

総論

カテーテルインターベンション における放射線被ばくの 基礎知識

Teppei Sugaya

管家 鉄平

独立行政法人地域医療機能推進機構北海道病院心臓血管センター心臓内科

はじめに

われわれがカテーテルインターベンションを施行するにあたって、放射線は必要不可欠なものである。だがそこには放射線障害が存在し、しかもそれはすぐには起こらず、また目に見えない状態で進行するため、つい軽視してしまう傾向がある。この項では、カテーテルインターベンショナリストとして最低限知っておくべきことを分かりやすく記載することに努めた。詳細については成書やガイドライン等をご参照いただきたい。

1. 基本用語の整理

放射能とは、放射性物質の原子核が壊変して放射線を放出する能力のことである。放射線にはX線の他に γ 線、 β 線、電子線、陽電子線、陽子線、 α 線、重イオン線、中性子線などがある。放射線の人体への影響は「確定的影響」と「確率的影響」に分けることができる（表1）。皮膚や水晶体障害の確定的影響にはしきい線量が存在し、それ以下の被ばくでは発生しない。一方、線量と

ともに影響の発生確率が上昇するのが確率的影響である。よって、放射線被ばくによる健康被害を抑えるためには、放射線量を測定し、それを制限する必要がある。しかし、放射線量を測るために使われる単位が複数存在するため、放射線防護を学ぶ際に混乱してしまうことが多い。混乱を避けるためには、それぞれの単位の使用する目的を理解する必要がある。

まず、放射線を測る単位は、“放射線を出す側に着目した単位”と“放射線を受ける側に着目した単位”に分けられる。

1) 放射線を出す側に着目した単位

◆ベクレル (Bq)：放射能の強さを表す単位

放射性物質が1秒間に壊変する量を表す。したがって、1 Bq は1秒間に1個の原子核が崩壊することを表す。身近にあるものの放射能では、牛乳が約 50 Bq、ほうれん草が約 200 Bq などと表現される。

表 1 放射線による確定的影響と確率的影響

影響の種類	閾値の存在	放射線量の増加によってもたらされる影響の変化	例
確定的影響	あり	症状の重症度と発生率が増加	皮膚障害 白血球減少 不妊など
確率的影響	無いと仮定	発生率が増加	がん 遺伝的影響

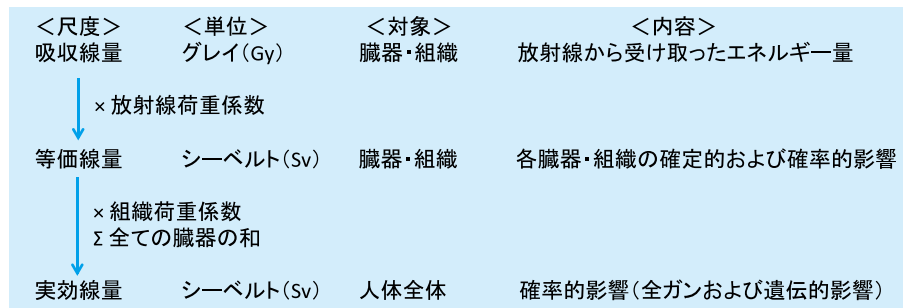


図1 吸収線量、等価線量、実効線量の関係

表2

個人線量測定レポートに記載されている項目とその線量限度

記載項目名		線量限度
1 cm 線量当量		—
70 μm 線量当量		—
実効線量 (算定値)		50 mSv/年
等価線量 (算定値)	水晶体	150 mSv/年
	皮膚	500 mSv/年
	女子腹部表面	2 mSv/妊娠期間
5 年間の実効線量累積値		100 mSv/5 年

2) 放射線を受ける側に着目した単位

◆グレイ (Gy)：吸収線量，空気カーマの単位

吸収線量 (Gy) はエネルギー量のことである。物質の状態が変化するには、エネルギーが必要である。よって、ある物質が放射線を照射されたときに、放射線からどれだけエネルギーを受け取ったかを示す値が吸収線量 (Gy) である。重さ 1 kg の物質が放射線により 1 J (ジュール) のエネルギーを吸収したときの吸収線量を 1 Gy という (1 [Gy] = 1 [J/kg])。

吸収線量 (Gy) は、放射線の種類や物質の種類によらず使用される。よって人体だけでなく、人体以外の物質に対する放射線の影響にも用いられ、例えば医療器具を滅菌するのに約 10,000 Gy、ジャガイモの発芽防止には約 100 Gy の吸収線量が必要、と表現される。

空気カーマとは、空気中で放射線により発生した荷電粒子の運動エネルギーのことだが、空気の元素組成と人体軟部組織の元素組成は類似していることから、ここでは「X 線の空気カーマは吸収線量の近似値として用いられる」、と覚えておくだけでよい。

◆シーベルト (Sv)：等価線量と実効線量の単位

人体に対する放射線による影響の大きさを表現するための単位がシーベルト (Sv) であり、放射線防護を目的とするときに用いられる。シーベルト (Sv) を用いた尺度として、「等価線量 (各臓器・組織に対する放射線の影響)」と「実効線量 (人体全体に対する放射線の影響)」がある。

同じ吸収線量 (Gy) の放射線を浴びても放射線の種類やエネルギーが違えば、放射線による臓器や組織への影響は異なる。同じ線量でも、 α 線は X 線の 20 倍の影響を臓器や組織に与える。そこで、異なる放射線の影響を比較するために、吸収線量に放射線荷重係数を乗じた等価線量という尺度が用いられる。X 線の放射線荷重係数は 1 であるため、吸収線量 = 等価線量となる。

また、臓器や組織により放射線の影響の受けやすさが異なる。そこで、個々の組織・臓器の放射線の相対的な感受性の程度を表したものが組織荷重係数であり、全組織・臓器の係数の和は 1 となる。そして、各臓器・組織の等価線量に組織荷重係数を乗じた値の総和が実効線量であり、放射線が人体全体に与える影響を表す。吸収線量、等価線量、実効線量の関係をまとめたものを図 1 に示す。

しかし、外部被ばくによる等価線量や実効線量を直接測定することは無理であるため、線量当量が用いられる。線量当量とは、人体を直径 30 cm の組織等価物質からなる球に置き換え、この球の表面から 1 cm と 70 μm の深さにおける線量のことであるが、実際は空気カーマに変換係数を乗じて算出している。

・1 cm 線量当量：実効線量と皮膚以外の等価線量に適用される。

表3 放射線による皮膚・水晶体の障害

	影響	しきい値 (Gy)*	潜伏期間
皮膚	初期一過性紅斑	2	2～24 時間
	主紅斑	6	1.5 週
	一過性脱毛	3	3 週
	永久脱毛	7	3 週
	乾性落屑	14	4～6 週
	湿性落屑	18	4 週
	二次性潰瘍	24	6 週以降
	遅発性紅斑	15	8～10 週
	虚血性皮膚壊死	18	10 週以降
	表皮肥厚 (初期)	10	52 週以降
	毛細血管拡張	10	52 週以降
	表皮肥厚 (遅発)	15	52 週以降
水晶体	白内障	0.5	数ヵ月から数十年

*しきい値：1 回照射後に 1% の確率で発症する値を示す。

・70 μm 線量当量：皮膚の等価線量に適用される。

参考までに、医療従事者が測定する義務がある個人線量測定レポートの記載項目とそれぞれの線量限度を表2に示す。

2. カテーテル検査・治療の際に気をつけること

われわれがカテーテル室内で考えなければならないことは、患者と医療従事者両方の放射線被ばくによる健康障害についてである。具体的には、患者における皮膚障害と医療従事者における白内障と放射線誘発腫瘍を、念頭におかなければならない。放射線による皮膚障害と水晶体障害は確定的障害であり、しきい値が存在するため、それを意識することが重要である (表3)。ここで最低限知っておくべき数字は“3 Gy”である。皮膚に 3 Gy の放射線が照射された場合、3 週間後以降に一過性の脱毛が生じうる。それ以上の被ばくになると一過性ではなく、不可逆性の障害となりえる。よってわれわれは、3 Gy を超えるか超えないかを意識しなければならず、3 Gy を超えた場合はどこにどの程度被ばくをしたかを必ずカルテに記載し、患者に放射線皮膚障害について説明し、経過を観察する必要がある。

放射線被ばくを抑えるためには、放射線被ばく防護の3原則 (時間、距離、遮蔽) に従えばよい (図2)。以下に、放射線被ばくを抑える具体的な方法を記す。

<放射線被ばく防護の3原則>

- ・時間：必要最低限の照射
- ・距離：X線発生源からの距離の2乗に反比例
- ・遮蔽：主に患者からの散乱X線

図2 放射線被ばく防護の3原則

1) 患者の被ばくを軽減するために心がけること

①無駄な透視を避ける

ガイドワイヤーやステントがカテーテルの先端から出る遙か前から透視を出すことなどを避け、各デバイスメーカーが付けている、先端からの距離のマーカーを上手く利用する。

②可能なかぎり撮影せず透視保存で済ませる

撮影線量は透視線量の10倍以上である。よって、バルーンの拡張を確認するときなどは、透視画像で支障無いレベルの手技の記録ならば撮影線量を用いずとも、透視保存で十分である。

③透視のパルスレートや撮影のフレームレートを不必要に上げない

当院で記録したデータ (図3) でも分かるように、パルスレートやフレームレートを上げれば上げるほど線量は増加する。ここで注意しなければならないのは、アンギオ装置の機種や設定によっては、パルスレートを下げても自動的にパルス幅を広くしたり管電流を大きくしたりすることによって、結局は線量が変わらない場合があるため、実際に測定するかメーカーに確認する必要がある。また、パルスレートを下げることによってワイヤーやカテーテルの挙動が見えにくくなり、手技時間が長くなるならば、線量は結局変わらなくなってしまうので、自分なりの許容範囲を把握しておくことが重要である。

④不必要に拡大透視・撮影を行わない

図3でも示されているように、拡大透視・撮影を行うとそれに比例して線量が増加する。

⑤照射野 (X線受像器) の中心部に

ペースメーカーなどの金属を配置しない

X線受像器の中心部で受けた線量によって照射条件が

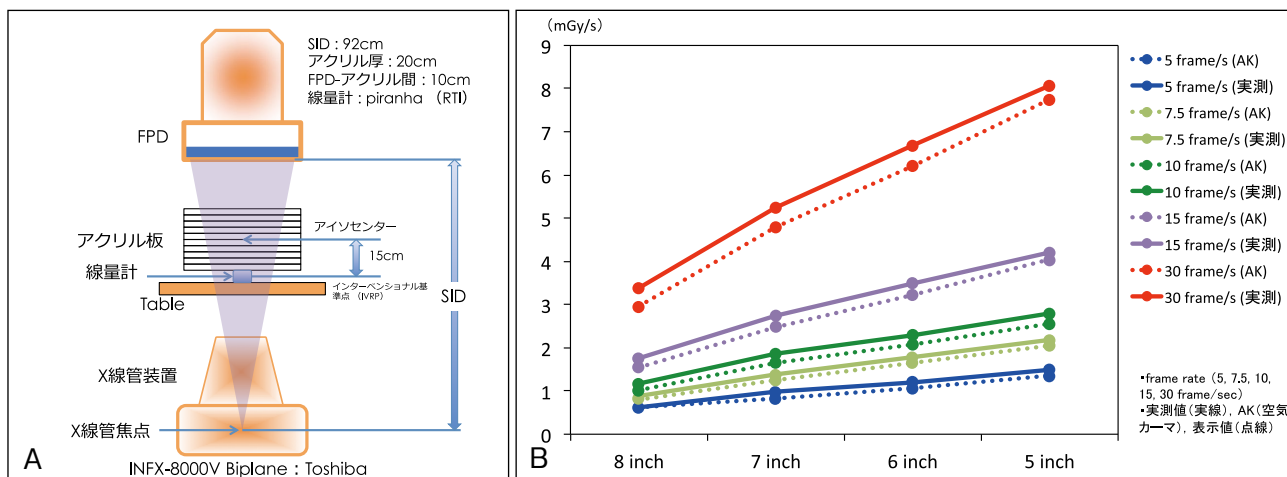


図 3

A: 線量測定条件
 B: 撮影線量

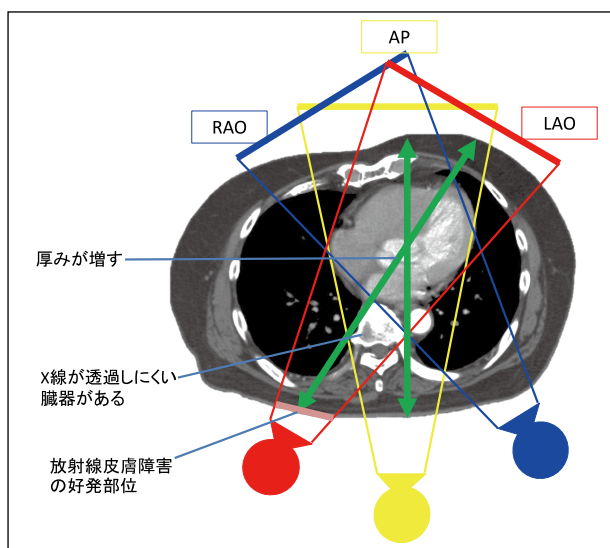


図 4 右背部が放射線皮膚障害の好発部位である理由

自動的に変わるため、X線が透過しにくい金属が中心にあると、それに合わせて線量が増加されてしまう。

⑥手技が長時間に及ぶ場合は

可能な限りこまめに透視角度を変える

局所の皮膚線量が上がることを避ければ、皮膚障害の頻度は少なくなる。40度以上透視角度を変えること、皮膚の照射部位のオーバーラップを最小限にすることができる。

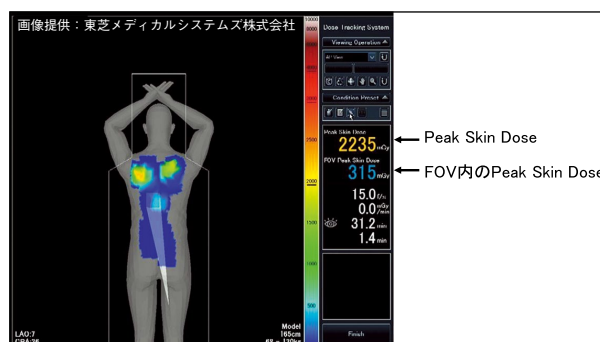


図 5 リアルタイムに入射皮膚線量を表示する機能

患者モデル上で入射皮膚線量をリアルタイムに積算し、カラー表示する。術中はカラー表示だけではなく局所の入射皮膚線量を保持し、最大入射皮膚線量 (Peak Skin Dose) を表示する (dose tracking system: DTS)。

⑦手技が長時間に及んだときに特に注意すべきは

肥満の患者さんの右背部の皮膚である

物質が厚ければ厚いほど、また物質の密度が高ければ高いほど、X線は物質を透過しにくいため、より多くの線量を必要とする。よって、皮下脂肪の多い肥満患者にX線を透過させるためには、より多く線量を必要とする。そして図4に示すように、心臓は患者の左側に存在するため、左前斜位 (LAO) で観察する場合は正面で観察するときよりも身体の厚みが増すため、多くの線量を必要とする。また、LAOで観察するときはX線の入射経路に椎骨が含まれるため、RAOで観察するときよりも線

量を多く必要とする。よって、手技が長時間に及んだ場合、右背部の皮膚障害の有無をまずチェックする必要がある。

⑧カテーテルテーブルを下げすぎない

身長が低い術者が検査や治療を行う際などには、カテーテルテーブルを低くしてしまうことがあるが、X線管に近付くほど患者の被ばく線量が多くなってしまうため、可能な限りカテーテルテーブルを上げて、患者とX線管の距離を遠くする。

⑨カテーテル手技の技術レベルを上げる

手技時間が短くなれば照射時間・被ばく線量も減る。日頃から手技成功を得たという結果だけで満足せず、常に1分1秒でも短く治療ができるように技量をあげることに努める。

2) 医療従事者の被ばくを軽減するために心がけること

①患者の被ばく線量を下げる努力をする

患者の被ばく線量を下げることは、医療従事者の被ばく線量を下げることにつながる。

②X線の発生源からできるだけ離れる

X線の発生源から離れるほど被ばくの量は少なくなるため、特に撮影時は術者と助手以外のスタッフはなるべく遠くに離れるべきだろう。気を付けなければならないことは、看護師が昇圧剤を静注している間や患者に症状を聞いている間に撮影をしないようにすることである。そのとき看護師がいる場所は、ラバーシールドや防護アクリルガラスで守られていないため、術者のいる場所よりも被ばくが多い。

③可動性の防護アクリルガラスは

患者と術者の間でできるだけ患者に近付けて設置する

術者が被ばくするのはX線管からよりも、患者の身体から散乱したX線によるものがほとんどである。よって、術者とX線管の間のみに防護アクリルガラスを設置しても意味がない。

④照射野に手が入らないようにする

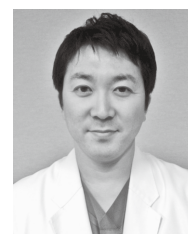
X線の入射部位に直接手が入ると、すぐ周辺の位置よりも約10倍被ばく量が上がる。末梢血管のインターベンション時に、検査技師に頼んでエコーをしてもらいエコーガイドでのワイヤー操作をする際も、透視や撮影は絶対に行ってはならない。

最後に

最近では各アンギオ装置メーカーの努力により、装置自体に被ばく低下の機能が備わっており、拡大透視を行っても被ばく線量が増加しないような工夫や、透視線量でもノイズリダクション技術によって、撮影しなくても十分評価できる画質が得られる工夫もなされてきている。また、入射線量に患者からの後方散乱線や組織荷重係数を考慮した入射皮膚線量をリアルタイムに患者モデル上に積算し、カラー表示することによって、皮膚のどこの部位がどのくらい被ばくしているかを手技中に一目で見ることができる機能を備えている装置もある(図5)。低侵襲治療を志すわれわれインターベンシオナリストも、放射線防護について積極的に学び、現在備わっている被ばく低減機能を最大限活用する姿勢を持つことが大事である。

参考文献

- 1) 草間朋子, 小野孝二: 放射線防護マニュアル 第3版, 日本医事新報社, 2013.
- 2) 循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン(2011年改訂版)
- 3) 平井昭司, 佐藤 宏, 上島久正他: エックス線作業主任者試験徹底研究 改訂2版, オーム社, 2014.
- 4) 日本アイソトープ協会: ICRP publication 85: IVRにおける放射線障害の回避, 日本アイソトープ協会, 2003.
- 5) IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン, IVR等に伴う放射線皮膚障害とその防護対策委員会, 2004.



管家鉄平(すがや てっぺい)

2004年 北海道大学医学部卒業, 北海道大学病院
 2005年 釧路赤十字病院
 2006年 北海道社会保険病院心臓内科
 2011年 北海道大学大学院博士課程核医学講座
 2014年 独立行政法人地域医療機能推進機構北海道病院心臓内科
 現在に至る