大腿骨頸部骨折整復手術中撮影時の X-Ray Control について

国立東京第2病院放射線科 (科長 藤田順一)

末 永 昭 雄

(論文受付 34年10月26日)

STUDIES ON X-RAY CONTROL DURING AN OPERATION OF REPOSITION OF FRACTURE AT THE JOINT OF THE FEMUR

By AKIO SUENAGA

Dept. of Radiography National Tokyo
Second Hospital

(Director: JUNICHI FUJITA)

(Article received: Oct. 26, 1959)

Summary

In radiography of the operation of fracture at the joint of the femur, it is necessary to reduce the time of the development of the film, as much as possible. Therefore, the prescription of the developer, the conditions, contrasts and sensitivity of a system where by the development and fixing combined into a single operation was tried out and it was found to work satisfactorily.

緒 言

整形外科においては外来診療あるいは手術中しばしば X線撮影を行ない、その結果を早く知りたい場合が少なくない。とくに手術中の X線コントロールは可及的短時間であることを要する。

しかるにわれわれが通常行なっている現像操作は現像に5分定着に10分を要するのが普通である。

私は第1図のごとく最近大腿骨頸部骨折、転子貫通骨折の三翼釘固定の際、手術中の X線撮影を行ない、短時間現像の重要性を痛感した。

正規の5分現像より現像時間を短縮するには撮影条件を変更するか現像液温を20°Cより高くすれば可能であるが、現像不足の像、撮影条件温度の像は、いわゆる、コントラスト、黒化度、尖鋭度の低下を来すことになる。

手術中撮影に用いる X線装置は小型の装置が多く、成人の大腿骨等の撮影では装置に対する負荷が大きい。

そこで私は、装置の性能上できるだけ負荷を少なくして撮影し、現像時間も極めて短く黒化度、コントラスト

第 1 図

も正規の5分現像に比べ大差のない像を得る一浴現像法を採用してみた。

通常用いているフジ FD-111 指定現像液と私の行なった一浴現像液 (仮称スピード一浴現像液とする) を比較検討すれば良いのであるが、写真工業 (33, 10, 笹井明) の一浴現像定着液 (仮称写真工業一浴現像液とする) を X-レイフィルムの現像に用い、これも比較検討した。

1 実験材料

第1表は実験に用いた現像処方である。

- A. フジ FD-111 指定現像液。
- B. 写真工業一浴現像液。
- C. スピード一浴現像液。

第1表 実験に用いた現像処方

A	Fuji X-Ray指定 FD-111	20°C 5分
		1,000cc
B	写真工業一浴現像処方	20°C 5分 1,000cc
	メートル	2g
	無水亜硫酸ソーダ	20g
	ハイドロキノン	4g
	無水炭酸ソーダ	20g
	苛性ソーダ	5g
	ハイポー	40g
C	スピード一浴現像処方	20°C 90秒 1,000cc
a	メートル	8g
b	ハイドロキノン	8g
c	無水亜硫酸ソーダ	50g
	ク 炭酸ソーダ	60g
	苛性ソーダ	50g
d	ハイポー	375g

2 実験方法

第2図は実験方法であり第2表は実験に用いた装置である。

第 2 図

第2表 実験に用いた装置

- 1 KXO-8 単相全波整流 500mA
- 2 X線管球 XDO-R-60
- 3 鉛板
- 4 Combination Screen 極光 FS
- 5 水ファントーム 7×7×17cm
- 6 成人の大腿骨標本
- 7 Fuji X-Ray Film PX

第2図のごとき方法により最初標準となるべきファントム（骨）の撮影条件を見出すため、適当と思われる撮影条件 45kVp 100mA 0.3sec FPD 100cm で $\frac{1}{2}$ の四切フィルムを8等分にして、露出時間だけ変更して撮影する。これをフジ FD-111 指定現像液で 20°C 5分暗黒の状態で現像する。

第3表はフジ FD-111 指定現像液使用時の撮影条件で

写真1はその撮影条件で得る骨の濃度で標準濃度フィルムと比較してみると、大腿骨の濃度を0.6の値が適当とすると、フジFD-111指定現像の時には45kVp 100mA 0.5sec FPD 100cmの撮影条件が最適であることがわかる。

第3表 Fuji X-Ray 指定現像液使用時の撮影条件

	kVp	mA	sec	FPD	D
1	45	100	0.2	100cm	0.35
2	"	"	0.3	"	0.38
3	"	"	0.4	"	0.46
4	"	"	0.5	"	0.60
1	50	"	0.6	"	0.90
2	"	"	0.7	"	1.10
3	"	"	0.8	"	1.14
4	"	"	1.0	"	1.30

第4表 工業一浴現像液使用時の撮影条件 1

	kVp	mA	sec	FPD	D
1	45	100	0.4	100cm	0.16
2	"	"	0.5	"	0.16
3	"	"	0.6	"	0.17
4	"	"	0.8	"	0.17
1	50	"	0.4	"	0.20
2	"	"	0.6	"	0.25
3	"	"	0.8	"	0.27
4	"	"	1.0	"	0.30

写真 1 Fuji X-Ray
指定現像 20°C 5分

階に分けて撮影し写真工業一浴現像液で20°C 5分暗黒の状態で現像した。この結果得た濃度は写真2のごとくである。

前者フジ FD-111 指定現像で 0.6 の濃度を得る撮影条件 (標準となる撮影条件)

45kVp 100mA 0.5sec FPD 100cm

より露出時間だけ2割増した撮影条件

45kVp 100mA 0.6sec FPD

100cm (黒線の中)

で得る骨の濃度は0.17であることが判る.

写真2 写真工業一浴現像
20°C 5分

すなわち、写真工業一浴現像において骨の濃度 0.6 を得るにはフジ FD-111 指定現像液（標準となる現像液）を使用する時より露出時間を2割増したのでは極めて不足であることが判る。

ではいかなる撮影条件で 0.6 の濃度を得ることが出来るかを知るため、さらに露出時間だけ増加してみると第5表Aの結果になる。果して可搬型またはポータブルでフジ FD-111 指定現像液使用時の撮影条件に比べ約10倍の長時間の露出が可能であろうか。

第5表 写真工業一浴現像液使用時の撮影条件 2

	kVp	mA	sec	FPD	D
A	45	100	5.0	100cm	0.6
B	60	100	1.0	100cm	0.61
C	45	100	0.8	50cm	0.65

その点を考えて kVp のみ 15kVp 上げて 60kVp として撮影した、その結果 0.6 の濃度を得る撮影条件は第5表B

60kVp 100mA 1.0sec FPD 100cm

であることが判る。

また FPD を $\frac{1}{2}$ (50cm) にして 45kVp 100mA で露出時間だけ変化してみると第5表Cに示すごとく

45kVp 100mA 0.8sec FPD 50cm

の撮影条件が骨の濃度 0.65 で 0.6 の値に近いことが判った。

写真3はそれぞれの濃度を示すものである。

スピード一浴現像液使用時の撮影条件はフジ FD-111 指定現像で 0.6 の濃度を得た撮影条件

45kVp 100mA 0.5sec FPD 100cm (第3表4)

より kVp, mA, FPD, をコンスタントにして露出時間だけ変更して同一なるファントームを撮影した。

第6表はその撮影条件であり写真4はその濃度である。その結果 0.6 の濃度を得る撮影条件は第6表3で写真4の黒線の中はその濃度を示す。

3 実験結果

以上の実験のごとくフジ FD-111 指定現像でファントームの骨の濃度 0.6 の値を得る撮影条件 45kVp 100mA 0.5sec FPD 100cm を標準とすると、すなわち手術中大腿骨の撮影をしてフジ FD-111 指定現像で 20°C 5分

写真3 写真工業一浴現像
20°C 5分

写真4 スピード一浴現像
120°C 90秒

第6表 スピード一浴現像液使用時の撮影条件

	kVp	mA	sec	FPD	D
1	45	100	0.6	100cm	0.50
2	"	"	0.8	"	0.53
3	"	"	1.0	"	0.60
4	"	"	1.2	"	0.70
5	"	"	1.4	"	0.80
6	"	"	1.6	"	0.90
7	"	"	1.8	"	0.93
8	"	"	2.0	"	0.95
1	50	"	0.4	"	0.40
2	"	"	0.6	"	0.50
3	"	"	0.8	"	0.65
4	"	"	1.0	"	0.70

現像を行ない最適の濃度の写真像を得ることができたと仮定するならば、写真工業一浴現像液で現像する時は今までの実験結果にみるごとく従来普通に行なって来た手術中の大腿骨頸部撮影条件よりも露出時間だけ約10倍にするか、あるいは管電圧を 15kVp 上げ露出時間も約2倍にしなければならない。

写真の尖鋭度、拡大とかを考えないならば FPD を $\frac{1}{2}$ にし、さらに露出時間を2倍にしなければならないことが判った。

同一の濃度の写真を得ることを考えるならば写真工業一浴現像は従来のフジ FD-111 指定現像液使用の撮影条件よりも kVp, mA, sec, を増さねばならない。

手術中小型の装置で大腿骨頸部撮影は装置の負荷が大きく装置の保護上また手術中撮影で写真を急ぐ時はこの現像液は不適当と思う。

スピード一浴現像は従来のフジ FD-111 指定現像使用時の撮影条件に比べ露出時間は2倍である。露出時間だけでなく管電圧、管電流、FPD、増感紙（現在 FS の時

は、MS, HS, SS. とか) を変更させることにより、更にX線装置の負荷を軽減して現像することが可能ではないかと思ひます。写真5並びに第7表は撮影条件の比較を示す。

写真5 撮影条件の比較

A 対照度(Contrast)の比較

コントラストには主観的コントラストと客観的コントラストがあることは今更申すまでもないが、われわれが通常X線写真像をみてコントラストが云々というが、一般的に考えてコントラストとは一枚のX線写真像の最高

濃度と最近濃度の差を意味するものと思う。

この実験におけるコントラストとはフジFD-111指定現像液、スピード一浴現像液、写真工業一浴現像液でそれぞれ指定時間現像を行なって得た骨の適正濃度0.6と周囲組織（水）との濃度差であり最高濃度は周囲組織の水ファントムで最低濃度は骨の濃度であることは申すまでもない。

骨と周囲組織（水）の濃度を標準濃度フィルムと比較（色）すると第8表と写真6に示すごとくなる、これは前記3種類の現像液で骨の適正濃度0.6の値を得た撮影条件と写真像である。

一番濃度差のあるのは（コントラストの良いのは）フジFD-111指定現像液によるもので二番はスピード一浴現像液、三番は写真工業一浴現像液である。

B 現像液の疲労と現像カブリの比較

第7表 撮影条件の比較

Fuji X-Ray現像液	45kVp 100mA 0.5sec	FPD 100cm	D 0.6	現像時間 20°C 5分
写真工業一浴	45kVp 100mA 5.0sec	FPD 100cm	0.6	20°C 5分
	60kVp 100mA 1.0sec	FPD 100cm	0.61	〃
	45kVp 100mA 0.8sec	FPD 50cm	0.65	〃
スピード一浴	45kVp 100mA 1.0sec	FPD 100cm	0.6	20°C 120秒

第8表 現像液によるコントラストの相違

	骨ノ濃度	周囲組織 の濃度	濃度差	コントラスト順位
Fuji X-Ray 指定現像液 45kVp 100mA 0.5sec 100cm 20°C 5分現像	0.6	1.74	1.14	1
スピード一浴現像液 45kVp 100mA 1.0sec 100cm 20°C 120秒現像	0.6	1.31	0.71	2
写真工業一浴現像液 45kVp 100mA 5.0sec 100cm 20°C 5分現像	0.6	1.14	0.54	3

第9表 現像液の疲労（濃度低下）と現像カブリ

	濃度低下			現像カブリ		
	調製直後	4時間	18時間	調製直後	4時間	13時間
Fuji X-Ray 現像液 45kVp 100mA 0.5sec 100cm	0.6	主観的に濃度差ないので省略		0.13	0.12	0.12
				20°C 5分現像		
スピード一浴現像液 45kVp 100mA 1.0sec 100cm	0.6	0.5	0.33	0.19	0.17	0.15
				20°C 120秒現像		
写真工業一浴現像液 45kVp 100mA 5.0sec 100cm	0.6	0.45	0.4	0.13	0.11	0.11
				20°C 5分現像

写真6 現像液によるコントラストの相違

一浴現像液はフジFD-111指定現像液と比較して次のごとく実験により相違があることが判った。

実験方法

第2図と第2表のごとく前記3種の現像液で大腿骨の濃度0.6の値を得た最適の撮影条件で実験した。

第9表は撮影条件と現像液調製直後、4時間後、13時間後の骨の濃度と現像カブリを示す。

写真7はその写真である。

骨の濃度測定値は標準濃度フィルムと比べて（比色）主観的に測定した。

フジFD-111指定現像液は主観的に濃度差がないように思われたので省略した。

スピード一浴現像液は調製直後0.6の骨の濃度が4時間後0.5、13時間後0.33と写真工業一浴現像液と比べて濃度低下が増加しているように思う、これはスピード一浴現像液の如く、ハイドロキノンが空气中酸素と組合して酸化するため還

写真7 現像液疲労
(濃度低下)と
現像カブリ

元力が低下するためではないかと思えます。この現像液のはアルカリブルウ 13.0~13.1と殆ど変化しない。

現像カブリは写真7に示すごとく撮影時カセット上に鉛板をのせX線を遮断しておき暗黒の状態ですべて指定時間現像を行ない丸印の部分でフジフィルム社で物理的に測定した値でフィルムベース濃度 (0.07) を含んだ数値である。

フジ FD-111 指定現像液と写真工業一浴現像液の現像カブリは、ほぼ同一でスピードー浴現像液は前記2者より大きい。これはアルカリの度合いが大きいため現像中、空気中の酸素による空気カブリと現像主薬、の量が多いことも関係しているのではなかろうか。

C 尖鋭度の比較

尖鋭度に関係する因子は幾何学的因子、運動による因子、感光機料による因子があることは、述べるまでもないが、フジ FD-111 指定現像液とスピードー浴現像液の尖鋭度を比較するのに以上のごとき因子は共に同一であるから (同一なる装置, Film, Folie, kVp, mA, ファントム, FPD, MPD) 関係ないものとする。

フジ FD-111 指定現像液使用時の撮影時間よりスピードー浴現像液使用時の撮影時間が2倍になるため (Time で Control する場合) 厳密に言えば陽極回転軸にガタがあるかも知れないので実験前に長時間露出を加えてピンホールを行ない陽極回転軸にガタがないことを確認してから実験した。

実験方法

成人の下腿骨の標本を直接カセット上に置く、これは水ファントムと骨を用いると尖鋭度の良否は骨梁を比較する結果、できるだけ MPD を小さくするためである。同一なる FPD, MPD, Film, Folie, kVp, mA, で撮影時間だけ変更して撮影した。

フジ FD-111 指定現像液とスピードー浴現像液で、それぞれ指定時間現像を暗黒の中で行なった。

両現像で得た同一濃度の骨梁を比較すると写真8のご

写真8 尖鋭度の比較

とくなるが、さらに識別を容易にするため引延機で4倍に拡大した。

写真9 Aはフジ FD-111 指定現像液、写真9 Bはスピードー浴現像液使用によるものである。

写真9 A

写真のごとくスピードー浴現像は骨梁が不鮮明で尖鋭度を低下させることが判るが、一般の外科写真のごとく骨梁の変化を見るのが目的でなく確実に三翼釘固定が行なわれたかを見るため使用する現像液であるから尖鋭度

Fuji X-Ray 指定現像 20°C 5分
スピードー浴現像 20°C 140秒

60kVp 100mA 60kVp 100mA
1.2sec 100cm 2.4sec 100cm
Buckey 使用 Buckey 使用

写真9 B

が低下しても、写真像の観察は差程影響ないものと思う。

D 現像液の保存性について

着色瓶に入れ冷暗所に保存した前記2種の現像液は調製15時間後にフジ FD-111 指定現像液は肉眼的に何ら変化していないが、スピードー浴現像液はミルクコーヒーのごとき色を呈しており、第9表及び写真7に示すごとく調製4時間以内に使用すべきであると思う。

手術中大腿骨頸部骨折整復撮影が行なわれる、やや前に調製したら良いと思う。

スピードー浴現像液調製時に苛性ソーダーを計量する時、現像する時は強アルカリのため素手で触れると皮膚が犯されるからゴム手袋、フィルムハンガーを使用すべきである。

一浴現像 (定着) 液の現像過程

通常のX線フィルムの現像は現像が進むにつれて、乳剤の臭化銀粒子は銀粒子に変化していくが現像が終った時も未変化の臭化銀粒子が相当多量に残っている。そしてこの未変化の臭化銀粒子が定着液で溶解される。

一浴現像 (定着) では現像と定着が同時に平行して行

なわれていくから乳剤の臭化銀粒子は現像によって銀粒子に変化するものと一浴現像（定着）液に溶けていくものとある。そして臭化銀粒子が残っている間は現像と定着が進み定着が完了して臭化銀がなくなれば現像も完了する。

したがって現像速度と定着速度が釣り合っていて適当な値に現像された時定着が完了するようにしなければならない。

現像速度が定着速度に比べて大であると定着が終るまで現像が進むため現像過度の像になる。

現像速度が定着速度に比べて小であれば現像が充分進行しないうちに定着が進んで現像すべきハロゲン銀粒子がなくなってしまうから現像不足の濃度の低い像になる。一般に一浴現像（定着）液の現像主薬、アルカリ、ハイポーを増加すれば現像時間を短縮できるがカブリが増しフィルムが傷つき易くなる。

スピード一浴現像を行ない撮影条件が過度のため指定時間現像ができず早やく、適当な濃度に達した時は定着が終るのを待たずに現像液よりフィルムを引上げ通常使用している定着液にのける。

ハイポー量と現像時間並に、黒化度の関係

実験方法

水ファントーム 7×7×17 センチと大腿骨を用い階段状に露出時間だけ変化して撮影する。これをフジ X-Ray 指定現像液で指定時間現像して、骨の濃度 0.6 の値を得る撮影条件を見つける。その結果条件は 45kVp 100mA 0.3sec FPD 100cm であることが判った。

スピード一浴現像で同一なるファントームを露出時間だけ変化して撮影する、この結果骨の濃度 0.6 の値を得る条件は 45kVp 100mA 1.0sec FPD 100cm であることが判り、この同一条件で同一なるファントームを撮影したフィルムをハイポー量を増減して現像すると標準処方の通り、ハイポー量を 400cc とすると現像時間は 140sec で骨の黒化度は 0.61 となる。

標準処方よりハイポー量を 2 倍の 800cc にすると現像時間は 65 秒に短縮出来るが黒化度は 0.18 と標準処方の時の黒化度の約 1/3 に低下する、標準処方よりハイポー量を 1.5 倍の 600cc にする現像時間は 80 秒となるが黒化度は 0.23 と低下する。反対に標準処方よりハイポー量を半分の 200cc にすると黒化度は 0.7 と増加するが現像時間は 210 秒と長くなる。この実験によりハイポー量が黒化度、現像時間に重要な影響を与え、同一な X 線エネルギーを与へてもハイポーの量により黒化度、現像時間が大きく左右されることが実験により判明した、骨の黒

化度は標準濃度フィルムと比色した。タイムはストップウォッチにより計測した。

溶解法

(1) 写真工業一浴現像液

第 1 表 B のごとく順次溶解して 1,000cc とする。

(2) スピード一浴現像液

第 1 表 C

(a) メトールを 100cc の水に溶す。

(b) ハイドロキノン を 100cc の水に溶す。

(c) 無水亜硫酸ソーダー、無水炭酸ソーダー、苛性ソーダーを順次 1,000cc の水に溶す。

(d) ハイポーを 1,000cc の水に溶す。

(a)(b) を混和する。これに (c) の 400cc を加え、さらに (d) の 400cc を加える。総量を 1,000cc として使用する。

現像後手術者が見たらもう一度定着液に入れ、充分水洗すれば変色し難くなり保存可能である。

結 論

以上の実験のごとくスピード一浴現像は露出時間を 3.0～3.5 倍で 20°C～120sec 140sec で現像出来る。X 線装置の負荷が少なく尖鋭度、対照度がフジ FD-111 指定現像より劣り現像カブリも大きい手術中、大腿骨頸部骨折整復の三翼釘固定が確実にこなれたかを確認するには影響がないものと思う。写真 10 は実際に整復した写真である。

大変粗末な実験であります諸学兄の御批判と御叱責の的となりますれば光栄に存じます。

最後に本実験に御助言を賜りました当病院整形外科の春日秀彦先生に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

1. 神中正一著（整形外科手術書）南山堂 東京 昭和 26 年
2. 笹井明著（写真工業）光画社、東京 昭和 33、10 月号 p. 410

後 記

1. 第 1 表 C スピード一浴現像処方 20°C 90 秒は参考文献に掲載されていたものである。
2. 写真 6 はスピード一浴 20°C 90 秒写真 8 スピード一浴現像 20°C 90 秒は 20°C 120 秒の誤りにつき訂正致します（末永）