

課題研究報告

循環器撮影 (IVR) における被曝線量の全国調査

弘前大学医学部附属病院放射線部	木村 均
秋田成人病医療センター放射線科	土佐 鉄雄
岩手医科大学附属病院放射線部	村上 龍也
東北大学医学部附属病院放射線部	立花 茂
N T T東日本東北病院放射線科	大久 敏弘
山形大学医学部附属病院放射線部	佐藤 俊光
福島県立医科大学附属病院放射線部	久保田浩之
弘前大学医学部附属病院放射線部	神 寿宏
新潟大学医学部附属病院放射線部	吉村秀太郎

はじめに

我々は、第16回全国循環器撮影研究会総会学術研究発表会において、今回の課題研究のアンケート方法について提案した¹⁾。これに基づき平成14年4月より約6ヶ月間のアンケート調査を実施した。回収されたアンケートの総施設数は47施設、装置総数は65台であった。全症例数503例中、有効症例数は473例であった。無効となったアンケート30例は、IVRの適用にならず診断のみで終了、記載不備により線量計算が出来ない等の理由により今回の調査では使用できなかった。部位別症例数は、頭部75例、腹部355例、骨盤部43例であった。X線機器については、メーカー、線量に影響を及ぼすと考えられるグリット、総濾過板の厚さ、I.I.設置からの経過月数及び交換までの期間、管電圧・管電流の調整からの経過期間などについて検討を加えた。アンケートからの線量算出は、全国循環器撮影研究会皮膚線量推定プログラムVer-1.1を用いて行った²⁾。頭部においては、多方向からのX線照射となる場合が多く、また、絞りや被写体の大きさ等により、照射された線量を正面・側面に区分するのは困難である。そこで、本調査では、X線照射方向にとらわれず患者が1検査に被曝した全線量として求めた。

1. アンケートの分類

本調査では、部位および手技項目を頭部では塞栓術、血栓溶解術、動注、その他とし、腹部では塞栓術、TIPS、リザーバ留置、血流改変術、門脈塞栓、その他、骨盤部ではPTA、ステント留置、その他とした。アンケートで得られた各部位と手技を該当するアンケート項目に分類を行った。

頭部の塞栓術では、塞栓、塞栓+動注として記載されたアンケートについて、血栓溶解術、動注はそれらについて、その他では近年検査の増加が著しいステント留置、血管拡張について検討を加えた。得られた症例数は、塞栓術43例、血栓溶解術4例、抗がん剤動注23例、血管拡張術5例であった。

腹部では、塞栓術と塞栓術に加え動注を行ったもの、リザーバ留置は血流変更を含むリザーバに関するものについて検討を行った。その他として肝臓に対する動注について、また、近年手術に変わる手技として注目されている動脈瘤に対するステントグラフト置換、乳房動注、IVCフィルタ、腎塞栓術、TIPS、気管支動脈TAE、PTRA、消化管TAE、門脈TAE、AVMへのTAE、SMAへのステント留置など貴重な症例のアンケートが得られた。塞栓術は、256例で全調査例の半分を占めていた。リザーバ埋め込みに関係する症例は59例であった。抗がん剤動注は11例で、血流変更は3例であった。その他として種々の症例があっ

たが17例と症例数が少なく、今回は参考とした。

骨盤部では、得られた症例の手技別分類は塞栓術、血管拡張術、動注、血流変更、リザーバ留置と多岐にわたった。近年子宮筋腫に対するIVRとして注目されている子宮動脈塞栓術(UAE)について、患者の希望する事を鑑み、症例数・施設が限られているが検討を行った³⁾。

得られた症例数は、PTA、ステント留置として19例、塞栓術として8例、動注、血流変更は5例であった。

2. 装置上からの検討

アンケートで得られた65装置のX線機器メーカーの約半数は東芝であった(図1)。線量に影響を及ぼすと考えられるグリッドは、10:1 44本/cmが半数を占めていた。また、他メーカーに比較して、シーメンスは格子比の高いグリッドを使用していた(図2)。総濾過板は、約半数の施設で同様の厚さであり、平均3.03mmAlであった(図3)。使用装置のX線出力管理は、被曝線量の推定上重要であると共に、機器を管理する診療放射線技師の任務としても重要なことである。調査

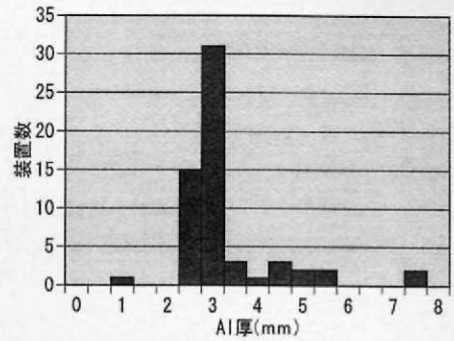


図3 総ろ過板の厚さ

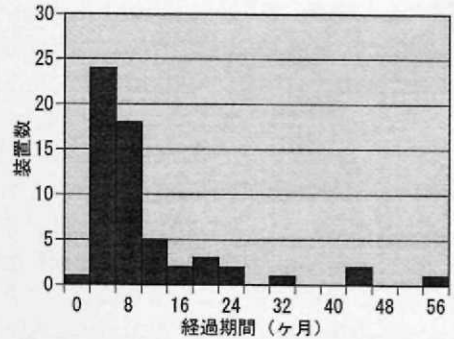


図4 管電流、管電圧調整後の経過月数

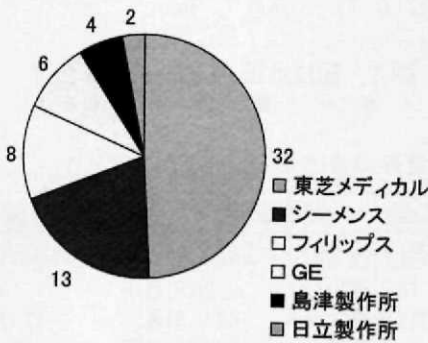


図1 装置 (機器メーカー)

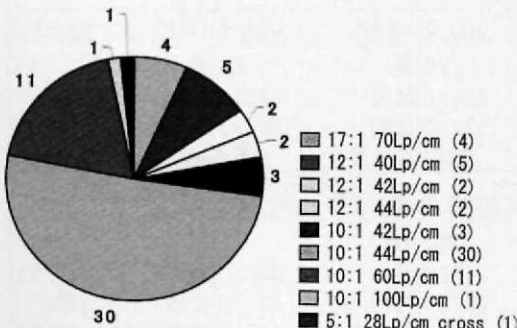


図2 装置 (機器メーカーとグリッド)

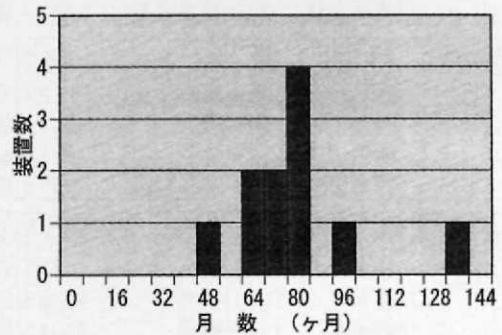
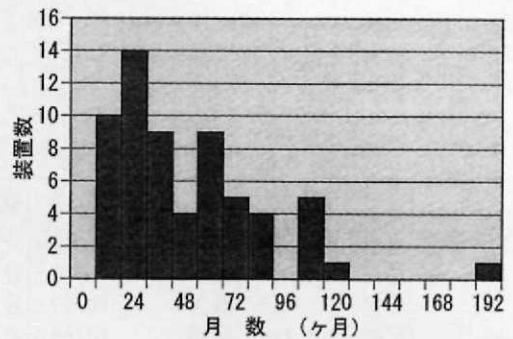


図5 I.I.の使用期間と交換時期
上段: I.I.の使用期間、下段: I.I.の交換時期

の結果、機器のX線出力調整は平均8.78ヶ月で調整が行われていた。しかし、56ヶ月を越える施設もあり、装置の維持・管理では問題があると思われる。大半の施設が半年で調整をしていることから機器の状態は概ね良いと判断した(図4)。I.Iの使用期間は平均43.2ヶ月で、最長192ヶ月であった。I.I交換は、60ヶ月過ぎから増加を示し、一般的に言われていることを裏付ける結果となった(図5)。

3. 部位と線量

図6に分布図を、表1に部位の線量集計表を示す。透視時間は、腹部、頭部ともほぼ同程度であった。透視線量では、頭部の平均が他部位を上回るが、最大線量を記録した症例は腹部であった。また、最小と最大線量の差は、腹部が大きかった。撮影フレーム数は、どの部位もほぼ同程度を示した。撮影線量は、他部位と比較し頭部が約1.4倍を示した。合計線量は、腹部と骨盤部は同程度であったが、頭部は約30%高い値を示した。全線量に占める透視の割合は、頭部では約57%、腹部・骨盤部では約64%であった。前回の報告時、当院における透視の割合を述べた。当院同様透視線量の割合が高いことを裏付ける結果となった。透視線量の低減の必要性が再確認された。

4. 手技と線量

各部位の手技を、先に述べた分類に分け線量を求めた。表2に頭部の手技別の線量等を示す。塞栓術関係では、平均は4,792mGyであるが、それ以上の線量を示す症例も多数存在した。また、最小、最大線量の差は11,564 mGyであった。他手技の線量は、動注では752mGy、ステントでは2,029mGy、血栓溶解では3,332mGyであり、塞栓術に比較すると少ない結果となった。塞栓術では塞栓を超選択的に行う頭部であるだけに特別の注意が払われるなどの理由でこのような線量の幅が

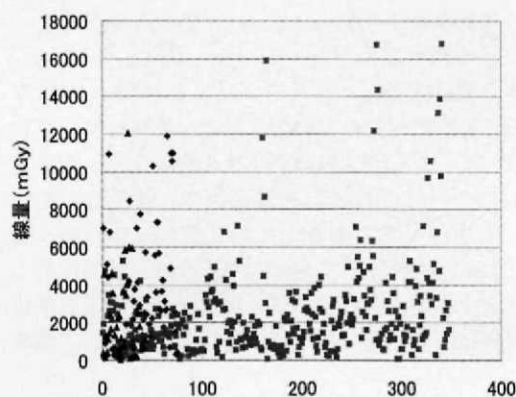


図6 部位と透視、撮影線量合計
◆：頭部、■：腹部、▲：骨盤部

表1 各部位の透視、撮影線量等のまとめ

	透視時間		透視線量		撮影フレーム数		撮影線量		透視、撮影線量	
頭部	平均	33.1	平均	1856.8	平均	470.1	平均	1422.1	平均	3278.9
	最小	1.0	最小	27.5	最小	18.0	最小	20.9	最小	64.5
	最大	129.1	最大	10797.0	最大	2358.0	最大	6243.3	最大	11877.7
	範囲	128.1	範囲	10769.4	範囲	2340.0	範囲	6222.5	範囲	11813.3
	標準偏差	27.3	標準偏差	2473.7	標準偏差	436.1	標準偏差	1452.5	標準偏差	3128.6
腹部	平均	28.3	平均	1560.4	平均	302.9	平均	886.2	平均	2452.6
	最小	0.4	最小	2.4	最小	20.0	最小	8.3	最小	33.1
	最大	124.0	最大	14917.0	最大	2341.0	最大	6483.6	最大	16782.7
	範囲	123.6	範囲	14914.6	範囲	2321.0	範囲	6475.3	範囲	16749.6
	標準偏差	19.4	標準偏差	2159.6	標準偏差	309.6	標準偏差	895.2	標準偏差	2519.0
骨盤部	平均	34.6	平均	1319.0	平均	277.1	平均	732.3	平均	2051.3
	最小	1.5	最小	19.4	最小	39.0	最小	7.7	最小	48.3
	最大	102.1	最大	9523.5	最大	2161.0	最大	3287.0	最大	12076.1
	範囲	100.6	範囲	9504.2	範囲	2122.0	範囲	3279.3	範囲	12027.7
	標準偏差	27.8	標準偏差	1729.1	標準偏差	329.5	標準偏差	789.9	標準偏差	2299.1

単位：時間(分)，線量(mGy)

表2 頭部手技別線量一覧

	透視時間	透視線量	撮影フレーム数	撮影線量	透視、撮影線量合計
コイル、塞栓、塞栓+動注					
平均	41.1	2832.9	604.4	1959.9	4792.8
最小	2.1	150.6	43	80.8	313.4
最大	129.1	10797	2358	6243.3	11877.7
範囲	127	10646.4	2315	6162.5	11564.3
標準偏差	29.7	2882.2	471.1	1517.3	3235.5
動注					
平均	21.4	426.1	171	326.7	752.8
最小	1	27.5	18	20.9	64.5
最大	72.8	1738.9	962	2601.4	3487.8
範囲	71.8	1171.4	944	2580.5	3423.3
標準偏差	20.5	462.5	224.6	552.5	853.1
ステント留置、血管拡張					
平均	30.7	784.1	505.2	1244.9	2029
最小	9.6	231.1	177	111.3	730
最大	54.4	1426.7	863	2716.8	3345.4
範囲	44.8	1195.6	686	2605.5	2615
標準偏差	19.3	517	293.6	1125.3	1179.3
血栓溶解					
平均	18.4	1161.5	694.5	2171.4	3332.9
最小	7.5	538.6	436	752	2202.9
最大	33	1704.2	1116	3869	5573.2
範囲	25.5	1165.6	680	3117	3370.3
標準偏差	10.7	519.6	304.5	1311.7	1521.6

単位：時間 (分)，線量 (mGy)

表3 腹部手技別線量一覧

	透視時間	透視線量	撮影フレーム数	撮影線量	透視、撮影線量合計
塞栓術					
平均	28.2	1533.2	331.4	960.8	2494.1
最小	1.1	11.3	20	8.3	174.1
最大	118.2	12845.5	2341	6483.6	16782.7
範囲	117.1	12834.2	2321	6475.3	16608.6
標準偏差	18.7	1948.8	339.2	924.8	2286.2
リザーバ関係					
平均	28.3	1480.7	201.9	583.5	2064.3
最小	0.8	2.4	37	19.1	33.1
最大	95.4	14917	747	1964.5	15884.2
範囲	94.6	14914.6	710	1945.4	15851.1
標準偏差	19.4	2156.3	151.3	496.6	2353.3
動注					
平均	18.8	777	246.6	380.2	1157.2
最小	0.4	12.4	46	40.2	52.6
最大	35.4	2728.8	645	2141.8	3135.1
範囲	35	2716.4	599	2101.6	3082.5
標準偏差	11.9	836.1	177	595.7	1112.2
ステント、グラフト留置術					
平均	89	12729	377	2791.2	15520.6

単位：時間 (分)，線量 (mGy)

これを超える症例は75例中15例、20%であった。先に述べたように頭部においては照射部位の特定が困難であり、これらが全て同一部位とは考えられないが今後検討を要する。これらの事より、全部位を通じてFDAからの放射線による皮膚の確定的影響の閾値と発症時期については、身近なものにとらえ再度各施設において検討する必要がある。

表5 放射線による皮膚の確定的影響の閾値と発症時期

皮膚障害	閾値 (Gy)	発症時期
初期紅斑	2	hours
一次的脱毛	3	3 weeks
紅斑	6	10 days
永久脱毛	7	3 weeks
乾燥剥離	10	4 weeks
湿潤線維	10	
皮膚萎縮	11	> 14 weeks
毛細血管拡張	12	> 52 weeks
湿性剥離	15	4 weeks
遅発紅斑	15	6-10 weeks
壊死	18	> 10 weeks
二次潰瘍形成	20	> 6 weeks

腹部、骨盤部(透視、撮影線量合計)

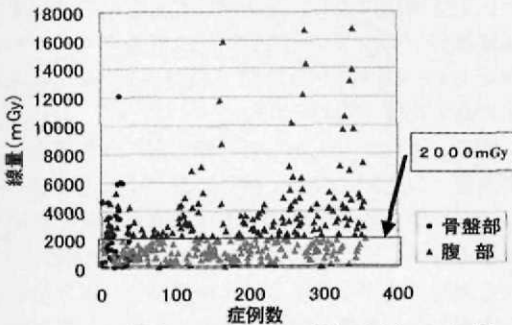


図7 初期赤斑が生じる線量以上の症例

● : 骨盤部、▲ : 腹部

頭部(透視、撮影線量合計)

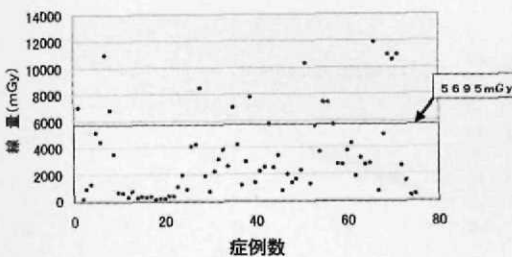


図8 頭部で脱毛が観察された線量を超えた症例数

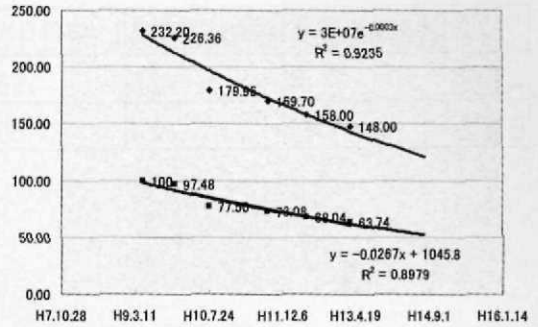


図9 I.I.使用期間とGxの関係

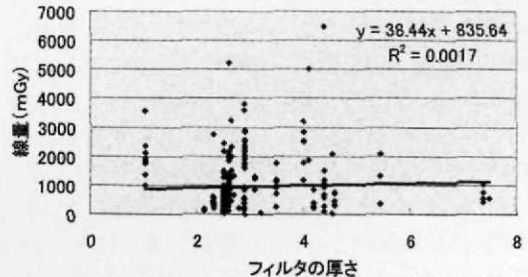
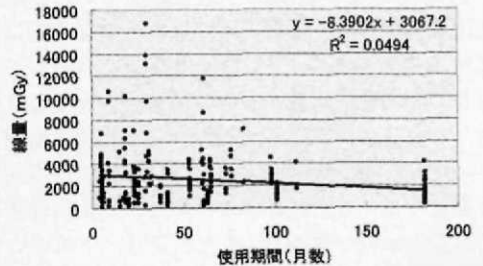
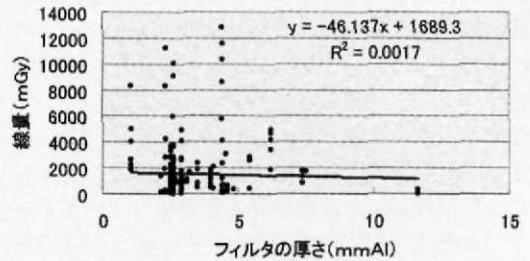


図10 腹部塞栓術におけるフィルタ厚、I.I.使用期間と線量の関係

上段: フィルタ厚と線量 (透視)
 中段: I.I.使用期間と線量
 下段: フィルタ厚と線量 (撮影)

表6 腹部塞栓術における施設間の線量等の比較

	透視時総濾過	撮影時総濾過	I.I使用月数	透視時間	透視線量	フレーム数	撮影線量	合計線量
A施設	4.44	2.5	20	13.1	303.7	46.8	153.8	457.5
B施設	4.4	4.4	30	30.8	7929.2	529.7	1832.9	9762.1

単位:分 mGy

6. 装置と線量

アンケートをもとに、被曝線量低減の可能性について検討した。I.I.は、使用条件・期間により輝度は低下する。低下とともにX線条件は上昇し、被曝線量は増加する。そこで、I.I.の使用期間と輝度変換係数(Gx)の関係を調査した。図9は秋田県成人病医療センター加藤守氏よりのデータでI.I.の劣化について長年にわたり調査した貴重な結果である。使用頻度にもよるが、約5年、60ヶ月でGxは半分となり、一般的に言われている5年で半分の輝度となっていた。使用頻度を加味した、累積線量による輝度低下を提唱しているメーカーもある。I.I.の使用期間は平均43.2ヶ月であり、Gxは約40%低下した状態と推測された。19台が50%輝度である60ヶ月を越えていた。最長使用期間は180ヶ月をこえていた。被曝線量に関係するフィルタ厚とI.I.の使用期間について、線量との相関を症例数が多い腹部塞栓術をもとに検討した。フィルタ厚と透視線量では相関係数が-0.0418で、撮影線量では0.0417でI.I.の使用期間と線量では-0.222となりいずれにも相関は認められなかった(図10)。また、グリットについては大多数の施設で使用している12:1から10:1の露出倍数は3~4であり、ほぼ同一となり線量には差が生じないと思われた⁵⁾。したがって、装置に被曝線量の大幅な低減を期待できる要素はないと思われた。そこで、最大と最小線量を示した施設間の腹部塞栓術における線量等の比較をした。表6にそれらの施設間の装置、線量の平均を示す。合計線量の比較では、約21倍の差となった。撮影時の総濾過板やI.I.の使用期間に違いはあるが、これらが原因となる差とは考えられない。アンケートの対象となった検査の困難度の違い、施設の考え方の違い等により、一概には断定できないと考える。しかし、その差は驚くほど大きい値を示した。線量に関係する項目について、他施設との平均値との比較においても少ないことがわかっ

た。これらのことから、短時間透視、必要最小限の撮影フレームが有用であることが再確認した。我々は、被曝を低減する要素の積み重ねが大切と思われた。

7. 線量の検証

以上について、全国循環器撮影研究会皮膚線量推定プログラムで計算された線量をもとに論じてきた。計算値を検証するために、測定器による線量とアンケートからの計算による線量の相関について検討した。東北循環器撮影研究会冊子「被曝低減へのアプローチ」にこれらについては掲載したが⁶⁾、今回、大阪府立母子保健総合医療センター田辺智晴氏による、全国循環器撮影研究会皮膚線量推定プログラムとTLDとの相関データから検証した(図11)。その結果相関係数0.937と非常に高い相関が認められた。

次に、アンケートからの計算で得られた線量と実測値との相関について検討した。千代田テクニクス社製ガラス線量計をアンケート協力施設に再度配布を行い、検査時にアンケート用紙への条件記入と同時に、ガラス線量計を検査部位に置き測定を実施した。ガラス線量計はフィルタを装着し線量の測定を行うが、X線不透透性のため検査時には障害となる。そのため、フィルタをはずして測定を行うことを考え、その際のエネルギー特性を

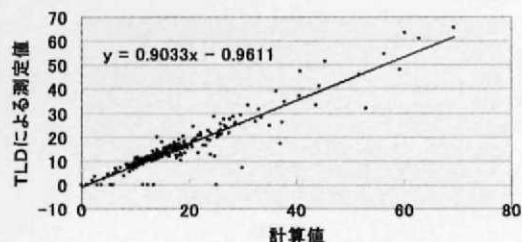


図11 東北循環器撮影研究会作成プログラムとTLDとの相関

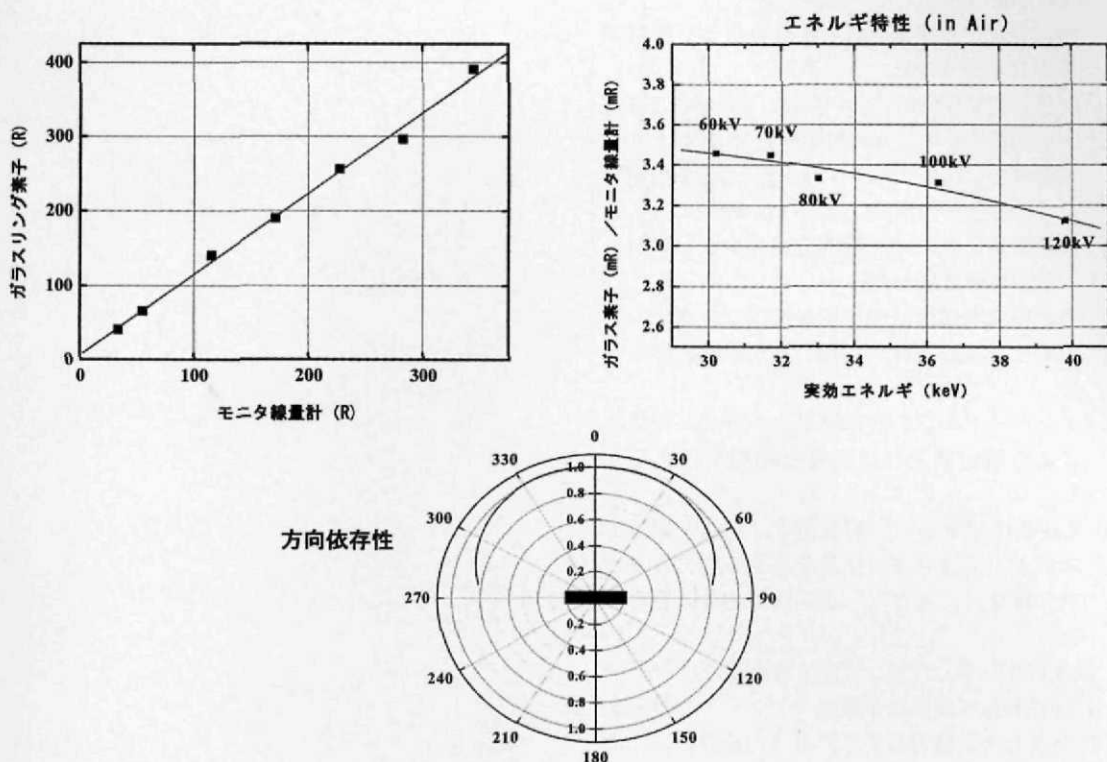


図12 ガラス線量計の特性

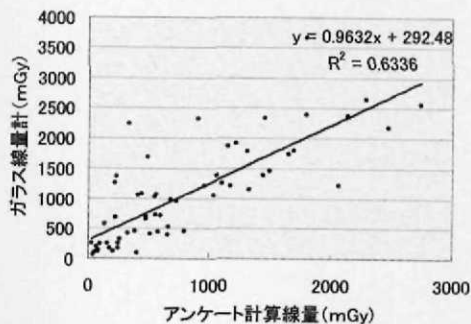


図13 アンケート計算線量とガラス線量計との比較

調べた。結果は、70～80kVでは約3.4の係数値を得た。方向依存性は45度までは問題がなかった。図12にガラス線量計とモニタ線量計の線量の比較とガラス線量計の方向依存性を示す。ガラス線量計の測定値とアンケートからの計算結果の相関は0.286であった。測定値について再検討した結果、アンケートからの計算結果に比較し、ガラス線量計の値が2000から10000mGy少ない試料の存在が判明した。線量測定中照射野からガラ

ス線量計が外れたと考えられ、これらの試料を除外し再度計算を行った。その結果、相関は0.634となり強い相関が認められた(図13)。

以上より、絶対的な測定値の正確さは各種線量計にあるものの、照射野からはずれると桁数の違う線量を示す場合があることがわかった。今回行った条件記録法は、手技的には煩雑ではあるがたいへん有用な方法と思われた。特に、近年の機器は条件がデジタルでログに保存されている場合が多く、これを利用することにより更に簡便に正確な値が得られると推測する。

8.まとめ

1. I.I.の使用期間は63台中19台がGx50%以下であった。
2. 各部位ごとの線量には極端な差がなかったが、腹部では、頭部を超える例があった。
3. 各部位とその手技では、頭部ではコイル使用等の塞栓術、腹部ではリザーバ埋込み術、骨盤部では血流変更術が多く、いずれも

10000mGyを超えていた。

4. 頭部で脱毛が観察された線量を超えた例が75例中15例あった。
5. 腹部および骨盤部においては、397例中174例が初期紅斑を生じる線量を超えていた。
6. 被曝線量に関係するフィルタ厚とI.I.使用期間には、線量との相関は認められなかった。
7. 被曝線量低減には短時間透視、少ないフレーム数が有用であった。
8. 東北循環器撮影研究会線量推定プログラムとTLDとの測定値には有意な相関が認められた。
9. アンケートからの計算結果と、ガラス線量計による測定結果には有意な相関が認められた。
10. X線条件記録からの線量推定は記録が煩雑であるが、記録方法に検討を加える事によりガラス線量計に劣らない測定法であると思われた。

最後になりましたが、今回大変困難なアンケートにも係わらず貴重な多数のアンケートを得る事ができました。協力して下さった施設の方々に改めてお礼を申し上げます。また、ガラス線量計をお貸し下さいました、千代田テクノル株式会社はこの場を借りてお礼申し上げます。発表の機会を与えて下さった全国循環器撮影研究会に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 木村 均他：循環器撮影 (IVR) における被曝線量の全国調査. 全国循環器撮影研究会誌 第15巻：17-20, 2003
- 2) 森剛彦ほか：X線診断領域における患者の皮膚入射線量簡易換算式NDD法 (社) 茨城県放射線技師会 (社) 茨城県放射線技術学会茨城支部被曝低減委員会、1996
- 3) 体験者ホームページ参照、
www3.ocn.ne.jp/~embo
- 4) DA: Avoidance of Serious X-Ray-Induced Skin Injuries To Patients During Fluoroscopically-Guided Procedures. Sep.9.1994
- 5) 柳瀬敏幸他：レントゲンの取扱い方. 裳華房、252, 1972
- 6) 東北循環器撮影研究会：被曝低減へのアプローチ 20-26, 1998

課題研究報告

座長集約

山梨大学医学部附属病院 坂本 肇

本研究は、頭部、腹部、骨盤部領域におけるIVR時の患者皮膚線量を全国的に調査し現状を明らかにした報告である。具体的な調査部位、IVR手技は頭部領域の塞栓術（コイル塞栓、塞栓+動注）、動注、血管拡張・ステント留置、血栓溶解であり、腹部領域の塞栓術、リザーバ留置、動注および、骨盤部領域の血管拡張術、塞栓、動注、リザーバ留置などである。算出方法は、アンケート内容から全国循環器撮影研究会皮膚線量推定プログラムを用い皮膚線量を推定した。また、透視線量、撮影線量、その両者の合計線量にて検討した。さらに、推定線量を検証するためTLDおよびガラス線量計による実測値と比較し、今回行った推定計算値の精度を裏付けした。

結果として、頭部領域IVRにおいて平均透視時間33.1分、平均透視線量1856mGy、平均総線量3278mGy、腹部領域IVRにおいて平均透視時間28.3分、平均透視線量1560mGy、平均総線量2452mGy、骨盤部領域IVRにおいて平均透視時間34.6分、平均透視線量1319mGy、平均総線量2051mGyであった。各領域における透視時間の平均値には差が少ないが、頭部領域においては撮影線量が多く平均総線量は約30%高い結果となった。また、各領域における総線量の平均値が2Gyを超えていた結果には驚くべきものがある。皮膚の初期紅斑が発生する閾値の2Gyを超える症例は全症例の53%であり、頭部領域において実際に脱毛が発生した線量(5695mGy)を超える症例は75例中15例の20%であった。さらに、最大線量は頭部領域で11.8Gy、腹部領域で16.7Gy、骨盤部領域で12.0Gyの推定線量が報告された。

IVRによる放射線皮膚障害の学会発表や論文などにおいて、本邦では心臓領域IVRが圧倒的に多い。しかし、今回の報告から腹部や骨盤部において初期紅斑の閾値の2Gyを超える症例が約50%あり、今後は十分な放射線管理が重要であると考えられる。また、頭部領域IVRにおいては脱毛が発生する頻度が高いと思われるため、治療前の患者さんへのインフォームドコンセントが必要であり、

水晶体白濁の閾値は約1Gyであることより眼窩部への照射には十分な注意が必要と考える。また、同様なIVRにおいても施設間に大きな線量較差があった。治療の難易度や方法が施設により異なるため一概に比較はできないが、低パルスレートの使用や透視時間の短縮化による透視線量低減、撮影フレームレートの再確認等による撮影線量低減など、各施設の現状に合わせた被曝線量低減方法を再検討する必要があると考える。

質疑について、川中氏（小倉記念病院）より、患者さんへの放射線被曝についてのインフォームドコンセントはクリティカルパスの説明時に行い、検査時は透視時間が1時間を超えないように注意し、皮膚線量が多かった症例に対し主治医に報告し経過観察を行うようにしているとの発言があった。患者さんへのインフォームドコンセントは重要であり、検査後の皮膚線量の記載方法や経過観察等については今後のさらなる検討が必要であると考えられる。天内氏（横浜市大センター病院）より、アンケートから得られた推定線量は総線量であり最大皮膚線量とは異なるのではとの質問に対し、報告者は腹部・骨盤部領域では推定値がほぼ最大皮膚線量を示し、頭部領域では正面方向と側面方向の重なるの推定が難しいため最大皮膚線量ではない可能性があるとの回答であった。報告された推定値はガラス線量計との比較が行われていることから信頼性は高いと考える。また、田辺氏（大阪府立母子総合医療センター）より、検査中リアルタイムに線量推定が可能なNDD法（全国循環器撮影研究会皮膚線量推定プログラム）や面積線量計などは臨床において重要であるとの意見があった。

今回の報告により、現状でのIVRにおける患者皮膚線量が明らかになったと考える。今後、この線量を如何にして低減するかが課題である。さらに、被曝線量の測定方法や検査後の線量記載方法などの規格化が急務であると考えられる。最後に、貴重なデータを会員の方々に報告した木村氏および研究グループにお礼を申し上げる。