



Title	肝細胞癌の動脈塞栓療法における患者と術者の被曝測定
Author(s)	石口, 恒男; 中村, 仁信; 岡崎, 正敏 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(14), p. 839-844
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19077
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

肝細胞癌の動脈塞栓療法における患者と術者の被曝測定

石口 恒男¹⁾ 中村 仁信²⁾ 岡崎 正敏³⁾ 澤田 敏⁴⁾ 高安 幸生⁵⁾
橋本 統⁶⁾ 林 信成⁷⁾ 古井 滋⁸⁾ 小山 修司⁹⁾ 前越 久⁹⁾

1)名古屋大学医学部放射線科 2)大阪大学医学部放射線科 3)福岡大学医学部放射線科 4)関西医科大学放射線科
5)兵庫医科大学放射線科 6)慶應義塾大学医学部放射線科 7)福井医科大学放射線科(現: Interventional Radiologist)
8)帝京大学医学部放射線科 9)名古屋大学医学部保健学科 1-8)日本血管造影・Interventional Radiology学会放射線防護委員会

Radiation Exposure to Patient and Radiologist During Transcatheter Arterial Embolization for Hepatocellular Carcinoma

Tsuneo Ishiguchi¹⁾, Hironobu Nakamura²⁾,
Masatoshi Okazaki³⁾, Satoshi Sawada⁴⁾,
Yukio Takayasu⁵⁾, Subaru Hashimoto⁶⁾,
Nobushige Hayashi⁷⁾, Shigeru Furui⁸⁾,
Shuji Koyama⁹⁾ and Hisashi Maekoshi⁹⁾

Purpose: To evaluate radiation exposure to patients and radiologists during transcatheter arterial embolization (TAE) for hepatocellular carcinoma.

Materials and Methods: In 39 TAE procedures performed at eight institutes, skin doses were evaluated with thermoluminescence dosimeters at the patient's back (entrance surface) and lower abdomen, and at the radiologist's forehead and abdomen. Real-time dosimeters were also used to evaluate patient skin dose.

Results: The patients' mean entrance surface dose was 973+/-681 mGy (range, 185 to 3543 mGy) with the mean fluoroscopic time of 21 minutes and 6 digital subtraction angiography (DSA) acquisitions. The dose at the patients' lower abdomen was 0.98+/-0.77 mGy. Doses for the radiologists were 0.04+/-0.04 mGy at the forehead and 0.15+/-0.19 mGy and 0.005+/-0.01 mGy at the abdomen over and under the apron, respectively. Fifty-six percent of the patients' skin dose was from DSA and 44% from fluoroscopy.

Conclusions: Patient skin dose may occasionally exceed the dose for transient erythema. Because a patient may have repeated TAEs, skin doses or X-ray conditions should be recorded. The exposed doses of radiologists were considered to be acceptable with proper techniques. Further efforts to reduce radiation should be directed toward both DSA and fluoroscopy.

Research Code No.: 607.6

Key words: Radiation protection, Interventional Radiology, Radiations, exposure to patients and personnel, Radiations, measurement, Skin dose monitor, TLD, thermoluminescence dosimeter

Received Aug. 9, 2000; revision accepted Sep. 27, 2000

- 1) Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine
- 2) Department of Radiology, Osaka University Faculty of Medicine
- 3) Department of Radiology, Fukuoka University School of Medicine
- 4) Department of Radiology, Kansai Medical University
- 5) Department of Radiology, Hyogo College of Medicine
- 6) Department of Radiology, Keio University School of Medicine
- 7) Department of Radiology, Fukui Medical University (at present: Interventional Radiologist)
- 8) Department of Radiology, Teikyo University School of Medicine
- 9) Department of Radiological Technology, Nagoya University School of Health Science

別刷請求先
〒466-8560 名古屋市中区鶴舞町65
名古屋大学医学部附属病院放射線科
石口 恒男

はじめに

肝細胞癌はアジア諸国に多発する原発性肝癌で、その大部分はC型またはB型のウイルス性慢性肝炎および肝硬変に合併する。日本では年間3万人以上が肝細胞癌によって死亡し、これは悪性新生物による死亡原因の第4位に相当する¹⁾。肝細胞癌の治療として、肝動脈塞栓術(transcatheter arterial embolization, 以下TAE)、肝切除、経皮的エタノール注入、化学療法、熱凝固療法などが行われるが、なかでもTAEは全患者の約50%に施行され、わが国の肝細胞癌治療の中心的役割を果たしている²⁾。現在のTAEの手技は、マイクロカテーテルを腫瘍の栄養動脈に進め、抗癌剤と油性造影剤の混合液、およびゼラチンスポンジで動脈を閉塞する方法が標準的である^{3),4)}。TAEはdigital subtraction angiography (DSA)とX線透視によるガイド下に施行される。さらに、肝細胞癌の患者は、局所性または異所性再発に対して複数回のTAEを受けることが少なくない。したがって、TAEにおける患者と術者の被曝を正確に評価することが重要と考えられるが、これまでにTAEの被曝に関する報告は少なく、検討された手技、装置もさまざまである^{5),6)}。われわれ、日本血管造影・インターベンショナルラジオロジー学会放射線防護委員会は、現在の標準的なTAE手技による患者と術者の被曝を評価を目的として、多施設における実測調査を行ったので、その結果を報告する。

対象および方法

1. 患者とTAE手技

1998年9月～1999年3月に、前述の委員が所属する全国8カ所の大学病院において、TAEを目的に入院した肝細胞癌患者40例(各施設5例)を対象とした。患者は男性30例、女性10例、年齢51～80歳(平均65歳)、身長143～180cm(平均160.6cm)、体重37～74kg(平均57.7kg)であった。病変部位は右葉(21例)、左葉(8例)、左右両葉(9例)、右葉および尾状葉(2例)であった。単発病変が14例、多発病変が26例で、腫瘍径は1～8cm(平均3.1cm)であった。

TAEに使用した装置は、東芝、GE横河、日立、General

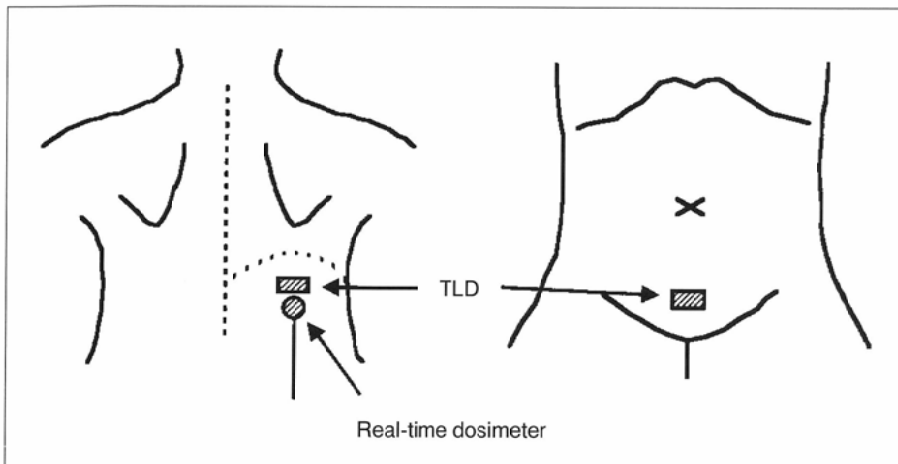


Fig. 1 Positions of thermoluminescent dosimeters (TLD) and a real-time dosimeter for patients.

Electric (米国), Siemens (ドイツ), および Philips (オランダ) 製のアンダーチューブ型 DSA 装置 9 台で、うち 2 台は DSA と CT を組み合わせた angio-CT システム (GE 横河製) であった。設置からの使用期間は 1~9 年 (平均 2.5 年) であった。

標準的な TAE 手技は以下の通りとし、術者の判断により多少の変更がなされた。上腸間膜動脈造影、腹腔動脈造影に引き続き、ガイディングカテーテルを総肝動脈または固有肝動脈に留置し、マイクロカテーテルを腫瘍の栄養動脈に進め、抗癌剤 (epirubicin, adriamycin, mitomycin C または neo-carcinostatin) と油性造影剤 (Lipiodol Ultra-Fluid, Guerbet) の混合液を動注した後、ゼラチンスポンジ (Gelfoam, Pharmacia & Upjohn または Spongel, 山之内製薬) の細片を注入し、動脈枝を閉塞した。

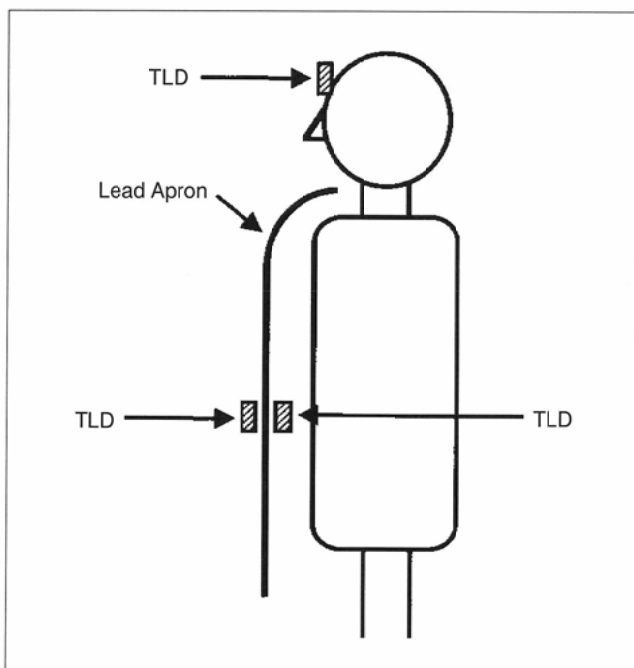


Fig. 2 Positions of thermoluminescent dosimeters (TLD) for radiologists.

2. 被曝線量測定

患者および術者の被曝測定には、フッ化リチウム熱蛍光線量計 (LiF-TLD, 長瀬ランダウア) を使用した。X 線エネルギーに対する TLD 感度の校正のため、あらかじめ筆者ら (小山, 前越) の施設において以下の基礎実験を行った。TLD 素子と電離箱線量計 (Radocon 500 and 33-mL Chamber 550-4, Victoreen, Cleveland, Ohio) に、同じ条件で管電圧 70, 80, 90, 100, 110 および 120 kV の X 線 (実効エネルギー 33.0, 34.2, 36.0, 37.8, 40.0 および 42.2 keV) を照射

した。電離箱線量計のエネルギー特性は、あらかじめ通商産業省工業技術院、電子技術総合研究所の基準電離箱線量計と比較して校正を行った。TLD の指示値 (mSv) を、電離箱線量計の読み値に校正定数を乗じた値 (R) で除し、各条件における mSv/R 変換係数を求め、管電圧に対する校正曲線を作製した。

TLD は 3 個の素子を一組として 1 cm 角のパッケージに包装し、40 例の患者と術者用、およびバックグラウンド線量の計測用に、計 208 個のパッケージ (TLD 素子総計 624 個) を準備し、調査施設に順次郵送した。各施設において TLD は X 線から遮蔽された区域に保管され、血管造影および TAE の開始直前に患者と術者に装着された。患者の TLD 装着部位は、肝部背面 (鎖骨中線上、横隔膜から 5 cm 尾側) および下腹部前面 (恥骨結合上部)、術者の TLD 装着部位は、前額部および腹部 (防護衣の前面と後面) とし (Fig. 1, 2)、それぞれの TLD パッケージを両面テープで皮膚または防護衣に固定した。患者の下腹部の TLD は、骨盤臓器の被曝評価を目的としたもので、本来は X 線入射面である背面に装着すべきであるが、血液や体液による汚染が危惧されるため、下腹部前面に装着した。TAE の終了後、TLD を長瀬ランダウア社に返送し、読み取りを行った。得られた数値を基礎実験で求めた校正定数で補正し、換算によって各部位における吸収線量値 (mGy) を得た。

TLD による計測とともに、6 施設の 30 症例においては、リアルタイム線量計 (Skin Dose Monitor, McMahon Medical, San Diego, USA) による測定を併用した。リアルタイム線量計のセンサー部を患者の肝部背面の TLD と並べて装着し、DSA 撮影の前後に積算吸収線量 (mGy) とその時点での積算透視時間 (分) を記録した。これにより、透視と各 DSA 撮影による線量を別個に評価した。

結 果

1. TLD による測定結果

基礎実験によって得られた TLD の校正曲線を Fig. 3 に示

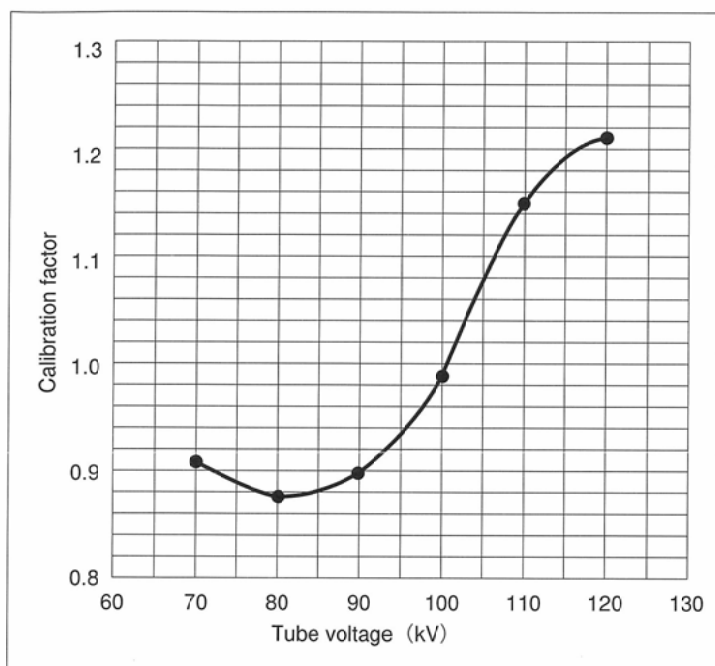


Fig. 3 Calibration curve of thermoluminescent dosimeter system. As the mean tube voltage in the clinical procedures was 77.8 kV for fluoroscopy and 79.5 kV for DSA, the calibration factor was determined to be 0.9.

す。校正定数は0.88(管電圧80kV)から1.21(120kV)の範囲であった。実際のTAEにおいて使用されたX線管電圧は、透視が70~95kV(平均77.8±6.8kV)、DSAも70~95kV(平均79.5±6.8kV)であったことから、補正係数0.9を用いて以下の解析を行った。

40例の患者のうち、1例は血管撮影の結果肝切除の予定となり、TAEは施行されなかった。残る39例に対してTAEが行われた。術者は21名の放射線科医で、経験年数は3~23年(平均13年)であった。術者の防護衣の鉛当量は0.25mm(34例)または0.35mm(5例)であった。TAEが行われた動脈の部位と数は、肝区域動脈(17)、右肝動脈(10)、左肝動脈(8)、下横隔動脈(6)、右前区域枝(8)、右後区域枝(5)、固有肝動脈(2)、および十二指腸動脈(2)であり、1症例あたりの塞栓動脈数は1~3本(平均1.4本)であった。使用したLipiodolの量は1例あたり1~15ml(平均4.3ml)であった。

透視は連続モードが20例、パルスモードが19例で用いられ、DSAは全例パルスモードで撮影された。各症例で主に

使用されたイメージ・インテンシファイア(I.I.)の視野径は15~31cm(平均26cm)であった。焦点-II入射面距離は95~115cm(平均104cm)、焦点-ベッド面距離は70~95cm(平均79.2cm)であった。1例あたりの合計透視時間は4.0~63.1分(平均21.3分)、DSA撮影回数は2~13回(平均6回)であった。DSAの造影剤投与には自動注入器が用いられたが、細い動脈枝の造影には1症例あたり最大7回(平均1.4回)の手圧注入が行われた。全DSA撮影回数の77%に自動注入器が使用され、手圧注入の割合は23%であった。angio-CTシステムは8症例において使用され、1~5回のCT撮影(平均3回)が行われた。

39例のTAEにおける患者と術者の被曝測定の結果をTable 1に示す。患者の肝部背面の線量は185~3543mGy(中央値832mGy)であった。個々の患者の線量は症例によって広い分布を示し、透視時間の延長とDSA撮影回数の増加に伴って増加した(Fig. 4)。最大の線量を示した症例は左葉外側区域の径1.5cmの単発性病変で、A2区域動脈よりTAEが施行された。透視時間は53.4分、DSA撮影は9回であった。本症例を含めて、12~18カ月の経過観察中に皮膚障害は報告されなかった。

患者の下腹部前面の線量は、0.20~2.9mGy(中央値0.77mGy)であった。

術者頭部の線量は平均0.04±0.04mGyで、13例(33%)では検出されなかった。術者腹部の防護衣前面では平均0.15±0.19mGyで、7例(18%)で検出されなかった。防護衣の後面では平均0.005±0.01mGyとさらに少なく、28例(72%)で検出されなかった。防護衣後面の値は前面の値の3.3%に相当した。

2. リアルタイム線量計による測定結果

30例におけるリアルタイム線量計による測定の結果、TAEが施行されなかった1例を除く29例の患者肝部背面の線量は240~2760mGy(中央値795mGy)であった。同部位のTLDによる計測値に比べやや低値を示す傾向があったが、良好な相関が認められた($R^2 = 0.87$, $p < 0.0001$)。TAEの途中にCTを施行された5例を除く24例において、全被曝量の56%がDSA、44%が透視による被曝であった。CTを含む5例では、DSA、透視、CTによる被曝の割合はそれぞれ54

Table 1 Absorbed skin dose of patients and radiologists measured by thermoluminescent dosimetry during transcatheter arterial embolization for hepatocellular carcinoma

Position	Skin Dose (mGy)				
	Minimum	Maximum	Mean	SD**	Median
Patient (n = 39)					
Back behind liver	185	3543	973	681	832
Lower abdomen	0.20	2.91	0.98	0.69	0.77
Radiologist (n = 39)					
Head	0*	0.15	0.04	0.04	0.02
Abdomen					
Over the apron	0*	0.89	0.15	0.19	0.06
Under the apron	0*	0.05	0.005	0.01	0*

*not detected, **standard deviation

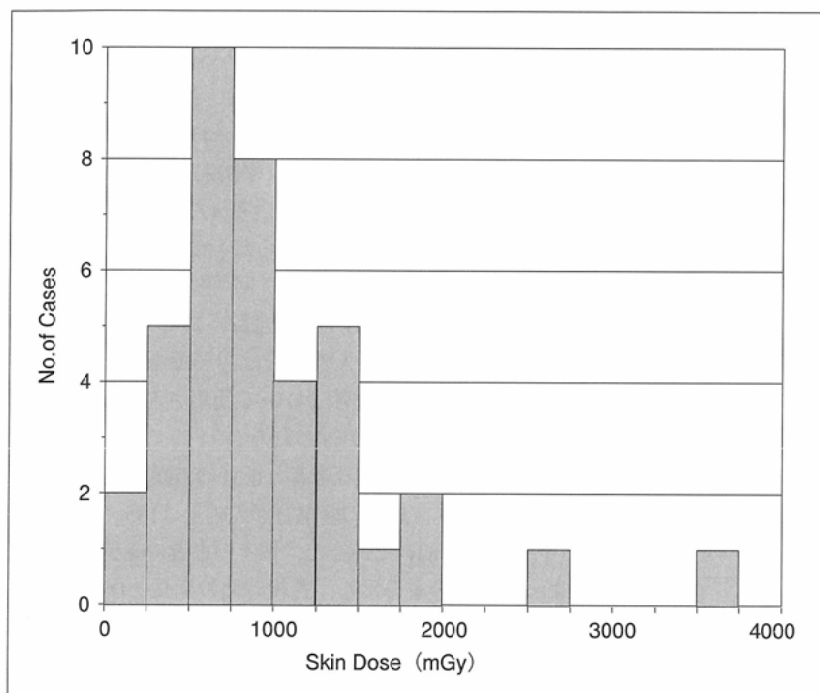


Fig. 4 Distribution of skin doses at patients' backs, behind the liver, measured by thermoluminescent dosimeters during 39 TAE procedures. Median dose was 832 mGy (range, 185 to 3543 mGy).

%, 35%および11%であった。

各施設におけるDSA撮影1回あたりの線量ならびに透視1分間あたりの線量率の分布をFig. 5, 6に示す。1回のDSA撮影による線量は平均90.3mGy (10.4~165.9mGy), 透視1分間あたりの線量率は平均16.5mGy/min (2.7~64.5mGy/min)であった。各施設別の1回のDSA撮影による平均線量は51.1~122.6mGy, 透視1分間あたりの平均線量率は6.9~37.4mGy/minで、施設間にはDSA1回あたりの平均線量で最大2.4倍, 平均透視線量率で最大5.4倍の差が認められた。

考 察

近年開発された種々のinterventional radiology手技のうち、特に、動脈塞栓術、経皮的ドレナージ、血管形成術、ステント留置術などは、血管疾患および悪性腫瘍の治療に広く応用されている。これらの手技はX線透視、X線撮影または血管撮影などをガイドとして施行され、時には患者および術者にX線被曝による障害を生じる危険がある^{7)~9)}。一般に、被曝評価の方法として、TLDによる実測、ファントム実験などに基づく算出、X線装置に組み込まれた面積線量計、およびリアルタイム線量計などが用いられている^{5), 6), 10)~17)}。今回の調査では、LiF-TLDとリアルタイム線量計を併用した。LiF-TLD素子は小さく、X線透過性で、装着部位の制限がなく、患者および術者の複数の部位における評価に適している。基礎実験のデータからTLDシステムのエネルギー・感度

特性の補正を行い、個々のTLD素子の感度のばらつきに関しては、使用前の検定に加え、各部位に3個ずつの素子を用いることでその影響を最小限とした。さらに、リアルタイム線量計の使用により、患者の透視による線量とDSAによる線量を別個に評価することが可能であった。

Interventional radiologyにおける患者のX線入射部位の皮膚線量に関して、文献上、選択的卵管造影・卵管再開通術で40mGy¹³⁾、内視鏡的逆行性胆管膵管造影(ERCP)を用いた手技で80mGy¹⁰⁾および1800mGy¹⁷⁾、下肢血管形成術で260~270mGy¹⁴⁾、頸静脈性門脈肝静脈シャント(TIPS)で1200mGy¹⁷⁾、子宮筋腫に対する子宮動脈塞栓術で1600mGy¹¹⁾、経皮的冠動脈形成術(PTCA)で1000mGy、冠動脈ステント留置術で1500mGy、冠動脈アテレクトミーと複数のステント留置で2500mGy¹⁵⁾、心臓のラジオ波ablationで6500~7200mGy¹⁷⁾、頭頸部の血管塞栓術で最大5400mSv¹⁶⁾および18Gy¹⁷⁾などの報告がみられる。今回の調査では、肝細胞癌のTAEにおける患者の入射面の平均線量はPTCAと同程度と考えられた¹⁵⁾。一過性皮膚紅斑を生じるしきい値¹⁷⁾とされる2Gyを超える症例は2例(5%)であったが、いずれも長時間の透視と頻回のDSAが行われた結果であった。今回の症例では明らかな皮膚症状は認められなか

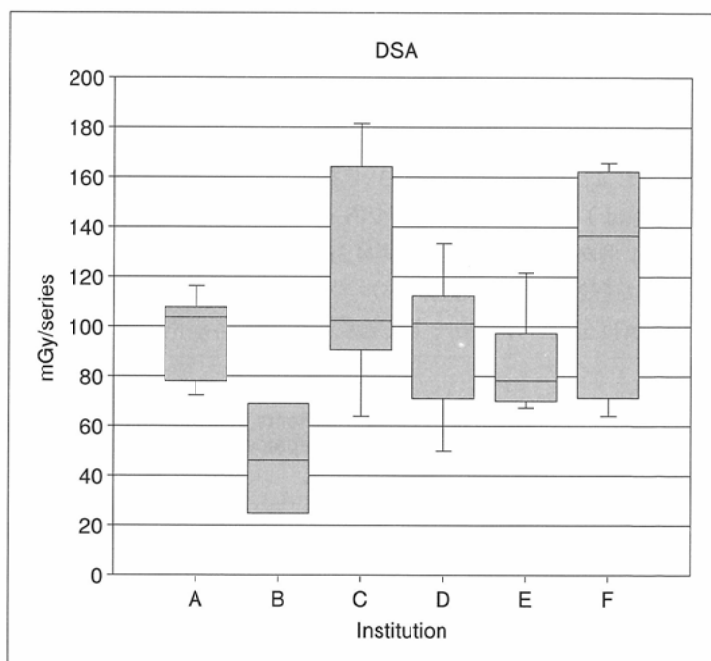


Fig. 5 Distributions of skin doses for one series of DSA in each institution. Mean dose in the total 29 cases was 90.3 mGy/series. The lower and the upper bars show the 10% and 90% doses, the lower and upper borders of the boxes show the 25% and 75% doses, respectively, and the bars in the boxes show median doses.

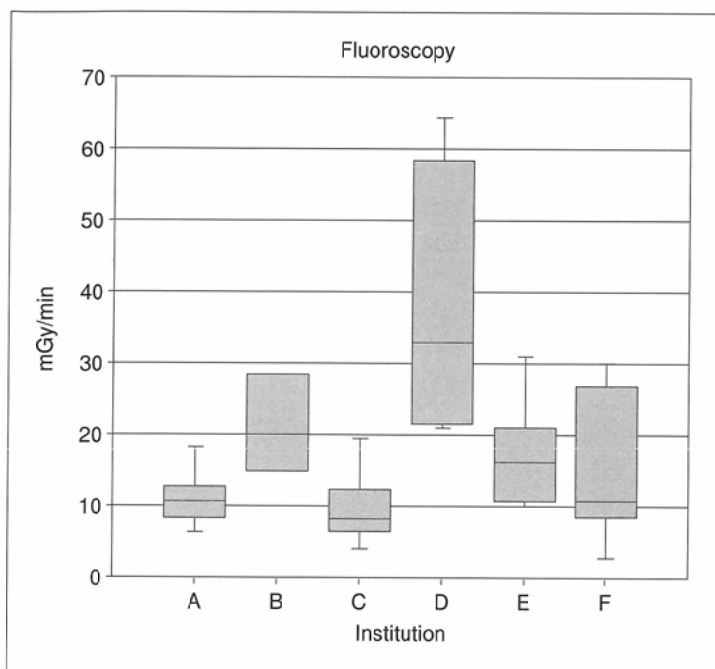


Fig. 6 Distributions of skin doses for one minute of fluoroscopy in each institution. The mean dose in the total 29 cases was 16.5 mGy/min.

ったが、くり返し同一部位の治療を受けた場合、脱毛、紅斑、あるいはさらに高度の障害が発生する可能性もあり⁸⁾、¹⁷⁾、TAE時の皮膚線量、または撮影回数、透視時間などの日常的な記録を考慮すべきと思われる。

リアルタイム線量計による計測では、被曝の56%がDSA、44%が透視によるものであった。すなわち、被曝低減には、DSAと透視の双方の被曝を低減することが必要と考えられた。2施設で使用されたangio-CTは、詳細な診断と治療の精度向上を目的に開発された装置で、血管造影に加えCTによる病変の評価、栄養動脈の確認、およびTAEの効果判定などが可能である。今回使用したリアルタイム線量計は感度に方向依存性があり、X線入射角が大きく変化するCTでは線量が10~20%過小評価される傾向がある¹⁸⁾。今後CTを併用したTAEも徐々に普及すると考えられ、より正確にリアルタイムの線量測定が可能な機器の開発が望まれる。

リアルタイム線量計による計測上、平均透視線量率で最大5.4倍、DSA 1回あたりの平均線量で最大2.4倍の施設間の差が認められた。全体に透視線量率の高い施設(Fig. 6D)では、インターベンション用の高線量率モードが使用されたためと考えられた。その他の5施設ではおおむね国際原子力機関(IAEA)のガイダンスレベル¹⁹⁾である25mGy/minの範囲内であった。DSAの線量が少ない傾向を示した施設(Fig. 5B)は、フレーム数など撮影条件によるものと思われた。

一般に透視線量は、患者の体格、管電圧と管電流、モード(連続またはパルス)、付加フィルタなどによって決定される。また、拡大透視を使用すれば、選択したイメージ・インテンシファイアの有効視野径に応じてX線量が増加する。DSAは通常パルスモードで撮影されるため、これらの

条件に加えて、撮影フレーム数が多い場合は被曝が増加する。したがって、被曝の低減には、不要な拡大透視を避ける、DSAのフレーム数を制限するなどの他、血管撮影による診断からTAEのカテーテル挿入、薬剤注入など、それぞれの段階において、種々の条件設定の最適化がなされるべきである。

患者の下腹部前面の線量は平均約1mGyであった。TAEが行われる上腹部から離れた同部位へは、大腿動脈の穿刺、イントロデューサシース挿入にあたり、穿刺部位を透視で確認する際に被曝が生じ、またTAE中の肝からの散乱線も関与する。骨盤臓器への線量としては、排泄性尿路造影など、通常のX線診断による被曝の範囲内と考えられた²⁰⁾。

術者頭部の被曝は平均0.04mGyと比較的小さな値であった。術者腹部の被曝に関しては、防護衣による遮蔽の有効性が確認された。防護衣前面の平均線量が0.15mGyであったのに対し、防護衣後面では0.005mGyと30分の1の低減が認められた。

血管系interventional radiologyを施行する術者の被曝原因の一つに、患者近傍での手圧注入によるDSA撮影があり、可能な限り自動注入器を使用することが推奨されている⁵⁾。今回の調査では、全DSA撮影の77%で自動注入器が使用され、手圧注入の割合は23%であった。手圧注入は細径の動脈枝にカテーテルを挿入し造影する際に、血管損傷や造影剤逆流を防止するために行われる。手圧注入によるDSA撮影が必要な場合、術者は散乱線を避けるためできるだけ患者から離れるか、あるいは遮蔽の利用が望ましい。今回の調査において防護衣後面で記録された最大線量は0.05mGyであったが、この症例では手圧注入DSAは施行されておらず、むしろ長時間の透視(38分)が主要原因と考えられた。

国際放射線防護委員会(ICRP)は、職業被曝の実効線量限度を年あたりの平均として20mSv、水晶体の等価線量を年150mSvと勧告している²¹⁾。今回のわれわれの調査結果に基づき、術者の腹部防護衣後面および頭部の線量から換算した最大実効線量は0.05mSvおよび0.15mSvとなり、それぞれICRP勧告の年限度の1/400および1/1000に相当する。職業被曝限度の観点から、標準的な1回のTAEにおける術者の被曝は容認できる範囲と考えられる。しかしながら、interventional radiologyを専門とする医師にとって、年間数百件の手技を施行する状況は稀ではなく、また手技が長時間に及ぶ場合も考えられることから、個々の症例において、常に被曝を最小限とする努力が必要である。

本研究ではイメージ・インテンシファイアの交換時期についての調査は行わなかったが、イメージ・インテンシファイアの感度劣化も被曝の大きな要因となる。マイクロカテーテルなどの視認性が悪化し、透視時間の延長や不必要な拡大透視により被曝が増大する。GX値を測定し、基準以下に低下した場合は交換するなど、装置の整備、保守点検

が重要である。

結 語

肝細胞癌のTAEにおいて、患者の皮膚線量は一過性紅斑を生じる線量を超える場合がある。TAEは繰り返し施行される可能性があり、皮膚線量、または撮影回数、透視時間

などを日常的に記録すべきである。術者の被曝は、適切な技術で施行されれば容認できる範囲と考えられた。さらに患者と術者の被曝を低減するため、DSAと透視の両者において、診療技術の最適化と機器の進歩が望まれる。

(本調査にあたっては、日本血管造影・インターベンショナルラジオロジー学会の援助を受けた。ここに深甚の謝意を表する。)

文 献

- 1) 悪性新生物。厚生統計協会編：国民衛生の動向(臨時増刊)。厚生指針 46(9)：50-52, 1999
- 2) 日本肝臓学会：第13回全国原発性肝臓癌追跡調査報告。肝臓 40：288-300, 1999
- 3) Nakamura H, Hashimoto T, Oi H, et al: Transcatheter oily chemoembolization of hepatocellular carcinoma. *Radiology* 170: 783-786, 1989
- 4) Matsui O, Kadoya M, Yoshikawa J, et al: Small hepatocellular carcinoma: treatment with subsegmental transcatheter arterial embolization. *Radiology* 188: 79-83, 1993
- 5) Hayashi N, Sakai T, Kitagawa M, et al: Radiation exposure to interventional radiologists during manual-injection digital subtraction angiography. *Cardiovasc Intervent Radiol* 21: 240-243, 1998
- 6) Seifert H, Roth R, Urbanczyk K, et al: Comparison of radiation exposure of patients caused by selected interventional and angiography procedures-initial results. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 170: 185-190, 1999
- 7) 日本医学放射線学会放射線防護委員会(委員長：古賀佑彦)：IVRに伴う患者および術者の被ばくに関する警告。日本医放会誌 55：367-368, 1995
- 8) Shope TB: Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. *Radiographics* 16: 1195-1199, 1996
- 9) Vano E, Gonzalez L, Beneytez F, et al: Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br J Radiol* 71: 728-733, 1998
- 10) Heyd RL, Kopecky KK, Sherman S, et al: Radiation exposure to patients and personnel during interventional ERCP at a teaching institution. *Gastrointestinal Endoscopy* 44: 287-292, 1996
- 11) Nikolic B, Spies JB, Lundsten MJ, et al: Patient radiation dose associated with uterine artery embolization. *Radiology* 214: 121-125, 2000
- 12) Vano E, Gonzalez L, Guibelalde E, et al: Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *Br J Radiol* 71: 954-960, 1998
- 13) Nakamura K, Ishiguchi T, Maekoshi H, et al: Selective fallopian tube catheterization in female infertility: clinical results and absorbed radiation dose. *Eur Radiol* 6: 465-469, 1996
- 14) Ruiz-Cruces R, Perez-Martinez M, Martin-Palanca A, et al: Patient dose in radiologically guided interventional vascular procedures: conventional versus digital systems. *Radiology* 205: 385-393, 1997
- 15) Hwang E, Gaxiola E, Vlietstra RE, et al: Real-time measurement of skin radiation during cardiac catheterization. *Cathet Cardiovasc Diagn* 43: 367-370, 1998
- 16) Kuwayama N, Takaku A, Endo S, et al: Radiation exposure in endovascular surgery of the head and neck. *Am J Neuroradiol* 15: 1801-1808, 1994
- 17) Wagner LK, Eifel PJ, Geise R. A.: Potential biological effects following high-X-ray dose interventional procedures, *JVIR* 5: 71-84, 1994
- 18) 川嶋紀久子, 石口恒男, 太田豊裕, 他：リアルタイム線量計 Skin Dose MonitorによるX線CTガイド下IVRの被曝評価 - 基礎的検討 -。日本医放会誌 60：S106-107, 2000
- 19) IAEA Safety Series No. 115-I: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiations and for the Safety of Radiation Sources. 1994, IAEA, Vienna
- 20) International Commission on Radiological Protection: Summary of the current ICRP principles for protection of the patient in diagnostic radiology: a report by committee 3 of the ICRP. Elmsford, NY: Pergamon, 1989
- 21) International Commission on Radiological Protection: Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60. *Ann ICRP* 21: 1991