現 像 液 管 理 の 自 動 化

大阪大学医学部付属病院放射線科

中 西 省 三

(論文受付 昭和46年1月16日)

AUTOMATIC CONTROL OF THE DEVELOPING SOLUTION

By SHOZO NAKANISHI

Department of Radiology, Osaka University Hospital

(Article received: Jan 16, 1971)

Summary

Some method of regulation is necessary to maintain day-to-day control of developing and fixing and to keep the variations between various processing units to a minimum.

I studied in relation to a degree of exhaustion of the developer, the characteristic curve by using the sensitometric strips and electric signal as variation of current against to the constant voltage. As the result, a degree of exhaustion of the developer had a settled margin of safety for sensitivity. The sensitivity dropped hastily just below the allowable settled margin. The sensitivity dropped hastily just below the allowable settled margin. The variation of sensitivity correspond with the electric signal. It is possible to control the developer automatically with the electric signal.

1. は じ め に

医療用X線フィルム自動現像機 (以下自現機と略す) は迅速処理, 画質の向上, 均一化, 省力化などの要求に沿って開発改良されてきた。現在もその改良過程の一時期にあり, すでに迅速性はほぼ満足な状態に達している。一画質の向上, 均一性に対する努力は, はなはだ不十分であり, 現像温度の変動, 現像むら, フィルムの傷などの事故や不調が相変らず起こっている。また現像処理機械としての自現機が急速に進歩し普及したのに対し, 技師, 医師, メーカー自身の認識が十分それに対応していない。自現機, フィルム, 薬品などが種々雑多に市販され, そのいずれもが数年を経ずして新製品と入れ替わり性能特性などがその都度変化し, そのため現像処理の管理を一層困難にしている。従来の暗室を中心とした放射線科の配置や機構は, 自現機や暗室は撮影室に付

属する設備として位置づけ, 集中的に管理し, フィルムチェック, 整理, 読影の過程は放射線科の業務全体から再検討されねばならない。現在使用している自現機が, どの程度の信頼度で稼働しているか, 画質の均一性がどの程度に保持されているかをくらべ, 現像液の疲労度と感度変化の関係を求め, 疲労度に対する使用限界を設定し, 現像液の疲労度変化を連続的かつ自動的に検出する方法について検討した。

2. 自 現 機 の 概 略

自現機の機能は大別して処理行程の機械化と均一化にわけられる。前者は各行程を連結させるフィルム搬送機構とフィルムの乾燥過程の自動化であり, 後者は処理液の攪拌, 循環, 補充および処理温度の均一化である。現在の自現機の持つ最大の欠点は, 処理されるフィルムの状態に対応した方法で処理されず, 主として機械的に行

図1 自動現像機の概略図

程を進めていることである。つまり制御機構が不完全であり、いろいろな状態に対して常に一定の仕上がりを保つことが困難である。例えばフィルムの露光量に応じて処理液の補充が行なわれたり、処理液自体の疲労度に応じて補充がなされるということがない。またフィルムの種類がどうあろうと、常に一定のローラ圧力が保たれ、一定の乾燥度が保たれなければならないが、それが無視されている。したがって、現状では処理液補充の過不足があったり、ローラの絞り効果の差によって処理液の疲労の原因となり、技師が自現機に従属する結果にもなっている。今後の課題として、露光量の過不足を現像処理過程で自動的に補償する機構、処理液疲労度を一定に保つ機構、これらによって画質を一定化させる機構の開発

が望まれる。その時点で分散配置された自現機の中央集中管理が可能となる。図1は自現機の機能と構造を示す概略図である。

3. 実験に用いた標準露光方法

この実験に採用した標準露光の方法は、光源に紫外線を用い光学楔の透過光を利用する方法と、50kVp X線による CaWO_4 増感紙の蛍光を利用し露光時間を変化させる方法である。前者は精度が高いが、これのみでは処理液の疲労度を実状にあった X線強度に対する感度で表示するのは困難で、後者の方法によって紫外線に対する感度やガンマー値を、X線増感紙蛍光の場合の値に換算し、さらに感度については濃度 1.2 における相対感度の X線量に対する百分率表示をした。標準露光は2週間の使用量を一度に露光し、最終露光フィルムと次回露光フィルムを同時現像し、潜像退行や露光のバラツキなどを補正した。

図2は紫外線光源を得るために用いた紫外線フィルターの特性であり、図3はX線フィルムの比感度と増感紙蛍光波長および紫外線フィルター透過後の紫外線波長の関係を示す。

図2 E.K. 社製ラッテンNo. 18Aフィルターの吸収特性

図3 スクリーンタイプX線フィルムの分光感度。タングステン酸カルシウム増感紙の発光スペクトルおよびラッテン No. 18A フィルターの透過光スペクトル

4. 自現機の処理状況

実動している自現機的能力および限界を知る目的で以下の実験を行なった。並列配置した2台の自現機M4(コダック X-OMAT, 7分処理, 1962年設置), M4A (コダック X-OMAT, 7分処理, 1965年設置) について1967年1月16日より4月28日までの間休日を除き毎日一定時間に標準露光フィルムを現像して処理状態を調べた(図4, 図5)。標準露光フィルムの現像は一般に使用する状態で処理し, 温度, 補充量などを特別に調整はしなかった。前記期間について実験したのは, 当施設で定めている現像タンク内処理液総入れ替え周期(4~6ヵ月間ごと)に合わせたためである。図4, 5に示す相対感度とは濃度1.2にしたときの全期間中の平均感度を100%として, 日々の値をX線量換算感度で示したものである。実用上相対感度の許容範囲を, $\pm 10\%$ とした。立ち上がり

図4, 5 2台の自現機の稼動状態

●—●は E.K. 社 X-OMAT M4型自現機

○…○は E.K. 社 X-OMAT M4A型自現機

図最上部に記す数字は主な故障状態と対策を施したことを示す。1はM4型機, 2はM4A型機のオーバホール, 処理液総入れ替え。3はM4型機残留ハイポ増加による定着液総入れ替え。4, 5はM4型機補充ポンプ故障, 現像温度不安定。6はM4型機熱系統の故障。7, 8, 9はM4型機サーモスタットの不調。10はM4型機フィルムひっかかり。11はM4型機殆んど使用せず, 定着補充量調整。12はM4型機故障, 殆んど使用せず処理液総入れ替え。13, 14はM4型機フィルムひっかかり, 殆んど使用しなかった。

というのは露光量の比較的少ない2点に対応する特性曲線上の勾配で示し、対応する濃度は0.3~0.5位にあった。残留ハイボ量は硝酸銀法で測定し、5年保存に耐え得る値として0.07以下が望ましい。フィルム処理量は2台で処理した全部のフィルムを四ッ切フィルム面積に換算して示した。2台の自現機で等分して処理したが、故障や長尺フィルムの処理によってかならずしも等量処理したとはいえない。当施設で処理された総フィルム量の平均した内訳は面積にして大角サイズ11.8%、大陸サイズで14%、四ッ切サイズで53.6%六ッ切サイズで12.4%、長尺では8.2%、また撮影部位別にみたとき胸部16%、骨部11%、胃腸部41%、断層撮影10%、泌尿器系7%、特殊造影撮影15%であった。

結果 現像温度についてみるとM4型機81% (65日/80日)、M4A型機は73% (59日/81日) が許容温度範囲内 ($83^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{F}$) で稼動していた。許容範囲外であった場合のほとんどが規定温度以下で運転されていた (M4型機80%12日/15日、M4A型機100%、22日/22日)。そしてその場合、他の故障を伴っていることが多かった。温度調節に関係した故障としてはサーモスタットの動作不良、熱交換器の故障、温水供給用ガスヒーターの燃焼不良、循環ポンプの故障などがあつた。

現像温度をみてみると、 $\pm 10\%$ 以上の濃度のバラツキがあつた日数はM4型機4日 (5%)、M4A型機3日 (3.7%) であり、2台の自現機間に20%以上の差がみられる日数は1日 (1.3%) であつた。この内許容温度範囲内で現像され、 $\pm 10\%$ 以上の相対感度のバラツキがあつたものは、M4型機75% (3日/4日)、M4A型機100% (3日/3日) であつた。相対感度と立ち上がり、現像温度の間には比例関係を示しているが、フィルムのひっかけりなどの故障があつた時は相対感度が高くなっている。

残留ハイボ量をみてみると、

0.07以上となった割合はM4型機29% (23日/80日)、M4A型機7.4% (6日/81日) であつた。そして一部のフィルムは処理後1ヵ月余りですでに変色したのもあり、とくにM4型機は補充ポンプの不調のため、残留ハイボ量の増加が2月22日~3月9日、4月14日~27日にわたつてあつた。

考察 フィルムの仕上がりの方から考えると、感度、ガンマー値、立ち上がりなどおおむね良好といえるが、故障や温度調節の不良による残留ハイボ量の増加、フィルムのひっかけり、定着不良などのトラブルが多い。特に初期の自現機であるM4型機では補充ポンプの故障が多く、全般的にみて制御機構の不完全さが痛感された。

撮影部位と現像特性

Processor Kodak XOMA M4A
Developer MX 496
25.6L 補充量 45cc/14in.
Fixer MX 496
15.2L 補充量 70cc/14in.
Film BB54

A 処理前
B 胃腸部四ッ切20枚処理後
C 〃 30枚 〃
D 〃 40枚 〃
E 〃 50枚 〃
F 〃 60枚 〃
G 胃腸部六ッ切30枚2列処理後
H 胸部断層大四ッ切10枚処理後
I 胸部正面大角10枚処理後
J 胸部側面大四ッ切15枚処理後
K 腹部血管造影ロールフィルム4本 (4.5m×4) 処理後

図6 撮影部位およびフィルムサイズのちがいと現像特性の変化。当施設過去4ヵ月間の濃度1.2におけるガンマー値の平均は3.18。立ち上がりは一定露光量に対応する濃度0.3~0.5での勾配で示した。残留ハイボ量0.07以下で5年保存可能。

5. 撮影部位と現像 特性の変化

撮影部位によるフィルム黒化度の差、およびフィルムサイズの違いによる現像液の疲労のしかたを知る目的で各撮影部位別に、フィルムサイズ別に現像し、その時の現像特性を標準露光フィルムの同時現像によって求め、その変化を図6に示した。撮影部位およびサイズ別の現像量は、当施設で起り得る範囲内の量について行なった。図中の相対感度は、この実験を行なう直前の使用状態にある M4A 型機のを 100% として、その後実験による値を X 線量感度に換算して示した。

結果および考察

図6では胃部撮影フィルムの処理によってやや相対感度が上がり、胸部正面や断層撮影のフィルムではやや低下している。この程度の実験結果で断定することはできないが、やはり撮影部位やフィルムサイズの変則的集中のみられる場合には処理液の補充量調節が必要であると考えらる。

6. 現像温度と特性曲線

現像特性は現像温度、現像時間、現像液の組成、現像液の疲労度などによって変化するが、自現機を用い、メーカー指定の現像液を使う場合、技師が特に注意せねばならないのは現像温度と処理液の疲労度である。現像液疲労による特性の変化と現像温度変化による特性の変化を識別するために、他の現像条件を一定に保ち現像温度だけ変化した場合の現像特性を求めた。図7は90秒処理用の自現機 X-OMAT, M6N 型機について現像温度特性を求めたものである。メーカー指定の現像温度 (103.5°F) に対する許容範囲 ($\pm 0.25^\circ\text{F}$) に対応する感度変化を X 線量に換算した相対感度で示すと図7右側斜線部となる。

結果および考察

図7はその結果である。温度の変化に対して、相対感度はある範囲内で比例的变化を示すが、ガンマー値はほとんど変化していない。温度の上昇にともないカブリの

現像温度と特性曲線

図7 現像温度と特性曲線の関係。使用中の自動現像機の温度を変化させ、その温度での特性曲線と標準温度 39.7°C に対する濃度 1.2での感度変化。

増加が著しい。35~43°C付近では10%/°Cの割合で相対感度が変化している。

7. 現像液の疲労度および回復

現像液の疲労によって現像特性がどのように変化するか、現像液の疲労はどの程度まで許し得るか、これらの問題について、新しく調製した現像液を昼色光で全面露光（以下全露光と略す）した大角フィルムを用いて疲労させ、現像特性の変化を標準露光したセンチメートル用フィルムの現像によって測定した。また実際使用状態にある自現機がどの程度の疲労度で維持されているかを知る目的で、日常使用中の処理液について同様の測定を行なった。更に疲労した現像液が現像補充液の補充によってどのように回復するか、同様にしてその現像特性を測定した。実験では現像液の補充は行なわず、定着液のみ125cc/14インチの割合で補充し、疲労液の回復についての実験では現像タンク内に直接補充した。

結果および考察

図8、9、10、はその結果である。図8、9、に示すように現像液の疲労にともなって相対感度が急激に低下してゆき、ある程度以上の疲労に対しては新調製液と使用状態にあった現像液との間に、相対感度の変化状態に差があることがわかる。このように相対感度がある部分で急激に変化する点をもって現像液の疲労限界と考えて

図8 調製2時間後の新現像液を用い、現像液だけ補充せずに疲労させた場合の特性曲線および濃度1.2における感度変化。

図9 十分管理された状態で使用している自動現像機の現像液のみ補充せずに現像液を疲労させた場合の特性曲線および濃度1.2における感度変化。

よい。図10に示すように疲労現像液の回復についても、回復の限界を定めることが可能である。図9の結果より阪大病院のM6N型自現機は非常に効率よく稼動しているといえる。図8に対応させると新調製現像液15.5lで大角全露光フィルム50枚処理したのと同等の疲労度に維持されていることになる。

実験の結果は、現像液の疲労や回復に対して特性曲線の変化に急激な変化点を見出すことができたが、特に現

像液の疲労に対しては高濃度部における特性曲線の変化が著しいことがわかる。この結果は図7にみられる温度変化に対する特性曲線の変化状態と著しく異なる点であり、疲労度の認識には高濃度部の黒化状態が重要であるといえる。

8. 現像液の疲労度の検出

現像液の疲労の程度を電気信号として検出する方法について、pH値、起電力、電流値などから連続的にそして簡単に疲労の程度を測定でき得るかを検討した。測定はM6N型自現機の現像タンク内の液について直接測定し、項目7の実験と同時に進んでいるので、現像液の疲労状態は図8、9、10に示すのと同じである。起電力、電流値の測定はAg, Au, Ni, Stainless steel, Carbonからなる5種の電極をそれぞれプラスチックで固定したものを使い、電流値の測定には両極に1.5ボルトの電圧を加え回路に50オームの抵抗を入れて測定した。

結果および考察

現像液の疲労度に対応する起電力変化はほとんどなくAuとAgの電極を組み合わせた場合以外は測定時間中にも電圧計の指示が激しく変化し測定が困難であった。疲労度に対応するpH値の変化は、フィルム処理の増加とともにpH値がよく対応して低下し、疲労状態をpH値から推定することができた。疲労の進行に対するpH値の変化はほとんど一様であって、現像初期の感度上昇部や疲労の進行による急激な相対感度低下部分に対してもほとんど一様な変化しか示さず、その意味では現像液の疲労とpH値がよく対応しているとはいえない。pH値の測定では、測定器の感度の安定性に左右され測定値にバラツキがみられた。測定器の電極を常時現像液に浸した状態で長期間使用するのが困難であり、感

度をpH値から推定することができた。疲労の進行に対するpH値の変化はほとんど一様であって、現像初期の感度上昇部や疲労の進行による急激な相対感度低下部分に対してもほとんど一様な変化しか示さず、その意味では現像液の疲労とpH値がよく対応しているとはいえない。pH値の測定では、測定器の感度の安定性に左右され測定値にバラツキがみられた。測定器の電極を常時現像液に浸した状態で長期間使用するのが困難であり、感

図10 新調製現像液を疲労させた状態から現像液補充により回復させた場合の特性曲線および濃度 1.2 における感度変化。

度の低い測定器では現像液の疲労に対して pH 値の変化量が少なく、ほとんど測定誤差内に含まれてしまう。微弱電圧に対する現像液中の電流変化と現像液の疲労度の関係は、図11に示す結果となった。電流変化の測定には Ag と Stainless Steel からなる電極の組み合わせがもっとも指示値が安定し、短時間の測定では特別な析出物などは見られなかった。新調製液の疲労に対しては電

したがって施設による特殊性をも考慮すると以上の資料や結果だけで結論は出せないが、以上の結果は問題解決の一つの目安になる。現在の自現機は、正常状態では非常に使いやすいが、故障に対する制御機構が不十分で、故障発生後かなりの時間を経てフィルムの仕上がりが状態から気付くことが多い。我国では特に温度管理が難しく、水質不良によるフィルム汚染なども多い。今回の実験結果によって、現像液疲労に対する現像特性の変化や、現像温度変化に対する現像特性の変化が明確に把握できた。更に疲労の限界を定め得る一つの根拠を見出した。現像液の疲労状態を検出する方法として、現像液中で一定電圧に対する電流値の変化を測定する方法を示したが、この結果は分散配置された自現機の集中管理に対する技術的な足がかりになると思う。処理液組成や通電による処理液変化、定着液の管理など問題点も多いが、処理液の自動管理は増々その必要性を増している。

現像液の疲労度と電気信号

図11 現像液の疲労および回復と電流値の変化。現像液の疲労および回復の状態は図 8, 9, 10 である。

流変化量がやや少なく、一部では多価関数的な関係を示し、疲労度と必ずしも対応していないが、使用状態にあった現像液の疲労に対しては電流値変化が非常によく対応しており、特に図 9 にみられる相対感度の急激な変化に対して電流値も急激に変化している。ある程度以上の現像液疲労に対して電流値が一定になるのは、現像液中の銀イオン量に起因する結果とも考えられる。

9. 総 括

業務上自現機を使用している立場から、使用に際して起こるいろいろな問題について検討を進めた。

したがって施設による特殊性をも考慮すると以上の資料や結果だけで結論は出せないが、以上の結果は問題解決の一つの目安になる。現在の自現機は、正常状態では非常に使いやすいが、故障に対する制御機構が不十分で、故障発生後かなりの時間を経てフィルムの仕上がりが状態から気付くことが多い。我国では特に温度管理が難しく、水質不良によるフィルム汚染なども多い。今回の実験結果によって、現像液疲労に対する現像特性の変化や、現像温度変化に対する現像特性の変化が明確に把握できた。更に疲労の限界を定め得る一つの根拠を見出した。現像液の疲労状態を検出する方法として、現像液中で一定電圧に対する電流値の変化を測定する方法を示したが、この結果は分散配置された自現機の集中管理に対する技術的な足がかりになると思う。処理液組成や通電による処理液変化、定着液の管理など問題点も多いが、処理液の自動管理は増々その必要性を増している。

この研究にあたって協力をいただいた国立がんセンター放射線部の技師諸氏、実験の御指導をいただいた前国立がんセンタ

—放射線部鶴賀外未夫氏，三代忠氏，当院前技師長遠藤俊夫氏，また御校閲をいただいた当院技師長山下一也氏に深く感謝します。

また実験の便宜を計っていただいた長瀬産業コダック製品部福本力氏，池松勝紀氏に心から御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Andrew. K. Pozanski, M. D., Lloyd A. Smith, B. S. : Practical Problems in Processing Control. Radiology 90:135-138, Jan, 1968.
- 2) Eastman Kodak Co. : Sensitometric Properties of X-ray Film.
- 3) Entwicklungsautomat mit elektronischer Steuer-

ung. Polygraph, 1964. Nr. 17.

- 4) ターボゴシアン著，宮川正他共訳：放射線診断の物理：May, 1970.
- 5) 保積英次：写真のセンチメートル：56—82, 1966
- 6) 菊池真一他．科学写真便覧：上62—70，中121—141 下103—109
- 7) 富士フィルム技術サービスセンター，90秒迅速処理システム：映像情報 Vol. 1-4, 1969.
- 3) 遠藤俊夫他，自動現像装置：保健通信 Vol. 152, 1969.
- 9) 泉重光他．自動現像装置と管理：日放技雑誌 Vol. 26-3, 1970.

フシミの X線診断造影剤

バリトゲンデラックス

粉末品

レリーフ用 二重造影用
包装 1.2kg 5kg 15kg (200g×75 600g×25)

ウムブラール-A

粉末品

レリーフ用 二重造影用
包装 1.2kg 15kg (200g×75 600g×25)

バリトゲンゾル

流動性 100% w/v

レリーフ用 二重造影用 “吸い口”付
包装 600ml 5ℓ 新包装 200ml 300ml

バリトゲン発泡散

粉末品

二重造影用 発泡剤
包装 60g 小サジ付

バリトゲンゾルG

流動性 75% w/v

集団検診用 “吸い口”付
包装 600ml 5ℓ 新包装 200ml 250ml

バリトゲン消泡液

消 泡 剤 (1ml中ジメチルポリシロキサン20mg含有)
包装 200ml

“吸い口”

新包装品

発泡剤を使わなくとも“吸い口”を瓶に取付ける事によりバリウムと空気を胃内に送り込むことができます。

発売元 **伏見製薬株式会社** 丸亀市中津町1676

TEL (08772)2-6231

東京営業所 東京都中野区弥生町2の41の6 TEL (03)383-4422

大阪営業所 大阪市北区伊勢町9(八千代ビル別館5階) TEL (06)364-7061~2