ノート

新素材カセットの表面材質の画質に与える影響について

岡本孝英・丸石博文¹⁾・小川敬壽・森 剛・山崎哲史・前島秀幸
吾子俊敬・鎌江春憲²⁾・伊知地宏志²⁾

論文受付
2000年7月12日

論文受理
2000年9月28日

Code Nos. 530
734

帝京大学医学部附属病院中央放射線部

1)浜脇整形外科病院

2)コダック(株)

はじめに

X線撮影用のカセットの性能といえば、古くは耐久性と圧着性に注目されてきたが、最近ではそれらの性能に加えて、強度や軽量化、美的センスに応える製品が普及している。

一方、被曝軽減や画質向上^{1,2)}を主眼とした炭素繊維強化樹脂(以下、CFRP)素材のカセットも市販されるようになり、カセット自体が備えるべき必要条件が整った時期に入ったといえよう。

そうしたなかで最近、コダック株式会社から前面素材に新しい技術を使ったカセットが発表された。そこで今回、このカセットの持つ物理特性と画像特性について、新素材カセットと従来からあるカセットについ

て比較を行った。試験したカセットは、前面素材にアルミニウム(以下、Al)、CFRP、新素材:Hylite(以下、Hylite)の3種類とし、試験内容は、カセットの前面素材によるX線吸収、散乱X線含有率、MTFの比較、およびファントム撮影による画像評価である。また実験結果を検証する目的でモンテカルロ計算による散乱X線含有率、MTF、コントラストのシミュレーションを行い、新素材の特徴と有用性を検討した。

1. 使用機器および実験方法

1-1 使用機器

試験したカセット前面の構造および仕様をFig. 1に示す。また使用機材を下記に示す。

Influence of New Cassette Front Material on Radiographic Images

TAKAHIDE OKAMOTO, HIROFUMI MARUISHI,¹⁾ NORIHISA OGAWA, TAKESHI MORI,
NORIHITO YAMAZAKI, HIDEYUKI MAEJIMA, TOSHITAKA AKO, HARUNORI KAMAE,²⁾
and HIROSHI ICHIIJI²⁾

Department of Radiology, Teikyo University Hospital

1)Hamawaki Hospital

2)Kodak Japan Ltd.

Received July 12, 2000; Revision accepted Sept. 28, 2000; Code Nos. 530, 734

Summary

This report describes a comparison of cassette front material in terms of its effect on radiographic imaging. We compared aluminum, carbon fiber, and a new material (Hylite) in terms of their absorption, scatter rate (lead-disc method), MTF, and subjective appearance, using an extremity phantom. For scatter rate and MTF, we also carried out analysis using Monte Carlo simulation. Results indicated that the cassette using the new material was intermediate between the aluminum panel and CFRP panel in terms of weight, absorption rate, and scatter rate. We also found that the new panel material showed a visual difference from the aluminum panel when a lower tube voltage and thinner object were assigned.

Key words: Radiography, Cassette, Front material

別刷資料請求先: 〒173-8606 東京都板橋区加賀 2-11-1
帝京大学医学部附属病院中央放射線部 岡本孝英 宛

Fig. 1 Structure and specifications of cassettes tested.

Fig. 2 (a) Experimental arrangement with exposure conditions.
(b) Experimental arrangement with exposure conditions for scatter fraction.

使用機器

X線発生装置	: DFH-155H (株式会社日立メデ イコ)
線量計	: Capintec 192AX
プローブ	: PM-05 (5.3ml)
濃度計	: Macbeth TD931S
Microdensitometer	: 阿部設計2405形
自動現像機	: CEPROS M2 35°C 90sec (CE-DF1)
増感紙/フィルム	: HR4/superHRS (富士メディカ ルシステム株式会社)

1-2 カセット前面のX線吸収

1-2-1 被写体のない場合の吸収線量

カセット前面によるX線吸収を、プローブ上にカセットの前面を配置しない場合と、配置した場合の線量から撮影管電圧40~100kVにおけるカセット前面による吸収線量比を測定した。

1-2-2 被写体を付加した場合の吸収線量

実験系はFig. 2aに示すように、カセット前面の上にアクリルファントムを配置して、被写体による散乱X

線付与やビームハードニングによる前面素材の影響について実験を行った。アクリルファントムの厚さは0~7cmまで変化させ、撮影管電圧は40, 60, 80kVとし、照射野の大きさは20cm×20cmとした。

1-3 散乱X線含有率の測定

1-3-1 被写体のない場合の散乱X線含有率

3種類のカセット前面からの散乱X線含有率を、鉛ディスク法³⁾で測定した。鉛板の厚さ3mm、直径2mmφから8mmφまで1mm間隔で7個の鉛ディスクをカセット前面中央に密着させた。X線写真の背景濃度は 1.6 ± 0.1 とし、撮影管電圧40, 60, 80kVで撮影した。なおX線出力をモニターするために線束内に線量計を配置し、X線出力の変動に対する補正を行った。

1-3-2 被写体を付加した場合の散乱X線含有率

Fig. 2bの実験系でカセット前面にアクリルファントムを配置し、散乱X線含有率を測定した。なお、測定したアクリルファントムの厚さは3, 5, 7cm、撮影管電圧を40, 60, 80kVとした。

1-4 写真コントラスト

写真コントラストの測定は、3種類のカセットに増感紙/フィルムを装填し、アクリルファントム上に骨等価物質のステップを置いて撮影(Fig. 2a)し、その濃度より骨等価物質のコントラストを求めた。写真コントラスト C の算出は距離法で作成した各カセットによる特性曲線から各ステップの濃度をX線強度に変換して減弱曲線を作成し、

$$C=0.434 \cdot \gamma \cdot (\mu_2 - \mu_1) \cdot \Delta d$$

γ : フィルムのガンマ

μ_1, μ_2 : 物質の減弱係数

Δd : 物質の厚さ

を用いて背景濃度1.5における写真コントラストを求めた⁴⁾。なお、ファントムの撮影は、撮影管電圧40, 60, 80kV アクリル厚0, 3, 5cmについて行った。

1-5 鮮鋭度の測定

鮮鋭度の測定は、3種類のカセットに増感紙/フィルムを装填し、スリット法によるMTF測定を行った。

1-6 モンテカルロ計算によるシミュレーション

モンテカルロ計算により、散乱X線含有率、MTF、および写真コントラストのシミュレーションを行った。計算モデルは、散乱X線含有率についてはFig. 2bの実験系とし、計算に用いた入射X線スペクトルは定電圧装置、ターゲット角17度、総濾過アルミニウム2.5mmによるデータを用いた。

MTFはX線をスリット状に入射させたときの二次元の線量分布から求めたLSF(line spread function)より求めた⁵⁾。また、写真コントラストはアクリルファントムの上にアルミニウム1mm厚を被写体としたモデルを想定し、被写体とアクリル部分のコントラストを計算で求めた⁶⁾。

1-7 画像の視覚評価

手指骨および膝関節のファントムをFuji HR4+superHRSを装着した3種類のカセットで撮影し、X線写真をシェフェの一対比較法で評価した⁷⁾。手指骨の写真濃度は、撮影管電圧40kVで、中指骨の同一部位が1.25になるように撮影した。同様に膝関節は撮影管電圧60kV、グリッド(-)で膝関節内の同一部位が濃度1.60になるように撮影した。画像の視覚評価は、個々の撮影部位に対して、評価基準を統一するために、観察上のプロトコルを作成し評価した⁸⁾。評価は画像のコントラスト、鮮鋭度、および全体を観察したとき

Fig. 3 Relation between tube voltage and x-ray absorption rate of the tube side material of each cassette.

の主観的な評価についてで行った。なお、視覚評価の観察条件は室内の明るさが250lx, シャウカステン⁹⁾の明るさが4200lxとし、シャウカステンより30cmの距離で観察した。

2. 結果および考察

2-1 X線吸収線量

被写体がない場合の管電圧に対するカセット前面素材のX線吸収線量比の変化をFig. 3に示す。このグラフから、HyliteカセットはCFRPとAlカセットのX線吸収線量の中間の値を示し、管電圧に対する吸収線量比はCFRPが管電圧に対して一定だが、Alは50kVのときの吸収線量に対して100kVでは30%, Hyliteは20%程度低下した。CFRPが管電圧に対し変化しないのは、素材が低密度、低原子番号であることを現し、Hyliteはその中間に位置していることが分かる。

次に被写体がある場合のX線の吸収線量比と被写体厚の関係を示したのがFig. 4である。このグラフから、3種類の前面素材の吸収線量比は、被写体厚が3cm (Fig. 4a)ではAlの吸収が大きく被写体が厚くなるほど差が小さく、被写体厚7cm (Fig. 4b)ではCFRPとHyliteカセットは同一吸収値を示す。これはカセット前面素材が吸収体によるX線のビームハードニング効果によって高エネルギー程差が少なくなることを意味する。すなわちAlは低エネルギーX線の吸収が多いため、散乱X線も吸収し、高エネルギーほど散乱X線を吸収しない素材であることが分かり、CFRPは散乱X線も吸収しない素材であることが分かる。

2-2 散乱X線含有率

被写体がない場合の各カセット前面素材からの散乱X線含有率を撮影管電圧40~80kVについて測定した結果がFig. 5aである。このグラフから、散乱X線含有率

Fig. 4 (a) Relation between tube voltage and the x-ray absorption rate of the tube side material of each cassette with Acryl below 3 cm.
(b) Relation between tube voltage and the X-ray absorption rate of the tube side material of each cassette with Acryl below 7 cm.

Fig. 5 (a) Scatter rate at each tube voltage at no phantom measured by Pb disc method.
(b) Scatter rate at each tube voltage at no phantom measured by calculation data.

はAlカセットが高い値を示し、Hyliteカセット、CFRPカセットは60kV以下ではほぼ同一だが、Hyliteは管電圧が高くなると散乱X線含有率は上昇する傾向を示した。また、同様の前面素材による散乱X線含有率をモンテカルロ計算で行った結果がFig. 5bである。実験値と計算値を比較すると、Alカセット、Hyliteカセットは比較的近似した値を示したが、CFRPカセットの実験値が高い値を示した。実験値でCFRPカセットが70kV以下で高い値を示したのは、散乱X線含有率の低いCFRPカセットでは、鉛ディスク内の濃度が特性曲線上のGross fogに近づいたために測定誤差が生じたものと考えらる。なお、今回の実験にはカセットの後面増感紙とカセットとの間に0.1～0.2mmの鉛板が装着されているカセットを使用した。

次に、被写体厚を変化させた場合の撮影管電圧60kVにおけるカセット前面透過後の散乱X線含有率を

Fig. 6aに示す。3種類のカセットの散乱X線含有率は被写体厚が厚くなるに従って増加する傾向を示し、三者に優位な差はない。同様のことを、モンテカルロ計算で行ったのがFig. 6bである。これらの傾向から1-2-1および1-2-2の測定結果でX線透過性が優れたCFRPカセットは三者のなかで散乱X線を多く透過させるのに対し、Alカセットは、Alの線減弱係数によって散乱X線を吸収したために散乱X線含有率が低下したと考える。Hyliteカセットはその中間に位置した測定結果となった。

2-3 コントラスト

前面素材の違いによる写真コントラストを骨等価物質を撮影して求めたのがFig. 7である。このグラフから、被写体厚が薄く撮影管電圧が低い場合には、Alカセットに比べてCFRPカセットとHyliteカセットの写

Fig. 6 (a) Scatter rate at each thickness of Acryl at 60 kV measured by Pb disc method.
(b) Scatter rate at each thickness of Acryl at 60 kV measured by calculation data.

Fig. 7 Contrast of radiographs of 1 cm thick bone equivalent material for each cassette at 40 to 80 kV and phantom thickness.

Fig. 8 Study of contribution rates of contrast factor and Acryl thickness for various cassettes at 40 kV.

真コントラストは高く、管電圧が高くなり被写体厚が厚くなるに従って写真コントラストは低下し、3種類のカセットの写真コントラストは接近する。

このことについて、撮影管電圧40kVにおけるカセットの前面素材の一次X線に対する寄与率についてシミュレーション結果より検証してみるとFig. 8のようになる。なお、コントラストへの寄与率は、カセットのない時のコントラスト： ΔC_{nc} カセットがある時のコントラスト ΔC_c とし、コントラストの寄与率を $1 - \Delta C_{nc} / \Delta C_c$ として求めた。この結果、被写体がない場合には前面素材の異なるカセット間にはコントラストに対する寄与率の差が大きく、被写体厚が厚くなるに従って寄与率は減少傾向を示し、同時に各前面素材間の差も小さくなっている。前面素材による一次X線のコントラスト寄与率は被写体厚5cmではその影響がCFRPカセット2.1%、Hyliteカセット4.1%、Alカセット5.9%である。また、散乱X線の寄与率は、散乱X線

含有率の計算結果よりCFRPカセット53.1%、Hyliteカセット53.0%、Alカセット52.3%となり、一次X線のコントラストと散乱X線の寄与率を加味するとCFRPカセットの寄与率が他の2種類のカセットに比べ低くなり、結果的にCFRPカセットのコントラストが若干高くなる。つまり、コントラストの違いはカセットの表面素材によるビームハードニング効果による一次X線のコントラストの違いを反映した結果となる。

2-4 鮮鋭度

撮影管電圧80kVにおける3種の前面素材の違いによるMTFの測定結果をFig. 9に示す。また、同様の管電圧におけるモンテカルロ計算によるシミュレーション結果をFig. 10に示す。Fig. 10aはモンテカルロ計算により求められたX線のMTFの計算結果で、Fig. 10bはFig. 10aで得られた計算値にスリット法で求めた増

Fig. 9 Study of MTF for surface material of each cassette at 80 kV (slit method).

Fig. 10 (a) Study of MTF for each cassette at calculation data without x-ray film at 80 kV.
(b) Study of MTF for each cassette at calculation data with X-ray film at 80 kV.

感紙/フィルムのMTFを掛けて求めた値である。

この結果、スリット法による測定値とシミュレーションの結果では、3種類の前面素材によるMTFの値はほぼ一致し、素材間でMTFの値に差は認められなかった。また、撮影管電圧40kVにおいても同様の結果であった。

2-5 画像評価

手指骨および膝関節の人体ファントムを用いたX線画像の視覚評価の結果をFig. 11に示す。この結果、手指骨の画像においてはコントラスト、鮮鋭度ともAlカセットとCFRPカセットの間には有意差を認められたが、Hyliteカセットと他の2種類のカセットの間には有意差は認められなかった。また膝関節の画像においては3種類のカセット間に有意差が認められない結果となった。しかし、手根骨の画像の視覚評価においては全体の評価においてHyliteカセットとAlカセットの

間に有意差が認められる結果となった。

3. 結論

今回発表された新素材Hyliteを前面素材に用いたカセットは、

- 1) X線吸収がAlカセットに比べて被写体厚が薄い場合には少なく、吸収線量が10～15%低い、そのため撮影条件の下げる事が可能である。
- 2) 写真コントラストへの影響は、管電圧が低く被写体厚が薄い場合にはAlカセットとCFRPカセットの中間の値を示し、前面素材のコントラスト低下に対する寄与率は被写体がない場合にはAlカセットの約60%程度であった。しかし、視覚評価では差は認められなかった。
- 3) 鮮鋭度は、物理特性、視覚評価とも他の2種類のカセットとの間に差が認められなかった。
- 4) 全体的な画像評価は管電圧が低く被写体厚が薄い

Fig. 11 Objective evaluation using the one-to-one method of the relation between cassette hand and knee radiography.

場合にAlカセットとの間に有意差が認められた。

- 5) カセット自体の重量の比較ではCFRPに近い重量であり、作業性を高めるうえで有用である。

この内容は、平成11年10月28～30日、久留米市で開催された第27回秋季学術大会で発表した。

参考文献

- 1) 勝田 昇, 東田善治, 洞田貫誠志, 他: X線診断領域におけるCFRPカセットの評価. 日放技学誌, 43(5), 621-628, (1987).
- 2) 井手口忠光, 稲津 博, 下新原茂, 他: 炭素繊維強化樹脂(CFRP)とアルミニウムカセットの物理評価. 日放技学誌, 44(1), 38-43, (1988).
- 3) 田中 仁, 斉藤 勲, 山本千秋, 他: 鉛ディスク法による散乱X線含有率の測定. 医用放射線技術実験, pp.49-52, 共立出版, 東京, (1996).
- 4) 大塚昭義, 上田克彦, 砂屋敷忠, 他: 増感紙とX線エネルギーによる写真コントラストの変化. 日放技学誌, 43(7), 760-766, (1987).
- 5) 丸石博文, 隅田博臣, 砂屋敷忠: フィルムのクロスオーバーとMTFの関係のシミュレーション. 日放技学中四国部会誌, 7, 38, (1997).
- 6) 丸石博文, 砂屋敷忠, 滝川 厚, 他: 散乱X線除去用グリッドのX線透過理論. 日放技学誌, 55(7), 692-693, (1999).
- 7) 佐藤 信: 統計的官能検査法. 日科技連出版社, 東京, (1985).
- 8) 小川敬壽: 図説単純X線撮影法. 金原出版, 東京, (1999).

図表の説明

- Fig. 1 使用したカセットの仕様および構造.
- Fig. 2 (a)吸収線量測定の幾何学的配置.
(b)散乱線X線含有率測定の幾何学的配置.
- Fig. 3 被写体がない場合の管電圧に対する各カセット前面素材のX線吸収線量比の変化.
- Fig. 4 被写体がある場合の管電圧に対する各カセット前面素材のX線吸収線量比の変化: アクリル 3cm, 7cm.
- Fig. 5 (a)被写体がない場合の各カセット前面素材の散乱X線含有率: 鉛ディスク法.
(b)被写体がない場合の各カセット前面素材の散乱X線含有率: モンテカルロ計算.
- Fig. 6 被写体厚を変化させた場合の撮影管電圧60kVにおけるカセット前面透過後の散乱X線含有率.
(a)鉛ディスク法による実験結果.
(b)モンテカルロ計算による実験結果.
- Fig. 7 骨等価物質 1cmにおける撮影管電圧ごとの各カセットの写真コントラストと被写体厚の関係.
- Fig. 8 撮影管電圧40kVにおける各カセットのコントラストに対する構成比と被写体厚の関係.
- Fig. 9 カセットの前面素材のMTFに及ぼす影響: スリット法による実験結果(撮影管電圧80kV).
- Fig. 10 カセットの前面素材のMTFに及ぼす影響: モンテカルロ計算結果(撮影管電圧80kV).
(a)カセットの前面通過後のMTF.
(b)フィルムのMTFを加えた値.
- Fig. 11 一対比較法によるカセットの違いが画像に及ぼす影響についての視覚評価: 手, 膝関節.