ライナックグラフィー (増感紙と build-up の問題)

名古屋市立東市民病院

沢 田 武 司

(論文受付 昭和46年9月21日)

THE PROBLEMS OF INTENSIFYING SCREENS AND BUILD-UP EFFECT IN SUPERVOLTAGE RADIOGRAPHY

By Takeshi Sawada

Nagoya Municipal Higashi Hospital

(Article received: Sep. 21. 1971)

Summary

In supervoltage x-ray it is well known that the dose beneath the skin surface depends upon the build-up effect of x-ray. The purpose of this paper was to discuss whether the build-up effect gave some influences to the effect intensifying screens or not, for the diagnostic linacgraphy. Three kinds of intensifying screens were used GS-Kyokko, RS and Gd- Toshiba. And in each case it was discussed whether the Pb-foil should be used or not. (it's thickness 0.1 or 0.3mm) When the intensifying screen was used the contrast of the film was good but the sharpness was unsatisfactory without the Pb-foil.

目 次

第Ⅰ章 研究目的

第Ⅱ章 研究方法

第一節 実験材料

第二節 研究対象

(1) 増感紙の問題

(2) 実験結果

(3) ビルドアップの問題

(4) 実験結果

第Ⅲ章 総括および考察

第Ⅳ章 結 論

第Ⅰ章 研究目的

胸部ライナックグラフィーを撮影する場合、現在私共が使用可能な超高圧撮影用増感紙の種類は数少ない。

またこれに組合わせるフィルムにも問題があり日常大変不便を感じている。そこで日頃使用している増感紙の特性について調べ、出来れば他にこれに匹敵する性能のものを検索するために増感紙について、そのエネルギー特性と感度並びにビルドアップ効果による画質の差異等利用上の諸問題について、2, 3の実験をおこなったので報告する。

第Ⅱ章 研究方法

第一節 実験材料

胸部ライナックグラフィーに用いた装置は東芝製ライナック (LMR-13) で、撮影エネルギーは6 MeV X線を主とした。研究対象の増感紙は GS, RS, IMS, IDF, FS と Gd_2O_3S/Tb (ガドリニウム増感紙) を使用した。ファントムはランドファントム、バーガーファントムを使用し、増感紙の感度測定は照度計 (Toshiba PI

—2型) による方法と工業フィルム法による二種で実験をおこなった。

第二節 研究対象

(1) 増感紙の問題：胸部ライナックグラフィーに使用する増感紙の性能を検討するために、次の項目について調べた。

a. 蛍光物質の厚み

ライナックグラフィーを撮影する超高压X線領域では増感紙の蛍光物質の塗布される厚み (g/cm^2) がどれ程であれば、変換効率良くフィルムを感光せしめるかを検討した。対象にした蛍光材料には最近新しく開発されたガドリニウム ($\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}/\text{Tb}$) 物質を使用して、台紙に $0.05 \text{ g}/\text{cm}^2$, $0.1 \text{ g}/\text{cm}^2$, $0.2 \text{ g}/\text{cm}^2$, $0.3 \text{ g}/\text{cm}^2$, $0.4 \text{ g}/\text{cm}^2$ の厚みに塗布したテスト用増感紙を使用した。測定方法は 6 MeV X線でフィルムは工業用 (type 100) を用い、各厚みの増感紙をカセット前面 (Front 側) に張りつけ撮影した。この時吸収体は Mix-Dp を用い各厚みに於けるフィルム濃度を測定比較した。

b. 増感紙のエネルギー特性

ライナックグラフィー用の増感紙 GS と RS 増感紙の鉛箔有無の3種について増感紙の輝度を測定比較した。なお GS 増感紙には 0.1 mm の鉛箔、RS は 0.3 mm の厚みのものが接着してある。測定条件は 6 及び 10 MeV X線を使用し入射線量を $200 \text{ R}/\text{min}$ とした時の Mix-Dp 透過後の輝度変化を求め、両者のエネルギー特性を調べた。測定方法は東芝製照度計を用い図1に示す如き方法でおこなった。

図1 増感紙の輝度測定方法

c. 超高压撮影用増感紙の比較

現在私が使用しているライナックグラフィー用増感紙 GS と RS 及びガドリニウム増感紙の3種類について感度と解像力について測定比較を試みた。測定方法は 1 cm 厚のアクリライト階段を吸収体として、各種増感紙で撮影した各 Step のフィルム濃度を測定した。次に解像力

試験はバーガーファントームによる現出能より求めた。更に各等しいフィルム濃度の個所の粒状性をも比較した。

(2) 実験結果

増感紙の蛍光物質の厚み (g/cm^2) とフィルム濃度の関係を図2に示す。この結果より蛍光物質の厚みが $0.2 \text{ g}/\text{cm}^2$ の場合がフィルム濃度が一番高く、 $0.1 \text{ g}/\text{cm}^2$ がこれにつき蛍光物質を $0.3 \text{ g}/\text{cm}^2$, $0.4 \text{ g}/\text{cm}^2$ と厚く塗布してもフィルム濃度は上昇しなかった。すなわち最適な増感紙の蛍光物質の厚みは $0.2 \text{ g}/\text{cm}^2$ であった。

図2 蛍光物質の厚みとフィルム感度の関係

図3 (a) 6 MeV X線による増感紙の輝度特性

(b) 10 MeV X線による増感紙の輝度特性

b, 6, 10 MeV X 線における増感紙 GS と RS 増感紙鉛箔有無の三種の輝度測定結果は図 3 の通りである。これより 6, 10 MeV X 線では RS 増感紙鉛箔無しが一番明るく, Mix-Dp 1.5 cm, 2 cm の厚みで最高輝度を示しビルドアップ効果が観察出来たが, 増感紙に鉛箔が張り合わせてあるものでは反対にビルドアップ効果は認められなかった。

C, 超高圧撮影用増感紙についての濃度曲線図 4 より増感紙の感度は Gd ($\text{Gd}_2\text{O}_3/\text{Tb } 0.2 \text{ g/cm}^2$ の略),

図 4 各増感紙の濃度曲線

写真 1 (a) Gd 増感紙頭部ランドファントーム X 線像

図 5 増感紙の解像力比較

(b) GS 増感紙頭部ランドファントーム X 線像

(c) RS 増感紙頭部ランドファントーム X 線像

RS, GS の順に低下した。Gd 蛍光物質は従来のものより 2 倍の感度を示した。しかし、反対に解像力は GS, RS, Gd の順に低下する図 5。実際に 6 MeV X 線で撮影した三種類の頭部ランドファントーム像を示す(写真 1) 次にフィルム粒状性について顕微鏡撮影した写真 2 より, GS 増感紙で撮影したものが一番微細で, Gd 増感紙のものが一番悪い結果を得た。

写真 2 (a) Gd 増感紙のフィルム粒状性

(b) GS 増感紙のフィルム粒状性

(c) RS 増感紙のフィルム粒状性

(3) ビルドアップの問題

超高圧撮影用増感紙を使用する際に、増感紙のビルドアップ効果の有無がどのようにレ線像の画質に影響するかを検討した。その理由は現在市販されている金属増感紙のごとく、鉛箔が接着されビルドアップ効果を除去したものであるため、これを使用するのが適当か否かを調べ出来ればビルドアップ効果を活用して写真コントラストを上昇させ得ないものかと考え次の実験を行なった。

a. ビルドアップ効果による画像の差異

超高圧撮影法の特色であるビルドアップ効果が、ライナックグラフィーの場合如何なる影響をレ線像の画質に及ぼすかを検討した。撮影対象は図6に示すファントームを作成撮影した。このファントームのレ線像の各孔の部位と各アクリライト階段濃度を測定比較した。更に鎖骨、肋骨の乾燥骨及び Mix-Dp 円柱模型を撮影して両者の画像の相違について検討した。

ACR 階段

図6 ビルドアップテスト用 ACR ファントーム

b. コントラストと解像力について

市販されている超高圧撮影用増感紙は鉛箔を張りつけており、ビルドアップ効果を除去してある。この鉛箔が張り合わせてある増感紙と張り合わせてない増感紙を用いて撮影した場合のコントラストと解像力の違いについて比較した。測定方法は RS 増感紙に 0.3 mm の鉛箔を張り合わせたものと張り合わせないものを用いて、コントラストについては照度計による Mix-Dp 透過後の輝度変化とフィルム濃度曲線の両者より求め、解像力はバーガーファントームの現出能より検討した。

c. 撮影上の問題

私共は胸部ライナックグラフィーを目的としたので、ビルドアップ効果を補正した増感紙と補正されない増感紙で撮影した時の肺野濃度差について検討した。方法は胸部ランドファントームの側面にアクリライト階段を基準吸収体として並べ同時撮影した。このフィルムよりランドファントームの右側中肺野濃度に相当するアクリライトの厚みを求めて、増感紙のビルドアップ効果有無による濃度差について検討した。増感紙は鉛箔の張り合わせてある RS (0.3 mm Pb), GS (0.1 mm) と張り合わせてない工業用増感紙 IMS, IDF を使用した。

次に超高圧撮影法の際、散乱線を除去して出来るだけ鮮明なレ線像を得ることが必要である。しかし、現在専用の超高圧撮影用グリットが開発されることはほとんど期待出来ないで、これに代わるべき方法としてグレーデル法を適用した時のビルドアップ効果がどのように変化するかを調べてみた。

(4) 実験結果

a. ファントームを撮影したフィルム像より、鉛箔のない増感紙では孔の部分濃度はアクリライト階段の厚みが薄い所では淡く、厚くなると孔の濃度が濃くなった。

写真3. これに反して鉛箔が接着してある増感紙ではア

写真3 テスト用ファントームのライナックグラフィー上がビルドアップ効果を認める。下はビルドアップを認めないX線像

クリライト板の薄い所の孔濃度は濃く、更に厚くなるとしだいに濃度が高くなる。この各濃度の測定結果図7より、ビルドアップ効果によりある厚みの所までは、孔の濃度がアクリライト板濃度より淡くなり、しだいに両者の濃度が等しくなることを識った。特にこの傾向は孔の直径が大きい程、撮影エネルギーが高くなるほどアクリライト板の厚みがあつくなった。写真4

次に Mix-Dp の材料で高さ 1.2 cm, 1.9 cm, 2.5 cm の円柱型に直径 1 cm, 1.2 cm の孔をあけた模型を 6 MeV X 線で撮影したフィルム画像では両者の差を明瞭に認めた。両者を比較してみるとビルドアップ効果により模型

図7 6. 10 MeV X線テスト用フェントームのビルドアップ効果を認めるフィルムの濃度曲線

写真4 上がエネルギー 6 MeV, 下が 10 MeV X線で撮影したX線像

写真5 MixDp 模型を撮影したX線像
上がビルドアップ効果を認め、下は効果を認めない

の内外壁に二重の淡い陰影を作り、周辺側の濃度が均等にならず二重の輪廓を描いた像が現われた。鉛箔を張り合わせた増感紙ではこの様なレ線像は認められなかった写真5。更に鎖骨、肋骨等も同様に周辺部濃度が淡く二重の陰影に撮影されるが、鉛箔を張り合せたものではこの現象は認められない写真6。以上のレ線像よりビルドアップ効果の特色は吸収体の実質部と中空部との濃度が等しくなる所が認められたり、空気層の部分とか周辺部の濃度が淡く撮影されたりする。

b. 鉛箔の有無によって如何に写真コントラストに影響

写真6 (a) 鉛箔なし増感紙で撮影した肋骨、鎖骨X線像

(b) 鉛箔あり増感紙で撮影した肋骨、鎖骨X線像

図8 (a) 鉛箔有無増感紙の濃度曲線

(b) 鉛箔有無増感紙のコントラスト比率比較

響を与えるかを調べた結果、フィルム濃度曲線より鉛箔無しの方がコントラストが良かった図8。更に照度計を用いて各種増感紙のコントラスト比率を測定した結果で

図9 鉛箔有無増感紙による解像力の比較

も、RS 増感紙鉛箔無しが最もコントラストが良好であった。ライナックグラフィーではビルドアップ効果によりコントラストが向上する。次に解像力では凹型バーガーファントムの現出能より、増感紙に鉛箔が張り合わせてある方が散乱線が除去されるため幾分か良くなる図9。両増感紙を用いた頭部ランドファントムのライナックグラフィーを比較すると写真7の如くである。

c. 実際に胸部撮影の時に、ビルドアップ効果により肺野濃度がどのように変化するかを調べるために、アクリライト階段濃度を判定基準として用いた。その結果図10の如く、右中肺野濃度が等しくなるアクリライト板の厚みはRSが最高で8.7cm 最低がGSで8.3cmとなり、他はこの範囲に収まり4種類の増感紙の差異はアクリライト板4mm程度でほとんど有意差はなかった。こ

図10 増感紙の種類による肺野濃度の変化

写真7 (a) 鉛箔無し増感紙頭部ランドファントームX線像

(b) 鉛箔有り増感紙の頭部ランドファントームX線像

写真8 胸部ライナックグラフィーとアクリライト階段

の結果よりあらかじめ鉛箔によりビルドアップ効果を補正しなくとも、被写体自身の厚みによりビルドアップ効果が補正され胸部撮影上両者の肺野濃度差は余り認められない。また成人男子の胸部について測定した結果ではアクリライト板の厚さが8.1cmの所が左右中肺野平均濃度に相当した(写真8)。

次にグレーデル法を用いて撮影した時のビルドアップ

写真9 6 MeV X線での密着(上)とグレーデル効果2 cm離れた時のビルドアップ効果の変化(下)

効果について検討した。その結果ファントムから5 cm, 10 cm, 15 cmと離して撮影した時のフィルムはどれも完全にビルドアップ効果が消失した。そこでファントムからどれだけ離れたらビルドアップ効果が消失するかを追加検討した所、10 MeV X線で3 cm, 6 MeV X線で2 cmの範囲内ではわずかにフィルム像に効果が観察出来た(写真9)この結果より、実際にグレーデル法を用いて撮影する被写体・フィルム間距離10 cm~15 cmでは完全にビルドアップ効果が現出せず、これより短い2~3 cmの距離にとどまらないと効果が得られなかった。

第Ⅲ章 総括および考察

(1) 増感紙の問題

超高圧撮影用増感紙を作成する場合も、従来より使用している増感紙と同様に蛍光物質を無制限に厚く塗布してもフィルム感度を挙げ得ず、撮影時間を短縮することが出来なかった。蛍光物質を 0.3 g/cm^2 以上厚くしてもフィルム感度は上昇せず $0.1 \sim 0.2 \text{ g/cm}^2$ の厚みが適当と考える。現在、私共では胸部ライナックグラフィーの撮影エネルギーは6 MeV X線、放射線治療には10 MeV X線を主に用いている。そこで日常使用している超高圧撮影用増感紙GS, RSの鉛箔有無について6, 10 MeV X線のエネルギー特性を調べてみると6 MeV X線の方が三種類とも輝度特性の差が明瞭に認められ、10 MeV X線では各増感紙の輝度特性が類似した。この点からも6 MeV X線で撮影するのが便利と考える。

次に診断用に使用している増感紙GS, RSと最近開発された希土類元素を含む蛍光物質 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S/Tb}$ の三種類について性能を比較してみると、感度についてはGd増感紙が最高で以下RS, GSの順に低下するが、解像力は逆にGS, RS, Gd増感紙の順に劣る。従って解像力さえ、向上させ得られるならばGd増感紙は大変優れたも

のと考える。この理由よりGd増感紙の感度を半分以下にして、解像力を向上させるために蛍光材密度をFront側 0.03 g/cm^2 , Back側 0.05 g/cm^2 の厚みにした増感紙を試用した所、大変良い結果が得られた(図11)すなわち感度はGS増感紙より僅か良く、解像力はGS程度に向上出来た。この増感紙で胸部ランドファントムを撮影比較してもほとんど優劣は認められなかった(写真10) 現在胸部ライナックグラフィーには解像力の優れたGSを主に使用しているが、正面撮影条件としてはエネルギー6 MeV X線、撮影時間0.15 sec、撮影距離200 cmで、側面は撮影時間0.2 secでその他は同一条件でフィルムは工業用type 100またはRRで撮影している。ただし、放射線治療のための照射野確認のための置位決めライナックグラフィーを撮影する時は10 MeV X線を使用するので、出来るだけコントラストを高めるためRS増感紙をしばしば用いている。

図11 Gd(i)改良増感紙と他の増感紙との現出能比較

写真10 (a) GS増感紙のライナックグラフィー

(b) Gd 改良増感紙によるライナックグラフィー

(2) ビルドアップの問題

鉛箔無しの増感紙の表面に吸収体を置かない時の輝度は鉛箔を張り合わせた増感紙に較べて輝度が低下するが次に Mix-Dp の厚さ 1.5 cm (6 MeV X 線), または 2 cm (10 MeV X 線) のものを置くと逆に前者の輝度が最高になり, それ以上厚くすると輝度は減少しビルドアップ効果が認められる。そこで, この効果が実際にライナックグラフィーを撮影した時, 増感紙の種類によりどの様にレ線像に影響を与えるか大変興味があり検討した。使用増感紙は RS 増感紙で鉛箔 0.3 mm の厚みが接着してあるので, ビルドアップ効果は認められないが鉛箔無しのもものでは顕著に効果が認められた。そこで両増感紙を使用してレ線像を比較してみた (写真11)

最初に私共が日常撮影している 60 KV X 線と 6 MeV X 線像のファントム写真12を掲げる。この両者のレ線像より 60 KV X 線では何物もない所のフィルム濃度が

写真11 6 MeV X 線によるビルドアップ効果を示す。(上が効果あり, 下が効果なし)

写真12 (a) 60 KV X 線で撮影した Al, Mix-Dp の X 線像

(b) 6 MeV X 線で撮影した Al, Mix-Dp の X 線像

一番黒くなるが, 6 MeV X 線ではむしろこれとは逆に濃度が淡くなり吸収体がある所の方がビルドアップ効果により濃くなり, 超高圧 X 線像は従来の画像と異なった趣きの X 線像を呈するのが良く判かった。この変化はビルドアップ効果を補正した増感紙では濃度の点では従来の X 線像とは余り変化なく撮影される。この両者の特色ある増感紙を診断目的に応用した場合にどちらが有意義であるかについて考えた。この問題点を検討するために簡単な模型を作り撮影したレ線像の差異を比較した。

例えば胸部の空洞模型を撮影した時, 空洞壁はビルドアップ効果の影響を受け内壁の陰影が淡くなり空気層を伴う吸収体に大きな変化を与えた(写真13)しかし, 実際の被写体は軟部組織, 肺組織, 骨組織の組合わせによるので, この単純な模型のレ線写真のみからは総てを推測することは出来ない。更にこの問題を検討するために前方 3 cm, 後方 2 cm 厚の Mix-Dp に Cork 14 cm の厚みを組合わせた胸部ファントムを作り, この真中にビルドアップ効果の影響について調べる吸収体を置き撮影した(写真14)この写真より胸部ファントム内に収まった吸収体はファントム全体の厚みの影響により, ビルドアップ効果を受けた写真5とは異なったレ線像を得た。すなわち, 肺野内の病巣陰影は胸部全体の厚みがビルドアップ効果を生ずる深さより厚いために増感紙の違いによるビルドアップ効果は生じなかった。ただ, 鉛箔

写真13 空洞模型をライナックグラフィーしたX線像
上がビルドアップ効果を認めない、下が効果を
認める。増感紙で撮影した。

写真14 上がビルドアップ効果を認めるレ線像
左下が鉛箔なし増感紙、右下が鉛箔あ
り増感紙で撮影したレ線像

を接着していない増感紙は鉛箔を張り合わせた増感紙よりコントラストは良くなる。

臨床的に超高圧撮影法の特色は喉頭、気管支等の含気組織等及び空気層を伴う臓器の診断に優れた効果があるのは勿論であるが、大動脈瘤等の循環器の診断にも十分応用出来る場合がある。これをレ線写真の立場から観ると、ライナックグラフィーは空気層等の Negative 陰影のレ線像ばかりでなく、大動脈等の Positive 陰影にも十分撮影価値があると考ええる。写真15, 16。

最後にグレーデル法で撮影した時にはビルドアップ効果は現出しない。この方法は散乱線を除去する目的には有意義であるが、ビルドアップ効果を求める立場から考えるとわずか2~3 cm程度フィルムを被写体から離れただけで影響を受けることを知った。従って被写体・フィルム間を出来るだけ密着撮影することが肝要である。

第Ⅳ章 結 論

1) ライナックグラフィー用の増感紙の蛍光物質の厚みは 0.2 g/cm^2 程度が良くフィルムに感光した。

2) 超高圧撮影用増感紙 GS と RS 鉛箔有無の三種では RS 増感紙鉛箔なしが、一番感度が良くビルドアップ効果が認められた。他のものでは認められなかった。

3) 超高圧撮影用増感紙の感度は Gd, RS, GS の順

写真15 (a) ビルドアップ効果を認める増感紙 (RS)
による頸部ライナックグラフィー

(b) ビルドアップ効果を認めない増感紙
(RS)による頸部ライナックグラフィー

写真16 胸部ライナックグラフィー
6 MeV X 線 GS 増感紙

に低下したが、解像力は GS, RS, Gd の順に悪くなった。

4) 同種増感紙において解像力は鉛箔を張り合わせた増感紙の方が良く、コントラストはビルドアップ効果により鉛箔を接着しない方が高くなった。

5) ビルドアップ効果によるレ線像の差異は薄い吸収体の所では濃度が淡く、6 MeV X 線で 1.5 cm, 10 MeV X 線では 2 cm Mix Dp の厚みで濃度が最高になった。また、ライナックグラフィーレ線像では空気層を伴う陰影に大きな影響を与えた。

参考文献

- (1) 山下久雄他：特殊 X 線造影法，医学書院，1967
- (2) ターボゴンアン：放射線診断の物理，朝倉書店，1970
- (3) 滝沢達見他：特殊増感紙，極光 No 28，1971
- (4) 辻 吉彦他：リニアークセラレーターによるエックス線像撮影に関する研究，日医放誌，29，1969
- (5) 堤 直葉他：レスポンス関数 (MTF) 評価によるリニアックグラフィー，日放技誌，27，1971