モード, MIX-DP: 20cm)

装置名	管電圧(kV)	管電流(mA)	I.I. Size(inch)	Hp(0.07) (mSv/f)	実効エネルギー(keV)
Advantx LCA	80	400	16	0.94	41
Advantx LCA	80	400	12	1.6	40
Advantx LCA	80	400	9	3.38	41
Advantx LCA	80	400	6	6.76	40
Integris V 3000	75	592	6.5	10.81	35
Multistar-top	73	398	14.2	1.04	45

表 8. I.I. 照射野径(inch)と患者被ばく線量の関係 (Advantx LC、透視)

I.I. Size(inch)	4.5	6	9
X-ray beam width: cm	7.6	10.1	15.2
X-ray tube voltage: kV	80	80	80
SurfDose:mGy/min	30	16	8.6
Lungs (mGy/min)	2.7(0.6%)	2.5(0.8%)	2.7(0.9%)
Heart (mGy/min)	4.1(1.1%)	3.4(1%)	3.0(1.5%)
Effective dose (mSv/min)	0.7(0.9%)	0.6(1%)	0.7(0.9%)

Error: CV(%)

表 9. 被曝線量計測対象患者の基本属性 (年齢)

性別	集計項目	循環器	頭部	腹部	全体
女性	平均	56	54	68	59
	最大値	74	76	80	80
	最小値	38	27	50	27
	人数	2	10	6	18
男性	平均	63	46.5	69.7	65
	最大値	72	53	80	80
	最小値	50	40	58	40
	人数	9	2	10	21

表 10. 被曝線量計測対象患者の基本属性 (身長)

性別	集計項目	循環器	頭部	腹部	全体
女性	平均	145	156	152	153
	最大値	151	165	160	165
	最小値	139	148	145	139
男性	平均	162	160	162	162
	最大値	172	165	170	172
	最小値	153	155	155	153

表 11. 被曝線量計測対象患者の基本属性 (体重)

性別	集計項目	循環器	頭部	腹部	全体
女性	平均	47	55	49	52
	最大値	56	65	55	65
	最小値	38	45	45	38
男性	平均	61	65	59	60
	最大値	73	69	67	73
	最小値	53	60	50	50

表 12. 脳神経領域の塞栓術における患者被曝線量 (皮膚吸収線量) (mGy)

患者番号	前額部	後頭部	右側頭部	後頭部	最大部位	最大線量	透視時間		回数	撮影 総フレーム 数
							(分)			
1	15	130	200	-	右側頭部	200	35	16	754	
2	51	260	110	150	後頭部	260	8	9	147	
3	38	480	230	-	後頭部	480	121	22	570	
4	41	510	170	-	後頭部	510	34	18	600	
5	54	530	450	-	後頭部	530	70	41	689	
6	19	240	820	-	右側頭部	820	44	31	633	
7	58	850	190	-	後頭部	850	25	33	760	
8	28	1100	860	-	後頭部	1100	84	34	732	
9	107	1200	91	590	後頭部	1200	105	37	537	
10	22	260	1400	-	右側頭部	1400	32	23	1153	
11	108	1600	1400	-	後頭部	1600	121	89	2222	
12	47	2200	1200	-	後頭部	2200	116	50	836	
mean±S.D.	49±31	770±630	590±520	370±320		920±590	66±42	34±21	803±503	

第3四分位点：1300 mGy、「-」計測せず

表 13. 循環器領域の PTCA における患者被曝線量 (皮膚吸収線量) 分布 (mGy)

患者番号	内側	正中	外側	最大部位	最大線量	透視時間 (分)	撮影	
							回数	総フレーム数
1	51	48	38	内側	51	9	30	1904
2	100	86	65	内側	100	28	36	2277
3	13	27	120	外側	120	13	13	781
4	130	110	79	内側	130	19	5	231
5	35	170	130	正中	170	16	22	1515
6	18	85	220	外側	220	9	30	1614
7	120	230	200	正中	230	112	59	3425
8	250	170	200	内側	250	5	18	1197
9	260	190	120	内側	260	38	33	2079
10	1000	880	1000	外側	1000	25	48	3536
11	81	870	1400	外側	1400	9	19	1166
mean±S.D.	190±280	260±310	330±460		360±440	26±30	28±16	1800±1000

第 3 四分位点 : 250 mGy

表 14. 消化器領域のリザーバー埋込み術における患者被曝線量 (皮膚吸収線量) 分布(mGy)

患者番号	正中	右肝	左鎖骨部	右臀部	最大部位	最大線量	透視時間 (分)		撮影	
							回数	総フレーム数		
1	4	7	5	-	右肝	7	14	5	231	
2	63	17	-	-	正中	63	23	4	132	
3	71	20	-	-	正中	71	26	5	202	
4	120	23	1	-	正中	120	4	3	44	
5	130	110	7	-	正中	130	6	4	51	
6	380	31	330	-	正中	380	4	7	141	
7	510	300	-	-	正中	510	54	8	324	
8	540	27	390	-	正中	550	20	6	70	
9	830	-	25	39	正中	830	52	7	118	
10	1200	1000	86	-	正中	1200	20	11	215	
11	1600	1322	-	94	正中	1600	42	6	137	
12	2100	210	-	35	正中	2100	65	13	143	
13	3400	1100	-	58	正中	3400	54	19	169	
14	4300	410	12	56	正中	4300	120	7	84	
Mean± S.D.	1100±1300	360±480	110±130	56±23		1100±1300	36±32	8±4	147±77	

第3四分位点：1500mGy、「-」計測せず

表 15. 脳神経領域の IVR における血管造影装置の自動記録を用いた主要臓器吸収線量および実効線量のモンテカルロ法による推計結果

Projection	Lateral	front	Total
SurfDose(mGy)	280	71	351
	Organ Dose(mGy)		
Ovaries	0	0	0
Active_bone_marrow	4.2E+00	2.9E+00	7.1E+00
Skeleton	2.4E+01	1.6E+01	4.0E+01
Lungs	1.6E-01	1.2E-01	2.8E-01
Stomach	7.8E-03	3.4E-03	1.1E-02
Liver	8.8E-03	1.0E-02	1.9E-02
Thyroid	7.7E+00	6.9E+00	1.5E+01
Oesophagus	1.5E+00	6.9E-01	2.1E+00
Breasts	3.5E-02	3.5E-02	7.1E-02
Urinary_bladder	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Skin	5.4E+00	3.6E+00	9.1E+00
Adrenals	1.6E-02	0.0E+00	1.6E-02
Brain	5.7E+01	3.0E+01	8.7E+01
Kidneys	1.5E-03	3.4E-03	4.9E-03
Pancreas	1.1E-03	0.0E+00	1.1E-03
Small_intestine	6.3E-05	1.6E-04	2.3E-04
Spleen	8.9E-03	0.0E+00	8.9E-03
Thymus	1.4E-01	2.0E-01	3.4E-01
Uterus	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Remainder_(muscle)	2.1E+00	1.1E+00	3.1E+00
Gall_bladder	8.6E-03	1.6E-04	8.8E-03
Heart	3.8E-02	2.6E-02	6.3E-02
Total_body	6.1E+00	3.7E+00	9.8E+00
Effective_dose(mSv)	2.8E+00	1.7E+00	4.5E+00

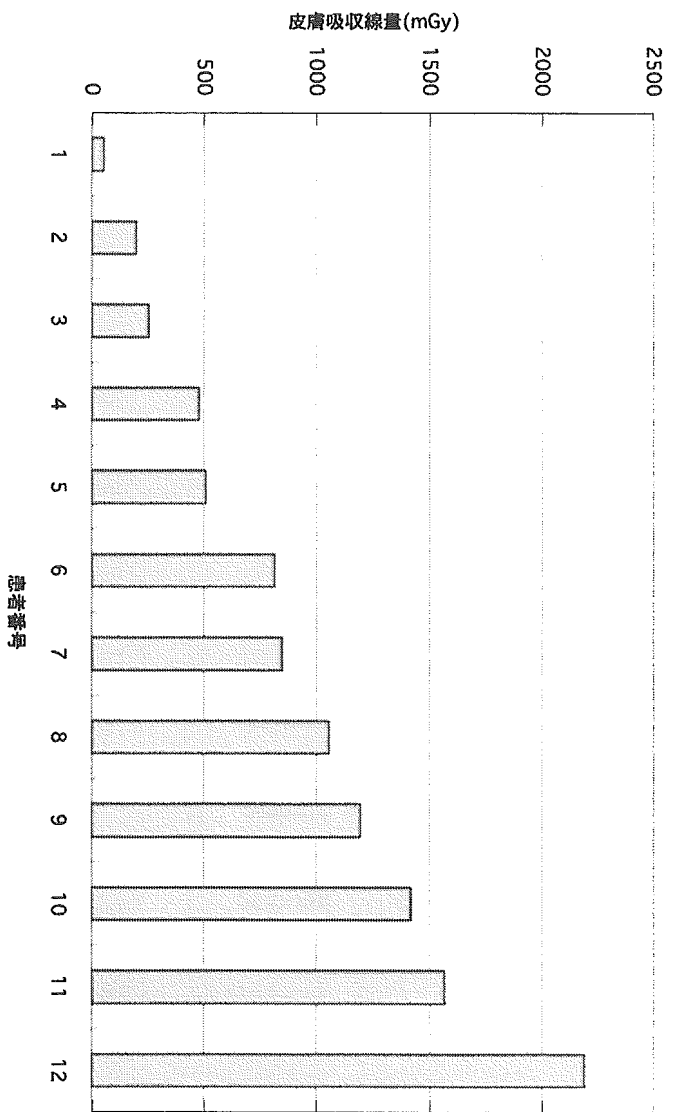


図 1.脳神経領域の塞栓術における患者被曝線量(皮膚吸収線量)分布

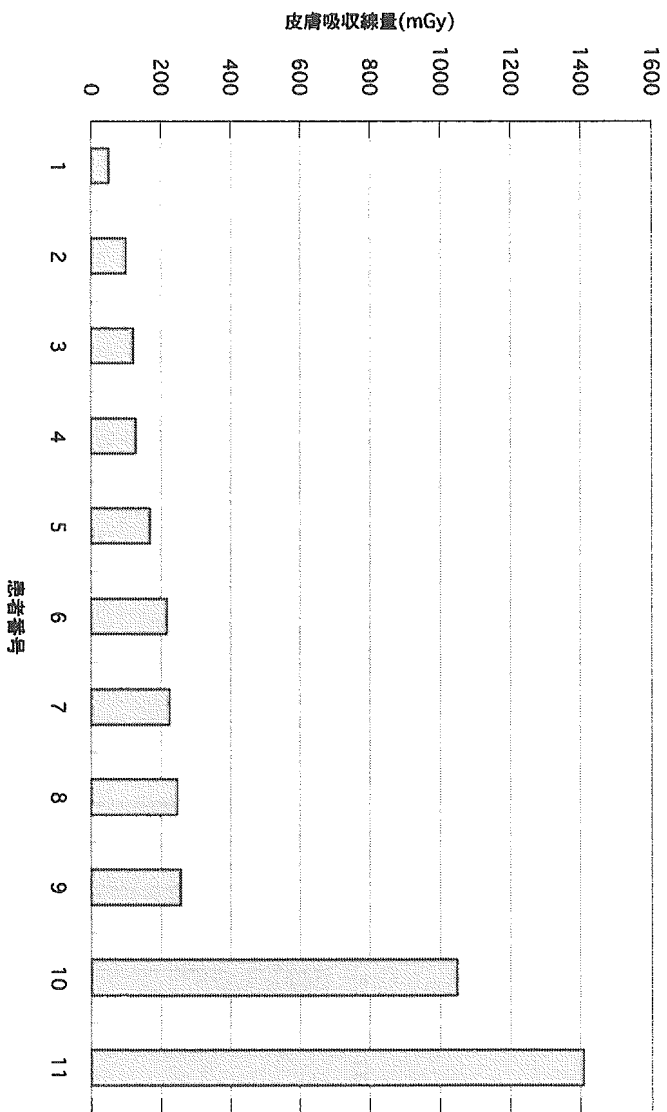


図2.循環器領域のPTCAにおける患者被曝線量(皮膚吸収線量)分布

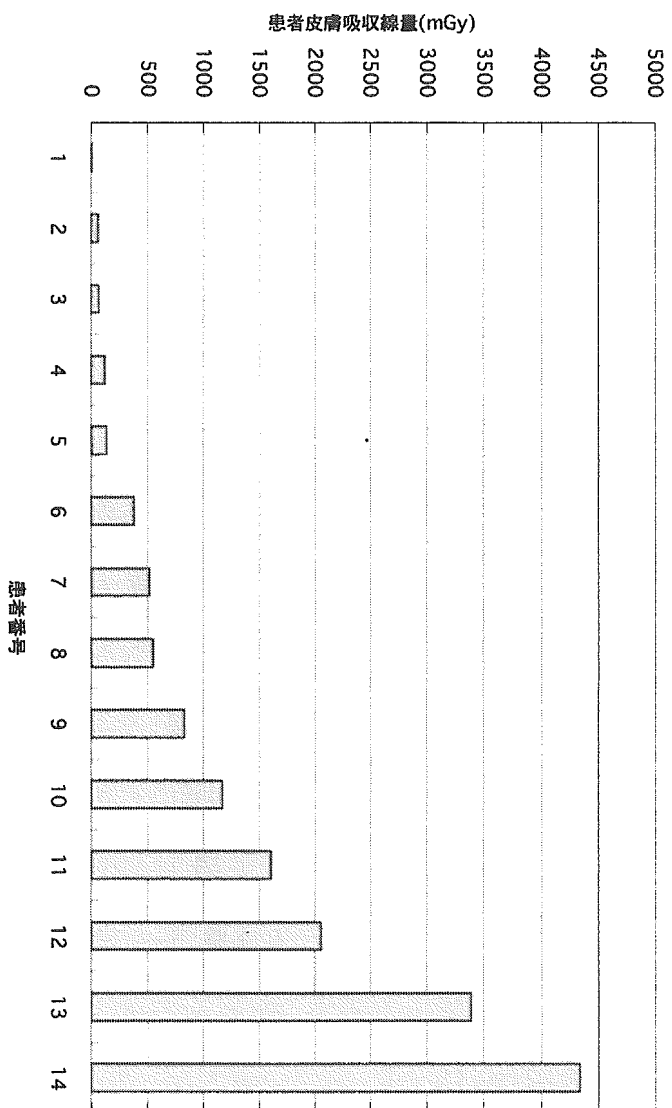


図 3. 消化器領域のリザーバー埋込み術における患者被曝線量 (皮膚吸収線量) 分布

The relationship between absorbed dose and depth of subcutaneous tissue

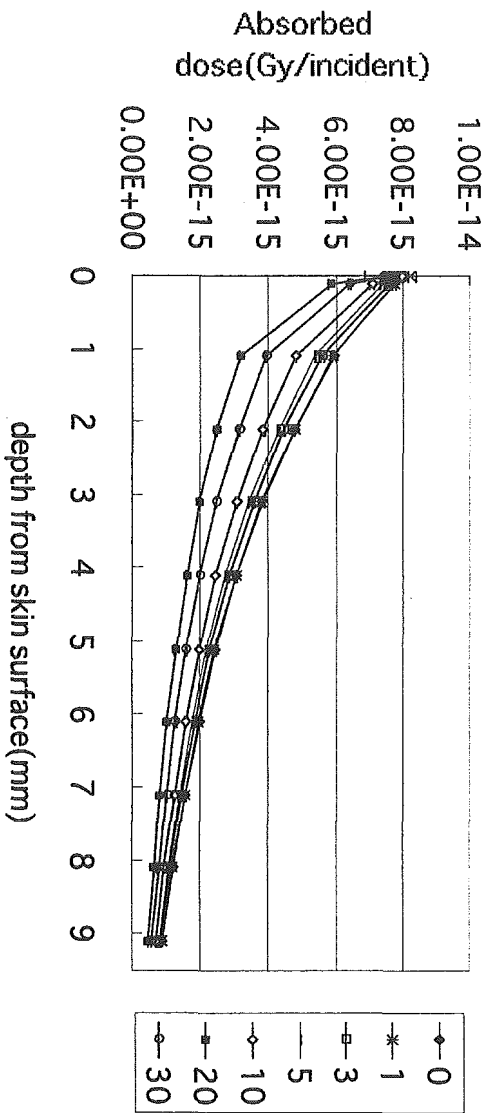


図 4. 皮下脂肪の厚さ毎の組織吸収線量深度分布