

会 員 投 稿

〔 技 術 資 料 〕

X線シネ撮影検査における シネフィルムの現像条件の設定

働心臓血管研究所付属病院 荒居 広 明
長谷川 光 男

1. はじめに

心臓疾患の増加により、心臓カテーテル検査を行う病院は増えつつある。そこでは、X線撮影技術や装置の進歩と複雑化に伴い、多種多様な方法が行われている。

X線シネ撮影は装置の各条件の設定やフィルムの現像条件が、画像の良否に大きな影響を与え、診断価値を大きく左右する。症例数の少ない病院では、自動現像機による現像処理条件が安定することが困難な場合もあり、多数の症例を比較する機会が得られず、条件の設定や管理に十分なデータや時間が取れない場合もある。

そこで基本に戻り、撮影時の自動露出の仕組み、フィルムの現像条件の設定や管理をどうすればいいのかをもう一度考えてみたい。

2. 画質を決める因子とその調整

X線シネ撮影の画質を決める因子は多数あるが、代表的なものは、X線強度（撮影条件）、I. I. の発光特性などの装置固有の特性、用いるフィルムとその現像処理条件による特性、プロジェクタの特性などが挙げられる。

臨床で撮影したフィルムの評価は、最終的にはプロジェクタで観察して、その施設独自の判断基準で評価することになる。長谷川らは、X線シネ撮影が日本で始まって間もないころからの経験により、臨床フィルムを評価して現像条件を設定して管理を行った。¹⁾ その方法は、一般写真のポートレイトを現像処理する時の、顔の頬の均一濃度部と目鼻のコントラストを調整するという方法を参考にした。すなわち、患者のカテーテル検査終了直後に RAO30度から心臓を中心に撮影を行い、この部分を試験的に現像して、画面中心とその付

近の心筋部、大動脈弁付近と縦隔部、心筋が肺野に接する部分のそれぞれのフィルム濃度を測定して、中心の心筋部を自動露出制御時に得られる関心領域の基準濃度（このフィルム全体の黒化度の標準値）の指標、縦隔部から肺野への濃度差をコントラストの指標として、これらの値が、目標値の許容範囲に入る様に患者毎に現像条件の微調整を行った。また、同時に光センシトメトリーを行い、現像の状態を把握した。この様に実写フィルムから条件を設定し管理するのは、職人芸的な技術が要求され、その方法の明文化が難しい。そこで、ここでは画質に影響を与える因子を分けて考え、装置の因子に対しては、その仕組みを考慮した上で適正な方法を考える。装置の機構や具体的な数値は、当施設の Polydoros 100 (SI EMENS) を例にとって話を進める。

3. 装置や記録媒体の特性

3. 1 X線条件

画質、特にコントラストに影響を及ぼすのは撮影管電圧であり、これが低いほど被写体コントラストは高い。造影検査ではヨウ素を用いるので、そのX線吸収係数のK吸収端の 33.17keV 以上を実効管電圧に持つ 70kV 付近を使用するのが理想的である。しかし、現在、多くの装置では、X線シネ撮影中は自動制御にてX線条件が設定され、われわれが選択できるのは、1駒あたりの撮影時間、焦点の大きさ等に限られる。

具体的な撮影条件の例として、水を被写体にしその厚さを変えて、表1の2つの条件で自動露出撮影した時のX線管電圧、管電流の値の例を図1に示す。本装置は、高電圧装置がインバータ方式であり、マイクロプロセッサにより管電圧と管

表1 シネ自動露出制御プログラムの例

Program	Focus (mm)	Pulse width (ms)	Max power (kW)
A	Auto-Focus (0.4 ~ 0.8)	6	72.8
B	Fix-Focus (0.4)	4	29.8
C	Auto-Focus (0.4 ~ 0.8)	4	77.0

Plateau 73(kV), Scene time 8(sec), Exposure rate 25(f/s)

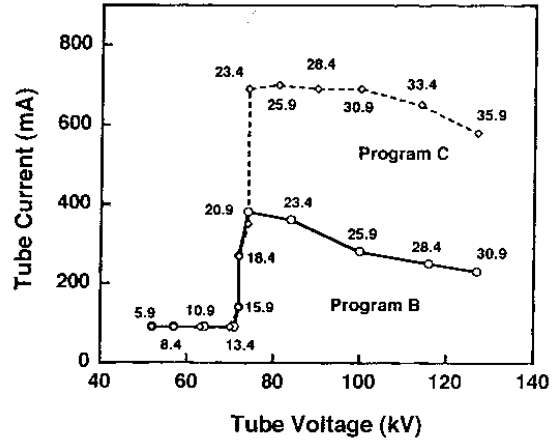


図1 シネ撮影安定時の各被写体厚(水(cm))に対する管電圧と管電流値

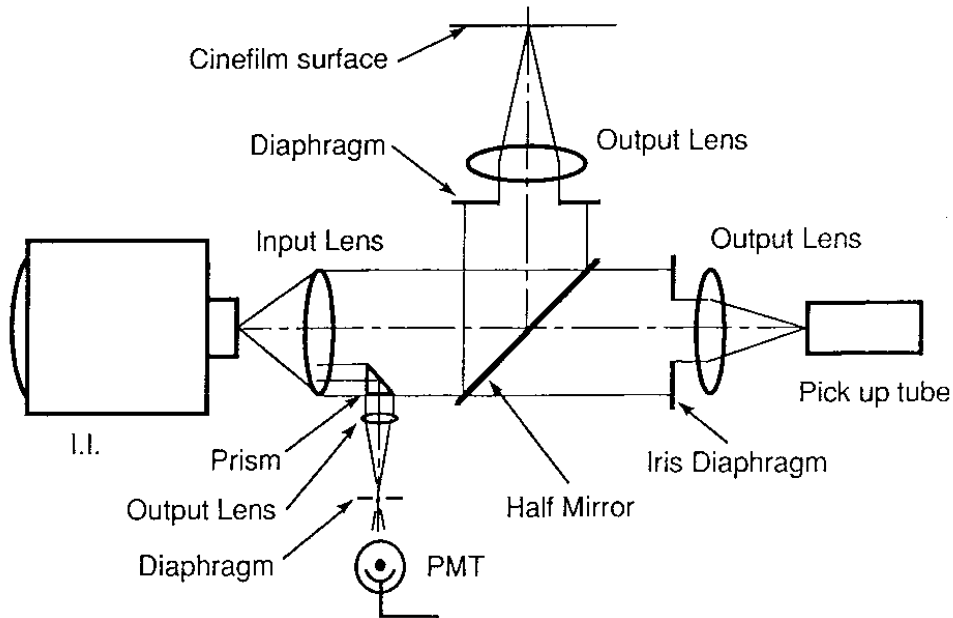


図2 光学系と光束の経路および光量の検出系

電流を独立に制御する。図では、管電圧が一定で管電流が上昇する(プラトー管電圧)領域、両方が上昇する領域、管電流が小さくなって、管電圧が上昇して同じ出力でも写真効果を大きくする領域がある。臨床では、できるだけ70kV付近の管電圧で撮影できるように被写体に応じてプログラムを選択する必要がある。具体的には、被写体が厚くなったら大焦点や1駒当りの曝射時間の長いプログラムを使用しなければならない。

3. 2 光学系と自動露出制御

上述の様にX線条件は自動制御されるが、装置

内では何をどの様に計測しているのかを理解してそれに対応したい。

X線シネ撮影装置は、I. I. の出力蛍光面像を透視用モニターとシネカメラへ分配しなければならない。そのため、図2の様にタンデムレンズ(2枚1組のレンズ(66mmΦ))が用いられている。出力蛍光面上の光は、第一レンズによって平行光束になる。(図では、出力蛍光面の中心の発光点から第一レンズに入射した光束の経路を示す。)透視中には、この平行光が第二レンズによって撮像管入力面に結像されてモニターに写し出される。このとき、タンデムレンズ間の平行光の一部をプ

リズムで取り出してレンズ (10mmΦ) で結像させる。この結像面の少し後ろに光学絞 (中心に円形の穴の開いた円盤) を置いて、光量の一部を通過させて光電子増倍管 (以下 PMT) に入射させる。結像面に再生された出力蛍光面像の全領域に対する光学絞りの形によって関心領域が決定する。本装置では、有効視野直径の約 20% を直径とする中心位置の円である。そして、光学絞りの位置を結像面から少しずらすことによって、関心領域の境界をぼかしてある。

PMT に入射した光量は電圧に変換され、シネ

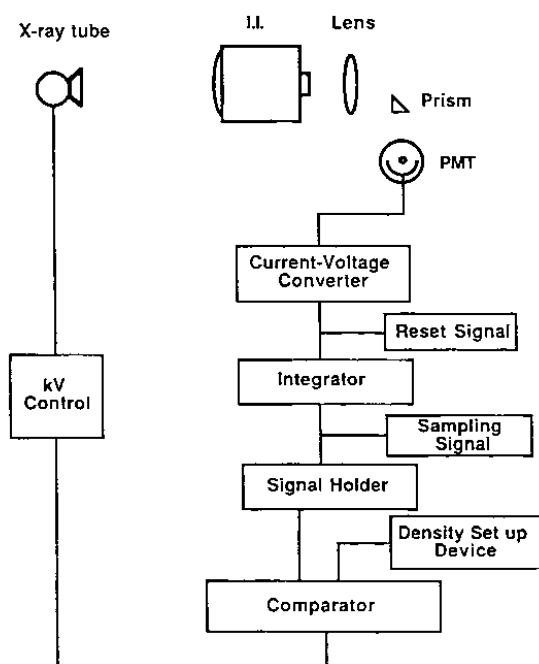


図3 PMT 信号の電気制御系統

撮影時には1駒の間、積分されて保持され、フィルムへの全露光量として計測される。(図3)そして、この値が一定になるようにX線条件を調整する。したがって、この領域に面積が小さくても高輝度の部分があると適正露光とみなすので、肺野などが入らない様にならなければならない。シネの自動露出撮影時の基準フィルム濃度を実験で得るためには、少なくともこの領域を均一被写体で覆う必要があり、その時の基準濃度の測定は、その位置に一致するフィルム中心でなければならない。人体と同じ程度のX線の減弱を得るために、被写体として水を用いるなら、20cm以上の厚さが必要であるが、上述の様に自動露出制御は輝度を検出しているので、入射されるX線のスペクトルにあまり依存しない。そこで、同程度の減弱が得られる2mm程度の厚さの銅板が取り扱い性が良い。一画面中に部分的に厚さの異なる濃度測定用ファントムがあると便利であるが、均一被写体を撮影してもフィルムの周辺部に濃度低下をきたすことと、関心領域は一定の厚さが要求されることから、補正なしで階段状のフィルム濃度が直読できる実写用のファントムの作成は困難である。

シネ撮影中に被写体を増やした時の PMT の積分値、保持値、管電圧および、管電流の波形の例を図4に示す。PMT の出力積分の保持値が下がってすぐに、管電圧が上昇し始めて微かなオーバーシュートを含む20駒(0.8秒)後に、適正条件に戻る。この例では、管電流も管電圧の上昇時に少し増加するが、安定後には元と同じ値に戻る。

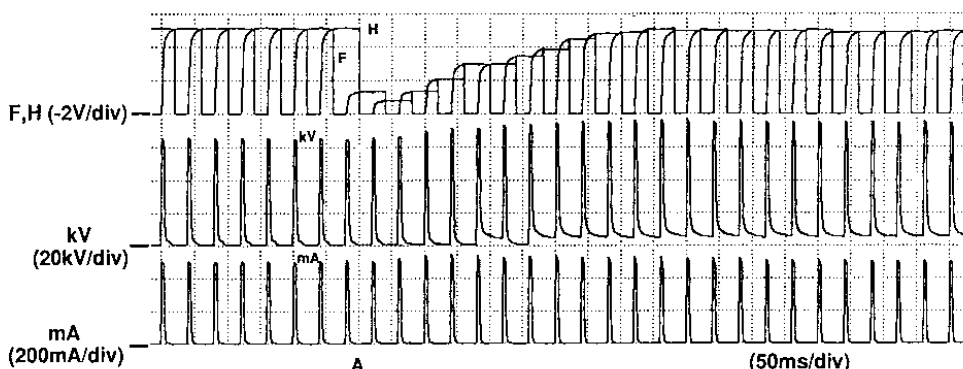


図4 自動露出撮影の動特性の例 管電圧 (kV)、管電流 (mA)、I.I.の蛍光強度積分値 (F) と保持値 (H) の各波形。プログラム B、7インチ視野、被写体は点Aにて銅板2から3mm厚に変化させた。

透視時には、出力蛍光面像は撮像管上に再生されて電氣的に増幅されてモニターに写し出されるのに対し、シネ撮影時には、一回の曝射でフィルム1駒分を露光させるので、I. I. に入射する線量（特に管電流）は大きく異なる。適正光量時に、PMTの出力が同じになる様にPMTの印加電圧が、透視時とシネ撮影時にそれぞれ設定されている。

X線装置の設置時のX線量の初期値の設定は、10インチ視野で管電圧70kV、入射線量が透視時には $32\mu\text{R}/\text{sec}$ 、シネ撮影時には $10\mu\text{R}/\text{f}$ になる様に被写体の厚さを変えながらPMTの印加電圧を調整し設定する。視野が小さい（例えば7や5インチ）場合には、小さい面積が同じ大きさの出力蛍光面に出力されるので入力面の単位面積あたりで、より多くの輝度が要求され、I. I. には、視野の直径の逆2乗に比例した線量が入射する。また、I. I. は、永年使用すると入出力特性（輝度変換係数 G_x 値）が低下するので、入射線量は徐々に増えることになる。

この様な方法で自動制御されているI. I. の出力蛍光面像をシネフィルムに導き、画像を形成する。次にこの画像の記録系を解析する。

3. 3 フィルムの特性

一般に、フィルム自体の露光量に対するフィルム濃度の特性の把握は、光センシトメトリ（光センシトメータによる特性曲線の把握）が簡便で再現性も良い。特性曲線から得られる次のような特性値すなわち、カブリ+ベース濃度（Gross fog）、平均階調度（Average Gradient）、相対感度（Relative Sensitivity）、最高濃度（D max）を測定することによって、フィルム自体の特性の変化や自動現像機自体の特性や現像処理条件（現像液の温度とフィルムの現像液浸時間）を変えた時の特性の変化を把握することができる。

画像のコントラストは、前述の様に装置や各条件によって変化するが、われわれが意図的に操作することができるのは、フィルムの選択と現像処理条件の設定である。KODAK, AGFA, VARI-Xなどのシネフィルムは現像温度の上昇および、液浸時間の増長は平均階調度を大きくす

る。現像液に軟調添加剤を加えて処理する富士フィルムのシネフィルムは、上記の方法ではあまりかわらず、添加剤の量によって平均階調度が変わる。この様に現像処理条件を決める際の目安は、平均階調度を設定することにある。平均階調度の微調整は液浸時間を変えることによっても行えるが、この現像処理時の処理速度はなるべく一定にして、現像液温度を 0.1°C 単位で自動制御ができる装置が付いている場合は、現像液温度を変えることによって行うことを勧める。

3. 4 フィルムの臨床への適用

胸部の一般撮影では、被写体（人体）のX線透過量のわずかな差を濃度差として表わすために写真コントラストは高く、フィルムの最高濃度は3.5付近まであり、使用される濃度範囲は広い。一方、血管造影では、血管内の造影剤陰影を識別するため濃度分解能は自ずと良好である。造影部分のフィルム濃度は、ある程度の量があれば、周辺との濃度差として表せるので、その背景濃度は1.0程度あれば十分であり、あまり高い背景濃度は好ましくない。最終的には、シネフィルムはプロジェクタにて観察する。この時、投影型のプロジェクタでは、フィルム濃度1.5以上での濃度差の識別は困難であり、必要もない。したがって、自動露出撮影時のフィルム中心部の基準濃度は、 $0.7\sim 0.9$ 位が適正である。

実際の臨床のフィルムで、コントラストを高くしたとすると、RAO30度から見る心筋像では画面中心の心筋部より被写体の厚い縦隔部では、フィルム濃度は低くなりこの部分に血管像があれば、背景との濃度の値は小さくなり、識別は困難になる。また、被写体の薄い肺野部に接する心筋部では、フィルム濃度差は高くなり、特に細い血管では濃度が上がって識別が困難になる。逆にコントラストを下げれば、フィルム濃度の差として識別できる被写体の厚さの範囲は広がるが、めりはりがなく血管像の縁の鮮鋭性の劣る画像となる。また、粒状性は、フィルムの微小範囲の濃度差として表されるので、フィルムコントラストが高くなるとその部分の濃度差が大きくなるので目立つようになる。

具体的なフィルムの平均階調度の値は各施設の好み、撮影時のX線条件、I. I. の視野サイズ、撮影方向撮影部位および、プロジェクタの輝度などに大きく依存する。一般に血管造影では、血管の微細な描出が要求されるため、空間分解能も重要視され、あまり高いコントラストは好ましくない。初期設定は、光センシトメトリ上の平均階調度で1.6位を勧める。その後は、臨床像のプロジェクタによる観察と調整でその施設の最適なコントラストを探していくしか方法はない。

画像のもう1つの重要な因子は、フィルムの基準濃度である。X線装置の自動露出撮影時のフィルムの基準濃度設定時には、フィルムの相対感度、すなわちどの位の光量で、一定の濃度が得られるのが目安となる。一般に感度の高いフィルムはフィルム乳剤の感光粒子が大きいために粒状性が悪い。逆に、粒子が小さく粒状性の良いフィルムは、感度が低いので現像処理条件を調整して高い濃度を得るか、装置の設置時やI. I. の交換直後に適している。

フィルムの感度を現像処理条件を変えることによって調整するのは、富士フィルムのフィルム以外は、コントラストも一緒に変化するので都合が悪い。そこで、臨床の基準濃度設定時には、一般に、シネカメラのタンデム2次レンズ前の光学校りの開口径を変えることによって調整する。この時、X線装置の自動露出制御時のX線条件は、この操作には全く無関係である。すなわち、フィルムの種類とその現像処理条件が決定された後で、絞りの開口径を調整してフィルムへの基準露光量を設定する。

具体的には、現像処理条件で平均階調度を設定した後に、銅板を自動露出撮影して現像し、実際にフィルム濃度を測定する。この基準濃度の過不足を絞りの拡大、縮小で調整して、この繰り返しにより適切な絞りの開口径を決定する。SIEMENSの装置の光学校りの組には、数字が付されており、その値が0.5小さくなると開口面積の比の対数値が0.05大きくなる。すると基準濃度は、光センシトメトリの特性曲線直線部であれば、 $\Delta D=0.05 \times (\text{Average Gradient})$ のフィルム濃度上昇が期待できる。また、光センシトメトリ

(21段型)の1段は比露光量の対数値で0.15あるので、絞りの3段分に相当する。従って絞りを変えた時のフィルム上での濃度変化分を特性曲線上から類推することができる。

以上のことをまとめると、シネフィルムの画質の重要な特性値の設定は2つあって、コントラストは、現像処理条件を変えて特性曲線の平均階調度を目安として設定する。その後、シネカメラの絞りを調整して、フィルムの基準濃度を設定する。

4. 一定の画質を維持するための管理

前述の様にわれわれが画像のコントラストを大きく変えることができるのは、現像処理条件の設定だけなので、常にフィルムの特性曲線の特性値(特に平均階調度と相対感度)を把握しておくことは重要である。それは、臨床フィルムの現像処理前に当日用いるフィルムで行い、経時的にどう変化しているかを記録して比較することが大切である。平均階調度が目標値より0.15以上変化したら臨床画像にも影響があるので、現像処理条件の見直しが必要である。また、相対感度は、Gross fog+1.00の相対露光量なので、この値が変化するとフィルムの基準濃度が変化する。この値が0.05以上変化したら、光学校りの1段以上の変化に相当するのでその変更が必要である。臨床フィルムでは、全体的な濃度の増減が目立つので、光センシトメトリと同時に、全体的なフィルムの濃度を銅板を用いて毎日同じ幾何学的条件で撮影して、直接その濃度を測定することを勧める。そして、その増減を補正するような現像温度の微調整が必要である。その際のコントラストの変化は、前述の値の範囲内なら目立たず容認できる。また、撮影した銅板のフィルム濃度を特性曲線を用いて、露光量に変換すれば装置からフィルムへの露光量とみなすことができ、この値は原理的には現像処理条件には依存しない。この値が長期的にみて0.05以上変わったら、やはり、絞りの交換が必要である。また、突然の急激な変化は、装置の異常を疑うべきである。この操作によって、フィルム濃度の変化を現像処理系と装置の発光量の変化に分けることができるので、対応が容易に

なる。

5. まとめ

X線シネ撮影装置で用いられる画像の特性は独特であり、臨床の診断価値に大きく影響する。したがって、それぞれの病院にあった画像の特性を設定して、この状態を維持することが重要である。そのために、装置の自動制御のしくみやフィルム

や現像処理系のレスポンスを把握して使いこなし、管理していくことが大切である。

参考文献

- 1) 長谷川光男, 松田博和: 心研における5年間のシネフィルム, シネ撮影研究, 1, 32-37, (1985).