

題目：新しい自動露出制御機構を利用して安定した Exposure Index を 実現する撮影法の研究

保健医療学専攻 放射線・情報科学分野 医用画像学領域
学籍番号：15S3069 氏名：柳田 智
研究指導教員：西木 雅行 教授

キーワード：Exposure Index(EI), Deviation Index(DI), 自動露出制御機構(AEC), プレ曝射,
フラットパネルディテクタ(FPD)

I. 研究の背景と目的

モニタ診断が一般的な今日において、一般撮影領域のデジタルシステムは、アナログシステムに代わり数多くの施設で導入されている。撮影線量の過不足は、アナログシステムではフィルム濃度として表現されており撮影者は直感的に知ることができた。一方、デジタルシステムでは、自動感度補正機能により濃度が自動的に調整されるために濃度から撮影線量の過不足を知ることが難しく、デジタルシステムは、アナログシステムに比べ撮影線量が増加しているという報告もある。このような状況下で、2008年に国際電気標準会議(IEC)から標準化した線量指標として exposure index: EI が規格化された。EI は、撮影後に得られた画像の関心領域のヒストグラムの代表値から、線質 RQA5 の入射線量に換算する関数より求められる。EI を線量指標として用いた時の問題点として、自動露出制御機構(AEC)を使用しても安定した EI が得られないことが先行研究で知られている。また、AEC を使用しない頭部や四肢などの撮影では、X 線発生装置に撮影条件を記憶させる機能であるアナトミカルプログラム(APR)を使用するが、被写体厚が異なっても撮影条件を調整せず一律に固定撮影条件で撮影してしまうことが多いため、安定した EI を得ることができない。今回、本論文ではマンモグラフィ領域で数多く使用されているプレ曝射を用いた撮影法を応用し、ソフトウェアにより常に安定した EI が得られる新しい AEC を使った撮影法(以下考案法)を考案したので提案する。本研究の目的は、考案法を提示するとともに、考案法で常に安定した EI を実現できることを実証し、考案法の利点を最大限に発揮できるプレ曝射の撮影条件を求めることである。なお、本研究は所属施設および本大学の倫理審査委員会の承認を得て行った。

II. 考案法の原理

考案法は、最初に既定のプレ曝射の mAs 値(以下 $mAs_{(pre)}$) でプレ曝射画像を取得しプレ曝射画像の EI (以下 $EI_{(pre)}$) を算出する。X 線線質一定条件下では、mAs 値と検出器への入射線量が比例関係であることから mAs 値と EI も比例関係であり、 $mAs_{(pre)}$ と $EI_{(pre)}$ とメイン曝射の mAs 値(以下 $mAs_{(main)}$) と EI (以下 $EI_{(main)}$) の間に次式が成立する。

$$EI_{(main)} / EI_{(pre)} = mAs_{(main)} / mAs_{(pre)}$$

また、 $EI_{(main)}$ は、EI の目標値である target exposure index: EI_T より次式から求められる。

$$EI_{(main)} = EI_T - EI_{(pre)}$$

さらに、上記 2 式より以下の式で $mAs_{(main)}$ が求められる。

$$mAs_{(main)} = (EI_T - EI_{(pre)}) / EI_{(pre)} * mAs_{(pre)}$$

考案法ではこうして求められた $mAs_{(main)}$ により得られたメイン曝射画像とプレ曝射画像を加算して、 EI_T に近い画像を取得する。本研究では考案法を繰り返し実行するために、 $mAs_{(pre)}$ 、 EI_T 、プレ曝射画像を入力すると $mAs_{(main)}$ を計算し、メイン曝射画像を入力すると、加算画像を生成して加算画像の EI (以下 $EI_{(final)}$) を計算する考案法シミュレーションプログラムを開発した。考案法が臨床実用化された場合には、考案法シミュレーションプログラムは X 線発生装置とデジタルシステム間のインターフェース部分となる。

III. 方法

1. 考案法の妥当性の実証実験

考案法の妥当性を示すために、考案法と従来の AEC や APR による固定撮影条件を使った方法により、胸部ファントム、骨盤ファントム、下肢ファントムをアクリル板により体厚を変化させて撮影を行い、EI と偏差指標である deviation index: DI を比較した。

2. プレ曝射の至適撮影条件設定

考案法の $mAs_{(pre)}$ は、 $EI_{(pre)}$ が $EI_{(final)}$ を超えない条件であれば理論的に高くてもよいが、正確な $EI_{(pre)}$ を予測することは困難である。そのため、 $mAs_{(pre)}$ は低い方がよい。しかし、低い mAs 値では、管電流特性や短時間特性により、線量と mAs 値の間の比例関係に誤差を生じ、 $mAs_{(pre)}$ の違いで $EI_{(final)}$ に差が出ることが考えられる。この点を考慮してプレ曝射の至適撮影条件を決定するために、骨盤ファントムと下肢ファントムを使って管電流・撮影時間の組み合わせと $mAs_{(pre)}$ の設定ごとにアクリル板により体厚を変化させて撮影を行い、 $EI_{(final)}$ の平均値と EI_T を比較した。

3. 考案法が画像ノイズに与える影響

考案法は、画像加算を行うことから従来の 1 回曝射による撮影（以下従来法）の画像に比べ、画像ノイズの増加が懸念される。このことから、従来法画像とプレ曝射撮影条件の異なる 2 種類の考案法の加算画像について、normalized noise power spectrum: NNPS を解析してノイズ量を比較した。

IV. 結果

胸部ファントム、骨盤ファントムを従来の AEC で撮影した場合、体厚が厚くなるにつれて EI は上昇し、体厚+0cm に比べ体厚+6cm で EI は胸部で 2.3 倍に、骨盤で 1.5 倍に上昇した。DI は胸部で体厚+1cm、骨盤で体厚+2cm で ± 0.5 の適正範囲を超えた。下肢ファントムを APR による固定撮影条件で撮影した場合、体厚が厚くなるにつれて EI は減少し、体厚+0cm に比べ体厚+3cm で EI は 0.6 倍に減少し、DI は体厚+1cm で ± 0.5 の適正範囲を超えた。一方、考案法では胸部ファントム、骨盤ファントム、下肢ファントムのすべてで体厚が厚くなっても EI は大きく変化せず、DI は ± 0.5 の適正範囲を超えることはなかった。

骨盤ファントムでは、 $mAs_{(pre)}$ を 0.5mAs から 2.0mAs に上げることにより、EI の平均と EI_T の差は最大 $\pm 7\%$ 以内から $\pm 2\%$ 以内となり、下肢ファントムでは、 $mAs_{(pre)}$ を 0.5mAs から 1.0mAs に上げることにより EI の平均値と EI_T の差は最大 $\pm 5\%$ 以内から $\pm 2\%$ 以内となった。

従来法画像とプレ曝射撮影条件が異なる 2 種類の考案法の加算画像では、NNPS のグラフに差は認められず、従来法画像に対する考案法の加算画像の root mean square: RMS 粒状度の増加は最大で 2.7%、最小で 0.9%であった。

V. 考察

従来の AEC で EI が高くなった原因として、第一に体厚が増すことにより、線質硬化が起こって入出力特性が変化し EI が高くなったと考えられる。第二にアクリル板に覆われている部分と覆われていない部分が EI の計算のための関心領域に含まれていて、その結果検出器への入射線量が不均一になり EI が高くなったと考えられる。臨床でも、均一に関心領域の体厚が増すことは少なく、同じ現象は起こり得る。APR 固定撮影条件では、体厚が増すことにより検出器への入射線量が減少するために、安定した EI を得ることができない。一方考案法では、従来の AEC や APR 固定撮影条件とは異なり、関心領域への入射線量は体厚が増しても一定となることから、安定した EI が得られることが考えられる。

一般的に低線量領域では、 mAs 値と線量の比例関係に誤差が生じることが知られており、プレ曝射ではこの影響が出るために、プレ曝射線量が低い撮影条件では加算画像の EI と EI_T に差が出たと考えられる。実験結果からプレ曝射の撮影条件は概ね、骨盤ファントムでは 2.0mAs 以上、下肢ファントムでは 1.0mAs 以上あれば十分であると考えられる。

加算画像の画像ノイズの増加分は数%であることから、入射線量に依存しない電気ノイズだと考えられる。一般撮影の撮影条件下では、電気ノイズは量子ノイズに比べ非常に少ないことが既に知られており、また周波数ごとの変化がないことから、臨床では問題とならないと考えられる。

VI. 結語

本研究により、考案法では画質を劣化させることなく、体厚の変化にも柔軟に対応して安定した EI が得られることが示された。また、従来の AEC が使用できない四肢の撮影でも安定した EI が得られることを実証した。更には、 $mAs_{(pre)}$ を増すことにより効果的に $EI_{(final)}$ と EI_T が近くなることが示された。考案法が新しい AEC として一般撮影デジタルシステムに実装され、安定した EI による撮影ができるための一助になることを望む。そのためにも、本研究が参考になれば幸いである。