直接撮影用自動露出機構の特性とその現状 (宮崎・斎藤・青柳)

ノート

直接撮影用自動露出機構の特性とその現状

東邦大学医学部附属大橋病院放射線部

宮 崎 茂

日本鋼管病院放射線科

斎 藤 一 彦

東邦大学医学部放射線医学教室

青 柳 泰 司

(論文受理 1984年 7 月 1 日)

(最終論文受理 1985年 7 月19日)

(Code No. 495. 4)

Key words: Automatic density control system for direct radiography; Performance survey; Combination with 2-peak and 12-peak generators; Thickness, Tube voltage, and Time characteristics; Normal performance

PERFORMANCE OF AUTOMATIC DENSITY CONTROL SYSTEM FOR DIRECT RADIOGRAPHY AND THE PRESENT STATE

SHIGERU MIYAZAKI

Department of Radiology, Ohashi Hospital Attached to the School of Medicine, Toho University

KAZUHIKO SAITO

Department of Radiology, Nippon Kokan Hospital

TAIZI AOYAGI

Department of Radiology, School of Medicine, Toho University

(Article received; Jul., 1, 1984)

Summary

Performance of daily using 36 automatic density control systems for direct radiography, the so-called photo-timing units, being widely accepted in Japan recently was tested by users employing three measuring criteria: phantom thickness, X-ray tube voltage and time response. In addition, normal performance of the typical units among them are discussed.

Fourteen units were tested in 1977 and twenty two units in 1982. According to the test results, there were 3 units in 1977 and 4 in 1982 that had normal performance.

Actual performance of the automatic density control system for direct radiography is influenced by the dynamic characteristics of the coupled X-ray generators. Looked at from this viewpoint, the generator dynamic characteristics were measured. The fundamental characteristics were discussed in connection with the responses from these generators, and the normal performance of these units is given in the following figures.

1. 結 言

X線直接撮影の適正な撮影条件は被写体のX線吸収に応じて決定されるが、通常撮影する場合その被写体に合った適正露出を前もって予測し、それに適したX線を曝射することは難しく人的誤差が大きい。これを補う目的で自動露出機構は考案された。自動露出機構はX線検出部と制御回路により構成され、これをX線発生装置と組合せ被写体透過後のX線強度に応じて曝射時間あるいは入射X線強度が制御され、被写体吸収の変化に対して常に同一濃度のX線写真を得るものである。本稿では自動露出機構のうち直接撮影用時間制御のものを対象とする。

直接撮影用自動露出機構の基本的な考え方は開発当初から現在まで変わらないが、X線検出器、制御回路等の特性に大きな向上が見られる。一方これと組合せるX線発生装置の進歩は著しく、現在のX線曝射時間はミリ秒単位で正確に制御することが可能となった。こうした中で自動露出機構の普及率は日本放射線技術学会東京部会X線装置研究会の調査によると1977年には79%、1982年には91%に達している^{1),2)}。

1977年東京部会X線装置研究会が行った特性調査(14台³⁾)、および1982年東京部会が行った第4回集談会において部会員が測定した自動露出機構22台⁴⁾、合計36台の自動露出機構についてユーザによる動作特性測定結果をまとめることができた。一方そこで得られた諸特性については各装置間のみならず同一機種種の自動露出機構間においても大きな開きが認められた。これについて同型の自動露出機構について管電圧、管電流計オシロスコープ等を接続し、より詳しく諸特性の測定を行い結果を検討し考察を加えたので報告する。

2. 調 査

2.1 調査方法および結果

X線装置研究会が行った調査方法は会員施設にアクリル板ファントムを持ち回り、撮影条件として管電圧80, 120 kV, 管電流100, 200 mA, 照射野30×30 cmを選び1種類のフィルムを使用しアクリル厚5 cmから25 cm

についてそれぞれ自動露出撮影を行い、写真濃度を測定し自動露出機構の動作特性を調べた。これから当時の自動露出機構の動作特性は被写体厚の薄い短時間領域では濃度が高く、被写体厚の厚い長時間領域では濃度が低下する傾向を示し、また管電圧による濃度差も大きくならずしも満足すべき状態になっていないという知見を得た³⁾。

集談会における方法は部会員が各施設でテストI被写体厚特性(管電圧、管電流を一定にし被写体厚を変える)、テストII管電圧特性(被写体厚、管電流を一定にし管電圧を変える)、テストIII応答時間特性(被写体厚、管電圧を一定にし管電流を変える)について実験した。22台の自動露出機構の結果はテストIでは濃度差0.2以内に納まる装置は7台、0.4以内に入る装置は4台、0.4以上の装置は11台であった。テストIIでは濃度差0.2以内に納まる装置は6台、0.4以内に入る装置は5台、0.4以上の装置9台であった。テストIIIでは0.2以内に納まる装置は11台、0.4以内に入る装置は3台、0.4以上の装置は5台であった。その内代表的な4種類の装置についてFig. 1に特性を示す。テストIは実線、テストIIは一点鎖線、IIIは破線で示し濃度は太線、mAs, msは細線で表わす。

2.2 小 括

臨床的に許容される濃度差を0.2(胸部写真で濃度差が判読できる値)とし、使用上問題ないと考えられる装置は1977年では3台、1982年は4台でありこの間5年経過しているが大差なくあまりよくなったとは言えない。ここでこの問題がどこにあるかを明らかにする目的で各機種種の標準となる特性について考察する。

3. 自動露出機構の標準的と考えられる特性⁵⁾

自動露出機構の基本特性には応答時間特性、管電圧特性、被写体厚特性がある。その中で応答時間特性は組合せるX線発生装置の主回路開閉機構の応答特性に大きく左右される。そこで同種の自動露出機構に主回路制御の異なるX線発生装置の組合せを例にとり、その特性の相違について考察を加える。

直接撮影用自動露出機構の特性とその現状 (宮崎・斎藤・青柳)

Fig. 1 Survey II (1982)

These charts were proposed by technologists attended to the JSRT Tokyo workshop to discuss the test results, respectively.

Test I: Phantom thickness and film density characteristics

Test II: Tube voltage characteristics

Test III: Time response

特性図について実線は濃度、破線は曝射時間、オシログラムは管電圧、管電流、蛍光強度、X線停止信号の各波形である。このオシログラムにより被写体厚に応じた自動露出機構の動作全体を判定した。

3.1 単相装置との組合せ(自動露出機構 PT-21A, X線発生装置 KXO-15V)

この装置は透視撮影台に組込まれX線の検出はX線蛍光増倍管の蛍光出力で行っている。この設定の場合天板、増感紙圧着板等のX線吸収特性、感光材料系、X線蛍光増倍管の線質特性により線質依存性が大きくなる傾向にある⁶⁾。Fig. 2は被写体厚と濃度、曝射時間について表わしたものである。横軸はアクリル板の厚さ、縦軸は濃度(左)および曝射時間(右)である。被写体厚特性を見ると管電圧80 kVでは8 cm, 90 kVでは11 cm, 100 kVでは12 cmから濃度は平坦となっている。被写体厚の薄い

Fig. 2 Performance of photo timing unit coupled with the thyristor controlled 2 peak generator.

Fig. 3 Relation between the X-ray termination signal from the photo-timing unit and X-ray pulse termination timing.

短時間領域では濃度がジグザグ状に変化している。この現象は主回路サイリスタ制御特有なもので電源周波数50 Hzの場合曝射時間が10 ms毎のパルス状に変化するためである。この現象を理論的にみると被写体厚と濃度の関係は被写体厚の薄いところで濃度はのこぎり歯状の変化を示し、厚さが厚くなるに従い減衰していくものである。Fig. 3は管電圧90 kV、管電流150 mAにおける主回路の動作特性を表したもので上から管電圧、管電流、X線停止信号、蛍光強度波形である。アクリル板7 cmではX線停止信号が10 msを極僅か越えたため写真効果（蛍光強度波形）は10 msで良いにもかかわらず20 msとなっている。またアクリル板厚が7 cmから10 cmと厚くなりX線停止信号は応答してるにもかかわらず曝射時間は変化しない。このように自動露出機構は応答時間に限界があり特性を調べる場合濃度とともに曝射時間との関係が重要な意味を持つ。この自動露出機構の最短応答時間は0.04秒である。この形の自動露出機構は管電圧特性、短時間、長時間曝射について補償回路がありそれらは良好に調整されている。

3.2 三相装置との組合せ

- a. 三相装置—1（1次側主回路サイリスタ逆並列制御型、自動露出機構 ZPS-P-A3、X線発生装置 DH-1513A）
この自動露出機構はX線検出部が増感紙フィルム系よ

りX線入射側にある前面検出型でブッキー撮影台に組込まれている。自動露出機構の特性はアクリル板の薄い短時間曝射領域で濃度変化は大きく、厚くなるに従い濃度変化は減少している（Fig. 4）。アクリル板18 cmで管電圧依存性を見ると管電圧60 kVから100 kVで濃度差は0.4である。短時間領域で濃度変化の大きな原因は自動露出回路内のリレーの応答遅れ、電源周波数50 Hzの場合X線制御が3.3 ms毎になりその遅れによるものである。Fig. 5はこの装置の動作を示したオシログラムで上から

Fig. 4 Performance of photo timing unit coupled with a conventional 12 peak generator.

DH-1513A ZPS-P-A3

80 kV 200 mA

Fig. 5 Relation between the termination signal from photo-timing unit and X-ray termination. From top to bottom, X-ray tube voltage, current, fluorescence intensity waveforms and termination signal.

管電圧、管電流、蛍光強度、X線停止信号の各波形である。アクリル板 5 cm より 6 cm の方がX線停止信号は伸びているが曝射時間は変わっていない。またアクリル板 10 cm においては自動露出制御回路の応答およびX線発生装置の応答遅れ両方が早期に反応している。この自動露出機構の応答遅れは約 5 ms あり、この遅れ時間が短時間曝射領域で大きな濃度変化となる。この自動露出機構の最短応答時間は約 20 ms である。ここに上げた自動露出機構は管電圧特性、短時間領域、長時間領域に対する補償回路がなく、その意味では自動露出機構の各特性を顕著に表わしているといえる。

b. 三相装置—2 (高速遮断⁶⁾) 自動露出機構 SPT-C10, X線発生装置 HD150G-40)

ここに上げる自動露出機構はX線検出部がフィルムチェンジャに組込まれ、増感紙フィルム系よりX線入射側で検出する前面検出型で主に胸部撮影に使用している。被写体厚特性はアクリル板 5 cm から 25 cm まで濃度変化は極僅かで良好といえる (Fig. 6)。自動露出機構と組合せるX線発生装置は自動露出制御回路からのX線停止信号に即応して、管電圧を写真効果のない不感電圧まで下げ主回路応答遅れをできるだけ短くする高速遮断回

Fig. 6 Performance of photo timing unit with the rapid interrupter.

路を有している。Fig. 7 はこれを動作させたときの管電圧、管電流、X線停止信号、蛍光強度波形である。遮断回路が動作すると管電圧は急速に低下し写真効果はほとんど無視できる値まで減少していることを示している。これにより主回路応答遅れは 1 ms となり短時間応答特性は大いに向上している。装置の最短応答時間は約 3 ms である。管電圧による濃度差はほとんどない。これは管

Fig. 7 Relation between termination signal and rapid interrupter.

Fig. 8 Auto shot with a rapid interrupter. X-ray tube voltage and current change within an exposure duration.

直接撮影用自動露出機構の特性とその現状 (宮崎・斎藤・青柳)

電圧が120 kV 以上と高いためX線検出部の自己吸収が少ないためである。

c. 三相装置—3 (auto・shot 自動露出機構 SPT-C10, X線発生装置 HD150G-40)

自動露出機構は多方向消化管透視撮影台に組込まれている。一般的な自動露出機構 (ホトタイマ) は曝射時間制御のため吸収体厚に適した管電圧, 管電流値を設定しなければ, 極端に曝射時間が短くなり応答時間の限界を越えたり, 曝射時間が長くなり運動ボケを起こす原因になる。オートショット方式は吸収体厚変化に応じ変化する曝射時間の変化幅をできる限り少なくする目的で考えられた装置である。Fig. 8 は装置を動作させたときの管電圧, 管電流, 蛍光強度波形である。またX線発生装置は短時間応答を良くする目的で高速遮断を有している。管電圧変化は曝射時間0.25秒内で管電流を380 mA から280 mA に減少させることで管電圧70 kV から110 kV まで増大させている。このようにオートショット方式は通常の自動露出機構に比べ有利な点もあるが吸収体厚変化による画質を選べない不便もある。Fig. 9 は自動露出機構の特性を表わしたもので被写体厚特性はアクリル板5 cm から25 cm の濃度変化は約0.18と良好であり, 最短応答時間は3 ms である。

d. 三相装置—4 (強制消弧サイリスタ制御⁶⁾ 自動露

Fig. 9 Performance of the auto shot.

出機構 PT-20A-C, X線発生装置 KXO-1250A 特)

自動露出機構はX線検出部が立形ブッキ撮影台に組込まれ, 胸腹部および胸腰椎の撮影に使われている。X線発生装置は一次側サイリスタ制御であるが, サイリスタを強制的に消弧させることで任意な時間でX線を遮断することができる。Fig. 10 は自動露出機構を動作させた場合の管電圧, 管電流, 蛍光強度, X線停止信号の各波形である。X線停止信号から約1.7 ms の遅れで主回路サイリスタは消弧されている。最短応答時間は約4 ms である。Fig. 11 は装置の特性を表わしたもので, アクリル板

Fig. 10 An example of 12 peak generator with a forced extinguish circuit. It is 1.7 ms at the termination.

5 cm から 25 cm で濃度変化は極僅かである。アクリル板の薄い短時間領域で濃度は連続的に上昇している。この原因は管電圧波形の立下りの遅れ（高圧コンデンサ、高圧ケーブルの浮遊容量等による。）によるもので先に述べた主回路開閉の応答遅れとは異なる。管電圧による濃度差は管電圧 90 kV から 140 kV で約 0.15 である。アクリル板の厚い比較的曝射時間の長い領域で僅かに濃度が高くなっているが、これは被写体厚補正の過補償によるもの

である。

e. 三相装置—5（二次側スイッチングチューブ制御⁶⁾自動露出機構 PT-20A-C, X線発生装置 KXO-1250C 特）

自動露出機構は高速フィルムチェンジャに X線検出部が組込まれ（前面検出）血管撮影等の連続撮影に使われている。Fig. 12 は自動露出機構の特性を表わしたものでアクリル板 7 cm から 25 cm まで写真濃度は平坦で良好な結果を示している。X線発生装置は二次側制御のため

Fig. 11 Performance of the photo-timing unit of a 12-peak generator with a forced extinguish circuit.

Fig. 12 Performance of a 12-peak generator with switching tetrode tubes. This photo timing unit is used for the head and abdominal angiographic unit.

Fig. 13 An example of a 12-peak generator with switching tetrode tubes. It is 100 μ s at the termination delay.

直接撮影用自動露出機構の特性とその現状 (宮崎・斎藤・青柳)

任意な時間でX線制御が可能であり、Fig. 13は自動露出機構を稼動させた時の管電圧、管電流、蛍光強度、X線停止信号の各波形である。主回路の応答遅れは0.1 ms程度で動作している。この場合装置の最短応答時間は約2.5 msである。Fig. 12においてアクリル板の薄い短時間曝射領域での濃度上昇はX線の強曝射により、自動露出機構が正常に動作してないため(Fig. 13でアクリル板1 cmから4 cmにおいてX線停止信号のタイミングが変わってない。) いままで述べた主回路応答遅れと異なり、自動露出機構自体の問題として考えなくてはならない。管電圧変化による濃度差、アクリル板の厚い長時間曝射領域での濃度変化はいずれも僅かで問題ない。

3.4 小 括

自動露出機構の基本的な特性には応答時間特性、管電圧特性、被写体厚特性があり、その中で応答時間特性は自動露出機構が正常に動作していればX線発生装置の主回路開閉特性によって決定される。以上の例から求めた最短応答時間は単相装置の場合10 ms (50 Hz)の階段状のX線制御のため40 ms (50 Hz)である。しかしX線発生装置主回路開閉が強制消弧サイリスタ制御、高速遮断機付加の場合、主回路応答は5 msから可能である^{3),6)}。三相装置は一次側制御の場合3.3 ms (50 Hz)毎の制御になるため約20 msである。しかしこれに高速遮断機が付加されれば3 ms、主回路が強制消弧サイリスタ制御の場合4 ms、二次側制御では2.5 msである。管電圧特性は使用する増感紙の線質特性とX線検出部に使用する蛍光体の線質特性によって異なる。しかし実際の自動露出機構には管電圧依存性の補償回路の有無、またその調整によりさまざまな特性が表われる。被写体厚特性についても同様なことが言える。一般的には被写体厚が厚く曝射時間が長くなるに従い写真濃度は徐々に低下する。

4. ま と め

自動露出機構について、本来その装置が持っている性能を十分活用するために必要な基本特性について述べた。現在わが国で一般的に使用されている自動露出機構は蛍光体と光電子増倍管を用いたもので、基本的な動作は適

正露光(写真濃度)に相当するX線量に応じX線曝射時間が制御される自動タイマである。したがって自動露出機構の特性を論ずる場合、曝射時間の制御方法に注目しなくてはならない。1977年の調査時には総合特性上多くの問題があったが、特にX線発生装置の大半が主回路開閉に電磁接触器を使用していたため自動露出機構の短時間応答特性に顕著な濃度のバラツキが表われるなどの問題が注目された。1982年のテストではX線発生装置の大部分が主回路サイリスタ制御と変わり短時間応答特性に表われる濃度のバラツキは解消され最短応答時間も短縮された。しかしなお自動露出機構の総合的な特性上に大きな開きが見られた。そこで現在使われている代表的な機種について、標準と見なされる特性について実際の測定結果に基づいて検討、考察を加えた。同一機種間で総合的な特性に大幅な開きが見られる点については基本的な特性の測定を行い、その装置の動作状態を客観的に認識することにより、その装置が本来有する標準的な動作特性に近づけることができると考える。

採光野の問題については人体の被検査部位に対する形状や配置の適合性をもっとも重要であり、これについては過去に数多くの研究成果があり本文の適用外と考える。

おわりに貴重な測定資料を提供いただいた東京部会会員、測定に協力していただいた東京部会X線装置研究会会員の皆様に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 渋谷一男、他：アンケートより見た診断用X線装置、日放技学誌、**36**(2)、199-208、(1980)。
- 2) 中沢靖夫、他：アンケートより見た診断用X線装置(第4報)、日放技学誌、**39**(5)、713、(1983)。
- 3) 宮崎茂、他：自動露出装置における時間特性について、日放技学誌、**34**(3)、202-208、(1978)。
- 4) 宮崎茂：写真濃度から見た各施設の特性とその検討、日放技学東京部会雑誌、**7**、15-18、(1982)。
- 5) 斎藤一彦：自動露出機構の基本特性、日放技学誌、**36**(5)、555-567、(1980)。
- 6) 青柳泰司：診断用X線装置、コロナ社、(1979)。