

○丸石 博文

浜脇整形外科病院

【背景】 X線撮影がフィルム・スクリーンのアナログからCR・FPDとデジタル系になって久しい。しかし、依然アナログ時代の考え方を引きずっているように思われる。また、被曝の評価は表面線量によってなされていることが多い。これは、測定や計算が容易で統一性があることによる。しかし、X線撮影のように低線量被曝は確率の影響が問題であり、測定・計算が難しくても実効線量で評価すべきである。

【目的】 CRによる撮影条件を、実効線量を一定にしたとき最大のCNRが得られるX線管電圧(以後、管電圧)とグリッド比の組み合わせをモンテカルロシミュレーションにより求めた。

【方法】 水ファントム(30cm×30cm、厚さ(10cm～32cm))、管電圧(50kV～140kV)、グリッド比(6～16)の組み合わせで、信号を骨(compact bone:厚さ2mm)と軟組織(水:厚さ5mm)とし、IP(67.9mg/cm²)が吸収したX線の光子数とエネルギーからCNRを求めた。それぞれの水ファントムの厚さに対応するよう人体数値ファントムを、小児0.7歳(胸腹部から腹部)～成人(腰椎正・側)として、実効線量を求めた。ファントムの厚さごとに実効線量を一定にし、管電圧とグリッド比を変化させたときCNRが最大になる組み合わせを求めた。

【結果・考察】 各ファントム厚(cm)に対して、骨と水のCNRが最大になる管電圧(kV)とグリッド比(r)の組み合わせを下表に示す。骨では、従来の表面線量での評価より低い管電圧でCNRは最大になった。この結果は今までの表面線量評価の考え方では違和感がある。この原因は図1に示すように実効線量一定(赤)では、表面線量一定(青)より低い管電圧でCNRが

最大になるからである。この実効線量が一定のときの、骨の信号と雑音を別々に計算したものを図2に示す。

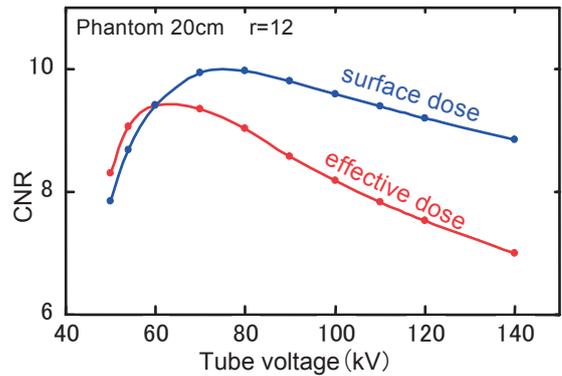


図1

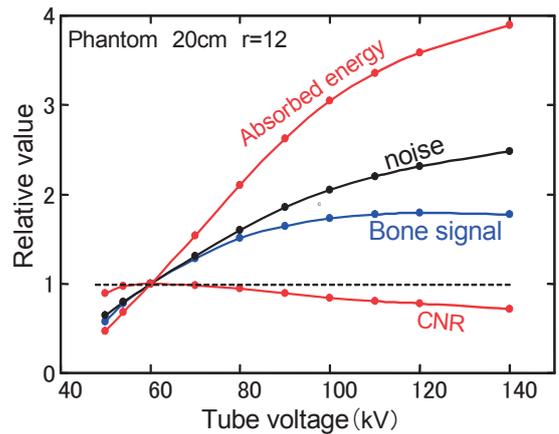


図2

このように管電圧が上昇すると信号(青)は90kVでほぼ飽和するが雑音(黒)はさらに増加し、この比であるCNR(赤)は管電圧の上昇とともに低下する。したがってCNRは60kVで最大となる。このときのIP吸収エネルギー(赤)は管電圧の上昇とともに増加している。

たとえば同じ実効線量するとき、80kVではIPのX線吸収エネルギーは60kVの約2倍になるがCNRは6%程度低下する。このとき、IPの吸収したX線エネルギーが2倍になったのでS値は1/2に下げることがある。

【結論】 被写体が厚くなればCNRは低下する。さらに管電圧を高くすればCNRは低下する。その両者を補うには、被写体と管電圧に応じた読み取り感度(S値)の設定が必要である。これが、デジタル系の撮影条件の設定である。

cm \ kV	骨のCNR			水のCNR		
	50	54	60	70	80	90
10		r=6		r=10		
12		r=6		r=10		
14		r=8			r=12	
16			r=10		r=12	
18			r=12		r=14	
20			r=12		r=16	
24			r=12		r=16	
28				r=16	r=16	
32				r=16	r=16	

EGS5を利用した診断領域におけるX線スペクトルの検討 管電圧がヒール効果に及ぼす影響について

○中野 雄太¹⁾、西原 貞光²⁾

1) 徳島大学医学部保健学科

2) 徳島大学大学院 HBS 研究部

【背景】 X線診断領域においてX線スペクトルは、画像コントラストの向上や被曝に関する議論をするために必要な情報である。ヒール効果の影響で、X線管の陽極側では低エネルギー成分がカットされたX線スペクトルとなることが知られている。しかし、ヒール効果と管電圧との関係には注目されていなかった。さらにヒール効果について従来までは、電離箱線量計によるX線量の測定によってその影響を議論していた。一方、X線のエネルギー分布を正確に示すX線スペクトルを利用した議論はほとんど行われていなかった。

そこで、ヒール効果の管電圧依存性について着目し、シュミレーションコードであるEGS5を使用しX線スペクトルを得て、従来法であるX線量の測定とX線スペクトルを利用した解析の両方からヒール効果の管電圧依存性を検討した。

【方法】 ターゲット角度12度、タンゲステン直径100mmのX線管を想定し、総ろ過が3mmAl当量であると想定してシミュレーションを行った。管電圧を40, 60, 80, 100, 120 kVとし、そのエネルギーを持った電子をターゲットの下方から1cm上方に、ターゲット面に対して垂直に入射させた。そして、1チャンネルあたり1 keVとして設定し、検出器として設定した位置に到達した光子数とその光子が持つエネルギーを計測した。

従来通りX線量を比較する方法では、各管電圧において得られたX線スペクトルの面積つまり総光子数を各検出器で算出し、中央の検出器の光子数に対する陽極、陰極側の検出器に入射する光子数の割合を求め、管電圧の変化と光子数割合の関係を調べた。

X線スペクトルから検討する方法では各検出器におけるX線スペクトルを算出し、陽極、陰極側のX線スペクトルの光子数を中央の検出器の値と同数になるように規格化した。規格化したX線スペクトルから、中央部分に対応する検出器の光子数に対する陽極、陰極側の検出器の光子数を、エネルギーごとに光子数比として算出しグラフを描いた。そのグラフから近似直線を描き、傾きを求めることでヒール効果の影響を検討した。

【結果と考察】 従来通りX線量から検討した場合、中央の検出器の光子数に対して陽極は55%、陰極は100%程度ではほぼ一定となっており、この結果からヒール効果の管電圧依存性は特に見られなかった。

エネルギーの違いによる近似直線の傾きの結果を図1に示す。X線スペクトルから検討した場合、図1から最少二乗法によって求めた陽極側の傾きは管電圧が高くなるにつれて小さくなっていった(図2)。

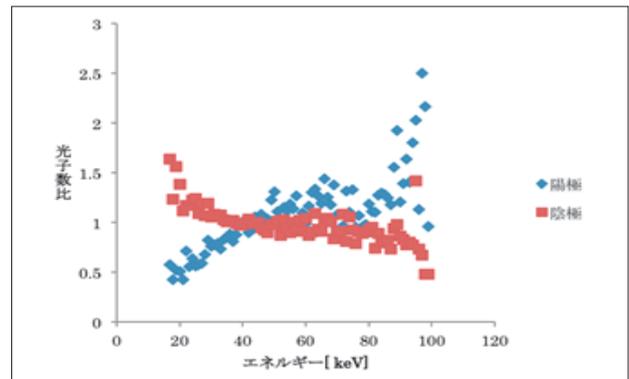


図1 エネルギーに対する光子数比 (100 kV)

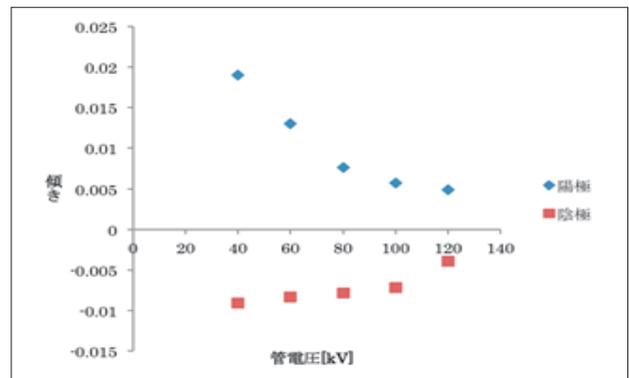


図2 管電圧と傾きとの関係

ヒール効果は低エネルギー成分がカットされる現象なので高エネルギー成分に対する影響は無く、傾きの変化は低エネルギー成分の増減によるものだと考え、傾きの変化でヒール効果の影響を検討した。X線スペクトルから検討した場合、管電圧が高くなるにつれてヒール効果の影響は小さくなるということが分かった。

【結論】 ヒール効果の影響について議論するときには、X線量の測定だけでなくX線スペクトルからの検討も重要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 林 裕晃, 福本 晃, 花光 宏樹, 他: EGS5コードを用いた診断用X線スペクトルの実用的な計算手法. 医用画像情報学会, 29(3), 2012: 62-67.
- 2) 波戸 芳仁, 平山 英夫: EGS5研究会, 高エネルギー加速器研究機構, <http://rcwww.kek.jp/egsconf/>

X線光子カウント方式による画像特性の基礎的検討1 —コンピュータシミュレーションを用いたCNR改善に関する検討—

○稲葉 洋子、本田 道隆

香川高等専門学校 電気情報工学科

【背景】現在、臨床診断で用いられている画像のほとんどはX線検出器に吸収されたX線エネルギーを用いているが、近年ではX線エネルギーではなくX線フォトンの個数に応じた画像形成の研究が進められている。

【目的】観察対象となる被写体を仮定してそのCNRを対象にした場合には、被写体のX線吸収特性や照射する連続X線スペクトルなどの組み合わせにより理論的に変化を予測することが難しい。そこでAl、CaCO₃、I、のX線光子カウンティングはどれだけ従来のエネルギーより改善されるか、シミュレーションを使用して本研究室でX線光子カウンティング方式による画像特性の改善の程度を調べた。

【方法】X線画像シミュレーションを用いて水5～25cmの上にAl、CaCO₃およびIを設置し、従来のエネルギー方式とフォトンカウント方式によって画像を形成した。固定条件は、付加フィルタがAlの0.1mm、検出器がCdTeの0.2mmである。可変条件は、管電圧、ファントムの厚み、mAsの大きさとし、CNR、SNRを計算した。

【結果】今回の実験結果で得たものが3つある。

まず1つ目はSNRにおいてフォトンカウンティングの方がわずかながら従来のエネルギーより改善されているが顕著な差はみられないことが挙げられる。フォトンカウンティング方式は点線で従来のエネルギー方式は実線である。

第2に、CNRはSNRより顕著な差があることが挙げられる。管電圧、ファントムの厚み、mAsが大きくなるほどCNRの改善率が良くなった。Fig.2は横軸が管電圧、縦軸がCNRの改善率である。Fig.2から、ど

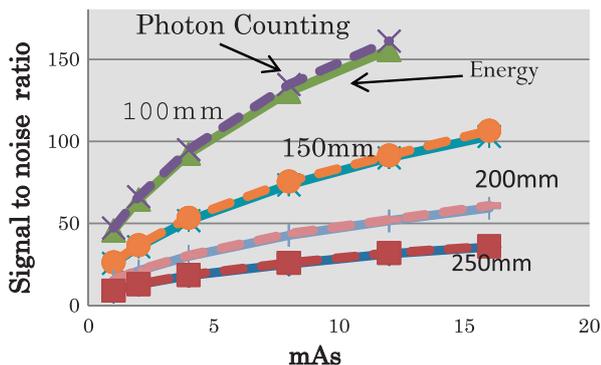


Fig.1 Improvement of SNR

の被写体も管電圧が大きくなるほど改善率が良くなっているのが分かる。他に水の厚みを厚くしても同様の結果が得られた。つまり、検出器に入射するX値が高エネルギーにシフトするほどCNRが改善される。

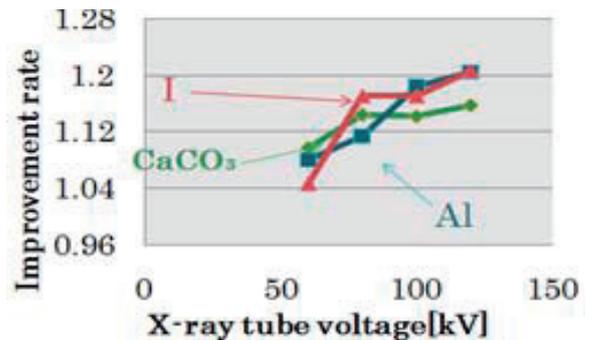


Fig.2 Improvement ratio for KV change

第3として、被写体の厚みが変化しても改善率に与える影響が少ないことが挙げられる。Al、CaCO₃、Iの厚みが薄くても厚くてもCNRの改善率はそれほどの変化がなかった。Fig.3はIの厚みを変化させたものである。横軸が管電圧で縦軸が改善率である。I₁ = 0.005mm、I₂ = 0.02mm、I₃ = 0.05mmである。この図からも被写体の厚みは関係なく改善率が良くなっている。他にも、Al、CaCO₃同様の結果が得られた。

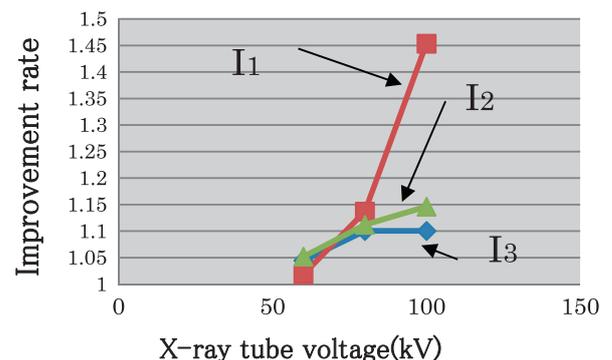


Fig.3 Improvement ratio of material thickness

【結語】フォトンカウンティング画像のCNR改善は検討の結果20%程度であった。被写体の厚みが変化してもフォトンカウント方式のCNR改善がみられた。臨床検査におけるフォトンカウンティング技術の導入は診断性能を向上させる期待がある。CaCO₃も改善がみられたので骨粗鬆症などの定量診断精度の改善の可能性を示唆できる。

○浜田 祐輔、本田 道隆

香川高等専門学校 電気情報工学科

【背景】現在、X線診断では被写体を透過したX線エネルギーを検出して画像化する方法が広く使われているが、この従来の画像とフォトンカウント画像の二種類を使うと平均的エネルギー情報を診断に使えるため、診断精度がさらに向上する期待がある。

【目的】X線エネルギーを用いる現在のX線映像システムに加えX線フォトンカウント方式も同時に用いて、各画素に入射する平均エネルギーの分布を求め、被写体に含まれる物質や元素を推定する。様々な撮影条件や被写体条件に応じた平均エネルギーの推定精度を計算し、通常検査の被曝の範囲で診断に使用可能かどうか検討した。

【方法】X線スペクトルや放射線関係の物理データを用いて、シミュレーションで様々な条件のX線エネルギー像とフォトンカウント像を形成し、前者を後者で除して平均エネルギー像を作成した。X線エネルギー像上では各被写体の濃度が一致するように各被写体の厚みを設定し、この条件下で平均エネルギー像上のCNRを計算し、特にヨウ素Iと骨(CaCO₃で近似)の識別能力を調べた。

また、計算に用いた条件は以下のように設定した。

- 固定条件

付加フィルタ：Al 1.0(mm)

検出器：CdTe 0.2(mm)

mAs値：16(mAs)

- 可変条件

各被写体の厚み(mm)

水Baseの厚み(mm)

管電圧(kV)

なお、散乱線やMTFによる不鋭は含めず直接線が運ぶ情報に限定して計算した。

【結果】Fig.1は横軸にIの厚み、縦軸に平均エネルギーのCNRをとったグラフである。また、これは水Baseの厚み200mm、管電圧100kV、16mAsという条件でシミュレーションを行っており、実際の診断を想定している。

Fig.1より各被写体の厚みが厚くなるとCNRが大きくなること示され、さらにI、CaCO₃、Waterの順でCNRが良いことが分かる。

Fig.2はFig.1と同様の条件下でシミュレーション

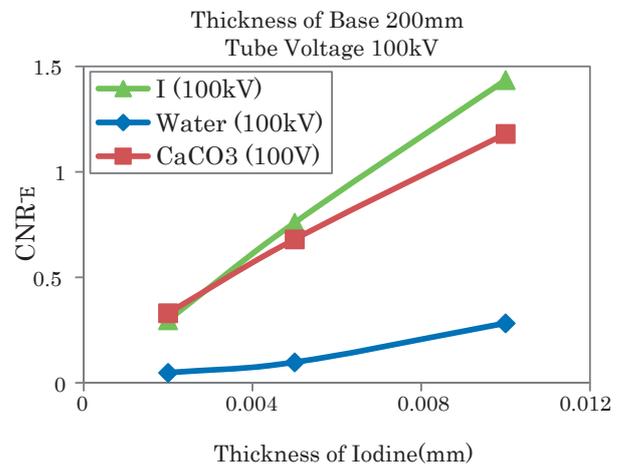


Fig.1 シミュレーション結果

を行い、Iが0.01mmの時の結果を画像化したものである。(a)は従来のX線エネルギー画像、(b)は平均エネルギー画像で、被写体は画像右上がWater、画像右下がCaCO₃、画像左上がIである。

(a)では各被写体の画像上の濃度差が見られないため弁別できない。一方、(b)ではWaterと比べてIは濃度差が顕著であるため弁別可能である。

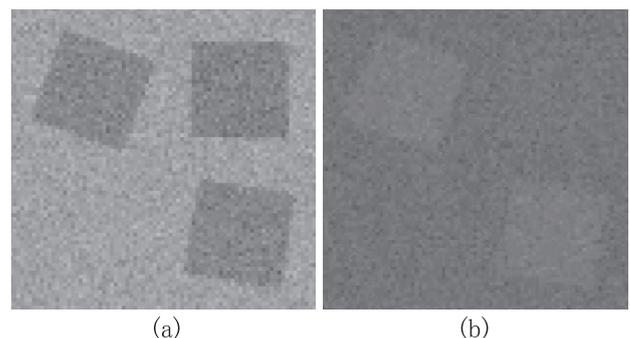


Fig.2 平均エネルギー画像

【結語】管電圧100kV、16mAsという一般的に診断で用いられる照射条件の範囲内で被曝を増加させずに平均的エネルギーという情報を加えてWaterとIの弁別が可能であることが示された。

被写体のある程度弁別できるCNRをおよそ1程度とすると、Fig.1の条件下ではIが約0.007mm程度から識別することができる。