

医療放射線における最適化の現状と課題
— 技術的側面から考える —
— 一般撮影編 —

山形大学医学部附属病院 放射線部 ○服部 雅之(Hattori Masayuki)

【はじめに】

一般撮影における最適化とは、「最低限の被ばく線量で診断に最適な画質を得る」ことであると考ええる。本稿ではこれを最適化の定義とする。一般撮影分野以外の診断分野でも同様だが、医療用放射線を使用する我々にとって被ばく線量と画質は切っても切り離せない関係となっている。そのため、被ばく線量について述べる時には画質について論ずる必要もある。本稿ではまず昨今の一般撮影における被ばく線量に関する現状について述べる。つぎに近年の被ばく線量と画質の最適化に関する研究について、最後に東北支部DR班による最適化に向けた活動を紹介する。

【最適化の現状】

X線の発見から100年以上が経ち、特に一般撮影においては非常に古くから被ばく線量の低減や画質の向上に関する研究がなされてきた。現代においては撮影技術や装置の発展によって被ばく線量は少なくなっている。しかし、いまだ最適化は達成されていないと考える。この理由として、線量や画質に関係する因子が非常に多いことが考えられる。ここでは大きく3つの因子に分けた。1つ目は撮影条件によるものである。撮影部位によって管電圧や管電流、さらにグリッドを使用する有無が選択される。2つ目は被写体に依存する因子である。これは同じ撮影部位によっても患者によって被写体の厚さは異なり、患者個別に最適な撮影条件を決定する必要がある。3つ目は装置固有の因子である。同じ入射表面線量でも直接変換型か、間接変換型かによって画質は変わる。被ばく線量が同じでも画質に違いが生じるということである。最近では、前面サンプリング方式のFPDも登場し、新装置が登場する都度、その特性も考慮していく必要がある。

岸本らは2010年の全国調査で施設間の被ばく線量が10倍以上の差があるとしている¹⁾。また鈴木らは、CRに対して線量は低下しているものの、フィルム/スクリーン時代に比べて若干ではあるが、入射表面線量が増加していると報告した。このように

施設間での被ばく線量には差があり、放射線防護の観点からも医療被ばくを最適にする必要がある²⁾。このような現状の中、本邦において2015年に医療被ばくの最適化ツールとして診断参考レベル(Diagnostics Reference Levels:DRLs)が作成された。DRLs2015の登場により自施設の線量を見直すきっかけとなった。またデジタル化もあいまって撮影線量の最適化に近づいているという報告もある³⁾。

しかし渡邊らは、装置の構成や小児へのグリッドの使用の有無などによって被ばく線量は異なりとし、DRLsの限界を示している⁴⁾。これはDRLsが装置や撮影技術ごとの線量差を考慮に入れていないことに起因する。渡邊らはこれらの理由から、神奈川県内272施設にアンケートを依頼し、装置の構成や撮影条件の違いによる撮影線量の違いを調査した。調査項目は管電圧や管電流などの撮影条件から入射表面線量(Entrance Surface Dose:ESD)を算出し、撮影装置やグリッドの使用の有無などを調査した。ここでは成人胸部・腹部正面と小児胸部正面のCRとFPDを使用した線量と、小児胸部正面撮影に対してグリッドを使用した時の被ばく線量の違いのみを示す。Fig.1(左)は成人胸部・腹部、小児胸部撮影におけるCRとFPDを使用したときの平均ESDである。FPDを使用している場合線量が下がっていることが分かる。Fig.1(右)は小児胸部正面におけるグリッドの使用の有無による平均ESDである。これはグリッドによって吸収される直接線を補うために線量を各施設で上げているためと考えられる。

上記で示したように、神奈川県内における平均ESDの差は、CRとFPDでは1.3~1.5倍、小児に対してグリッドを用いるか用いないかで1.1~1.5倍の差があった。DRLsは放射線防護の最適化のための指標として使われ、安易に過剰な線量になっていないかもしくは極端に低い線量になっていないかを判断するために用いられる。しかし、渡邊らはこの結果から、過剰に高いのかどうか判断するにはDRLsのみで判断するには不十分であり、装置の構成や撮影方法によっても変わると述べている。

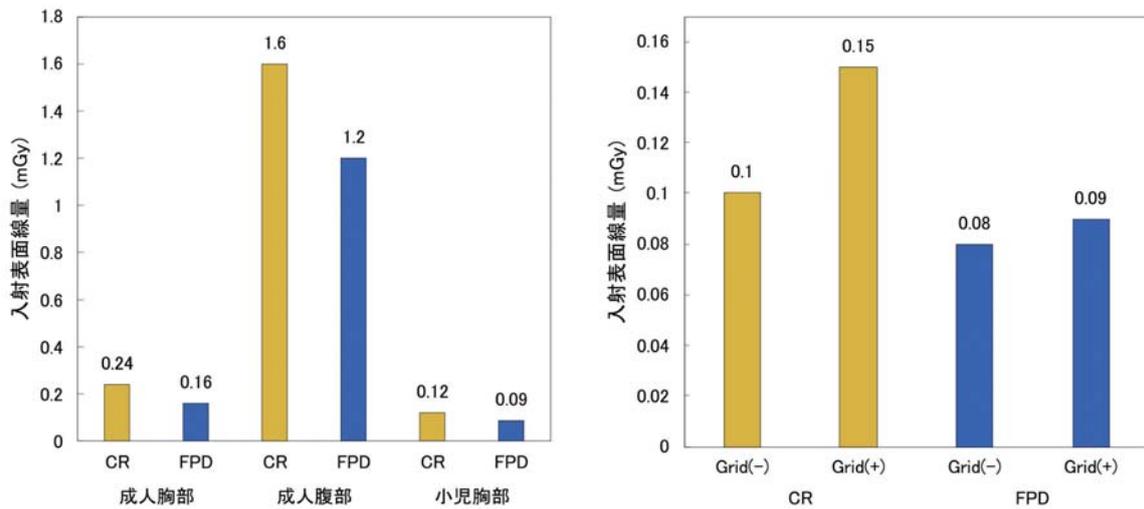


Fig.1 左:CRとFPDによるESDの違い 右:小児胸部正面撮影におけるグリッド有無のESDの違い

加えて装置別を考慮したベンチマークドーズ (benchmark dose:BD) を提案し、BDとDRLsを併用することで更なる最適化が可能であると結論付けた。

また大野らは一般撮影領域において、実際に複数施設で線量測定を行い施設間の線量差とDRLs2015との比較をした⁵⁾。その考察で、DRLsを用いて線量比較を行う際、DRLsを超える数値に着目ししがちだが、実際にはDRLsよりも極端に低い数値になっていないかも直目する必要があるとしている。これは、低い線量で撮影することは被ばくが減っていることではあるが、診断に必要な画質が損なわれている可能性もある。そこで、DRLsの上方値だけでなく下方値も加えた2種類のパーセンタイル値を持つ診断参考レンジを一般撮影にも適用する必要があると述べている。

【近年の最適化に関する研究】

つぎに近年の最適化に関する研究を2つ紹介する。Kawashimaらは腹部レントゲン撮影を想定してCu付加フィルタを用いることで画質の改善と被ばく線量の低減が可能であることを示した⁶⁾。Cu付加フィルタは被写体に吸収され検出器に到達しない低エネルギーの光子を吸収する。これは、結果的にX線スペクトルが高エネルギー側にシフトし、画像形成に寄与しない光子が吸収され患者被ばくは低減する。Kawashimaらは厚さが20 cmのアクリルファントム上にアクリルファントムと骨透過ファントムを配置し、成人腹部を模擬した。管電圧は70、80、90、100 kVとし、70 kVと80 kVにはCu付加フィルタを使用した。入射表面線量は各条件で一定とした。画質指標には、コントラストを考慮した信号対雑音比であるsignal difference-to-noise ratio (SDNR) を

用いた。入射表面線量を一定とした場合、Cu付加フィルタを用いることで、画像形成に寄与しない低エネルギー成分を除去するため、コントラストは大きくは低下しない。一方で高エネルギー側の光子が多くなるため、検出器に到達する光子数が増えSDNRは増加した。SDNRの増加は線量低減の可能性を示唆し、Kawashimaらは、Cu付加フィルタを使用しない場合に対して、Cu付加フィルタの使用により、腹部を想定した撮影に対して70 kVでは30～44%、80 kVでは29～35%の線量低減が可能であると報告した。

Kunitomoらはグリッドの使用の有無を決める被写体の厚さを調査し、グリッド比が6:1と10:1で厚さが10 cm以上の場合有効であると示した⁷⁾。また小児に対してグリッドの使用の有無を決定する目安として、被写体の厚さが100 mmで照射野が400 cm²、管電圧が70 kV、80 kVの時、グリッド比が6:1と10:1でそれぞれグリッドを使用した場合の画質が13～16%ほど高かったことを示した。これに加え、100 mmの被写体の厚さでグリッドレス撮影と同等の線量でグリッド撮影をすると画質は高くなるため、グリッドレス撮影と同等の画質をグリッド撮影で得ようとする線量を少なくできると報告した。

これらの研究は、付加フィルタやグリッドの使用が、古典的ではあるが最適化に向けて有効性が高いことを示している。どこの施設でも使用されているこれらの器具を、どのような被写体に対しどのような条件で撮影することで有効なのかを確認しておくことは最適化に向けて非常に重要であると考えられる。

【DR班の最適化に向けた活動内容】

東北支部DR班でも、一般撮影領域における最

適化について継続的に情報を発信している。これまで、東北支部放射線技術学術大会において、検出器の特性による最適化（2021年、福島）、最適線量の考え方（2021年、福島）、最適線質の考え方（2022年、新潟）について発表した。これらの内容は、本稿の目的である最適化について関係が深いものであるため紹介する。

検出器の特性による最適化では、検出器の種類や蛍光体によって検出効率（detective quantum efficiency: DQE）が異なるため、DQEの違いによって線量低減が可能であることを述べた⁸⁾。具体的にはシンチレータがヨウ化セシウムの間接変換型FPDでは、CRや酸硫化ガドリニウム（GOS）を用いた間接変換型に比べ、半分程度に線量低減が可能であることを述べている。しかしこれはDQEの観点からの結果であり、実際には装置によって解像特性やノイズ特性は異なる。同一線量で考えた場合、単にDQEが高いことを理由に線量を下げるのではなく、対象とする物質が高コントラストなら解像特性を重視、低コントラストなら、ノイズ特性を重視するなど、システムの特性を考えて撮影条件を考えなければいけない。

最適線量の考え方では、線量を段階的に下げ、臨床評価に耐えうる画質を検討した⁹⁾。高コントラスト物体の評価のために、術後頭部正面画像を具体例として調査した。最適な撮影線量を決定する方法として、この報告では、画像のヒストグラムに着目した。検出器に到達する線量が低下すると、ヒストグラムは振幅が増大し、その形状が不安定となる。このヒストグラム形状と画像処理後の出力画像から頭部縫合線が視認できる線量域を決定した。CRに対して、間接変換型FPDでは約3分の1の線量で縫合線の描出が可能であった。これは前述の検出器の特性の違いによるものである。ヒストグラムの再現性からの線量低減アプローチにより、最適な線量設定を行う一つの手法となる。

最適線質の考え方では、胸部X線撮影において画質に影響を及ぼす因子について、SDNRを用いた画質評価によって最適な線質を検討した¹⁰⁾。使用した線質は管電圧110 kVp（付加フィルタなし）と120 kVp（付加フィルタなし、Cu0.1 mm、Cu0.2 mm）の4種類の線質であった。影響する因子として、グリッド比、被写体の厚さ、線量について検討したがここでは、Cu付加フィルタの影響のみ紹介する。入射表面線量を一定にした場合、Cu付加フィルタを用いることで、SDNRは向上した。これは線質が固くなることによるコントラスト低下よりも、検出

器に到達する光子数の増加の効果が高いためである。これはKawashimaraの報告と同様の傾向であり、胸部領域においてもCu付加フィルタの有用性をよく示している。またAECを一定にした場合、Cu付加フィルタを用いることで、画質の劣化を抑えつつ、被ばく線量を約35%低減可能であると報告した。AECを一定にすると検出器に到達する光子数は線質によらずほぼ同等だが、Cu付加フィルタによって実効エネルギーが高くなり、コントラストがやや低下する。その結果SDNRはやや低下する。しかしコントラストの低下度合いは小さいため、Cu付加フィルタによる画質の劣化よりも、被ばく線量低減効果が大きい。そのため、被ばく低減の観点からもCu付加フィルタを積極的に使用すべき理由となる。

【まとめ】

本稿では、一般撮影領域における最適化の現状と現在示されている線量指標の課題、そして近年の最適化に向けたに研究とDR班の取り組みについて述べた。最適化は現時点でも達成されていない。しかし今回述べた一般撮影領域において最適化を達成する技術は簡便なものが多いため、各施設でも容易に検討することができる。今後より多くの施設が、自施設の線量と画質を把握することで更なる最適化につながるのではないかと考える。

【参考文献・図書】

- 1) 岸本健治, 他. 日放技学誌 2011; 67(11): 1381-1397.
- 2) 鈴木昇一. 保健物理 2013; 48(1): 48-56.
- 3) 浅田恭生, 他. 日放技学誌 2013; 69(4): 371-379.
- 4) 渡邊浩, 他. 日放技学誌 2018; 74(5): 443-451.
- 5) 大野晃治, 他. 日放技学誌 2017; 73(7): 556-562.
- 6) Kawashima, H., et al. Physica medica, 2017; 34: 65-71.
- 7) Kunitomo, H., et al. Physica medica, 2020; 73: 105-110.
- 8) 服部雅之, 他. 日放技学東北支部雑誌, 第31号, 2022
- 9) 太田佳孝, 他. 日放技学東北支部雑誌, 第31号, 2022
- 10) 石沢祥子, 他. 日放技学東北支部雑誌, 第32号, 2023