

CT の被ばくを考えよう 逐次近似応用再構成法を用いた線量低減へのプロセス

座長 宮城県立がんセンター 診療放射線技術部 後藤光範 (Goto Mitsunori)

【座長集約】

今年も昨年に引き続き「CTの被ばく」をテーマにさせていただきました。近年、逐次近似応用画像再構成法 (iterative reconstruction: IR) が急速に普及し、CT 装置に導入されています。IRはフィルタ補正逆投影法 (Filtered Back Projection, :FBP) などの解析的再構成法に比べ解像度を犠牲にすることなく画像ノイズ低減が可能とされています¹⁾、一方で臨床レベルのコントラストでは解像度が低下するとの報告もあります²⁾。IRがどのような挙動をとるのか、十分な物理評価を行ったうえで臨床に活用するのが理想的ではありますが、IRの物理評価は難しくガイドラインも未だできていないのが現状です。

そこで今回は物理評価と視覚試験の双方より、IRがどのような物理特性を持っているのか、それが視覚的にどう影響するのかを2名の演者に検討していただきました。新潟大学医歯学総合病院の小林さんには、腹部を念頭に低コントラスト領域での検出能について検討していただき、SDやCNRでの評価は視覚試験と一致せず、NPSでの結果と視覚試験はやや相関があったこと、また、IRを用いることで検出能を担保したまま線量を20%程度低減できる一

方、それ以上の低減は検出能の低下を招く可能性がある事を示していただきました。大原医療センターの藤井さんには高コントラストの被写体である胸部領域について検討を行っていただきました。その結果、通常線量では解像度の低下に伴う診断能の低下が懸念されるが、超低線量胸部撮影においては解像度の低下は認めるものの、それ以上に雑音の低減効果が診断能向上に有効であることを示していただきました。

いくら線量を低減し被ばくが減ったとしても、診断できない画像では撮影そのものが無駄な被ばくになってしまいます。お二人の発表はIRをいかに有効に活用するか検討する上で、一つの道筋を作ってくれたものと感じております。今後も検討を重ね、IRの有効活用により有意義な情報をより多く提供していただけるようお願い申し上げます。最後に、発表にあたり散々苦勞しつつも詳細なデータを取得していただき、まとめていただいた演者のお二人に感謝すると共に、実験にご協力いただいた施設の方々、活発な討論をいただきました参加者の皆様、実行委員の方々に改めまして御礼申し上げます。

【参考文献・図書】

- 1) Beister M, Kolditz D, Kalender WA. Iterative reconstruction methods in X-ray CT. Phys Med 2012; 28(2): 94-108.
- 2) Samuel R, Daniela B.et.al. “Towards task-based assessment of CT performance. “ Med. Phys., 2012;39 (7):4115-4122.
- 3) 森一生, “近年の X 線 CT 画像の非線形的特性と画質の物理評価について” 東北大学医学部保健学科紀要.2013;22(1):7-24

—低コントラスト編—

新潟大学医歯学総合病院 診療支援部放射線部門 ○小林 博利 (Kobayashi Hirotochi)

【はじめに】

逐次近似応用再構成法 (Iterative Reconstruction法 以下、IR法) を用いることで、被ばく線量が低減できるという報告が多数あるが、腹部のような低コントラスト領域にて診断能が担保できているのか物理、視覚両面から検討した例は多くはない。そこで今回、従来のフィルタ逆投影法 (Filtered Back Projection法 以下、FBP法) に比較して、線量を下げたIR画像の低コントラスト検出能がどのように変化するかを物理指標のSD、CNR、NPSと視覚評価にて検討した。

【使用機器】

CT装置は、SIEMENS SOMATOM Definition Flashを使用した。この装置には、SAFIREというIR法が搭載されてお

り、Strength1～5までの強度調整が可能である。これを以下S1～S5と表記する。ファントムはPhantom Laboratory Catphan504を使用した。Catphan504のモジュールCTP486、CTP404を撮影し、解析にはNIH Image Jを使用した。

【方法】

FBP法及びIR法 (S1～S5) にて再構成した画像についてSD、CNR、NPS測定および視覚評価を行った。

撮影条件および再構成関数を以下に記載する。

管電圧: 100kV 管電流: 50～100mAs (10mAs毎)
管球回転速度: 1.0sec FOV: 200mm
再構成関数: B40、I40

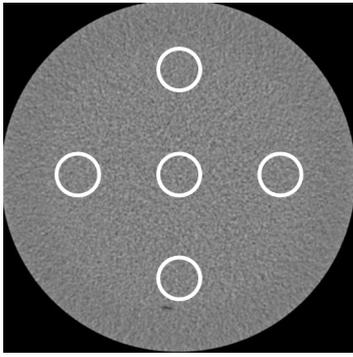
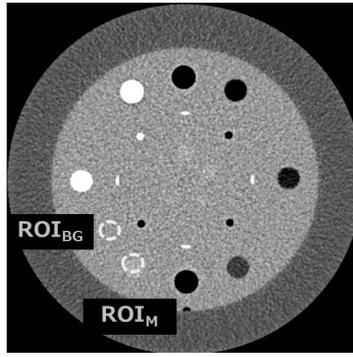


Fig.1 SD 測定 ROI (CTP486)



ROI (CTP404)

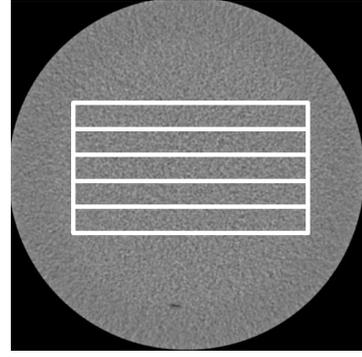


Fig.3 NPS 測定 ROI (CTP486)

1. 物理評価

物理評価に用いた画像のスライス厚は1mmとした。SD測定では、CTP486を撮影し、Fig.1のようにROIを設定して、5つのROIの平均SDを測定した。CNR測定では、CTP404を撮影し、Fig.2のようにROIを設定。以下の式よりCNRを算出した。

$$\text{CNR} = \frac{[\text{Mean}(\text{ROI}_M) - \text{Mean}(\text{ROI}_{BG})]}{[\text{SD}(\text{ROI}_{BG})]}$$

ROI_M = アクリル (約120HU) ROI_{BG} = BG (約80HU)

Mean(ROI_M) : ROI_M内の平均CT値
 Mean(ROI_{BG}) : ROI_{BG}内の平均CT値
 SD(ROI_{BG}) : ROI_{BG}内の平均SD

NPS測定では、SD測定に使用した画像に、Fig.3のようにROIを設定し、スリット法にてNPSを測定した。

2. 視覚評価

視覚評価に用いた画像のスライス厚は2mmとした。物理評価の結果をもとに、FBPと同等SDとなる線量とStrengthの組み合わせにてCTP404を撮影し、視覚評

価を行った。評価者は放射線科診断医6名、診療放射線技師4名の計10名。画像中央のアクリル球10mm、8mm、6mm、4mm、2mmがどの大きさまで見えるかを、10mmを1点、2mmを5点とした1～5点の点数による評価を行った。

【結果】

1. 物理評価

SDの測定結果をFig.4に示す。いずれの再構成方法でも線量が増えるにつれてSDが減少した。また、線量が一定であってもSAFIREを使用することでSDは改善している。ただし、各StrengthにおけるSD改善の程度(SD低減率)は線量によらず一定であった。CNRの測定結果をFig.5に示す。CNRはSDを計算式に含むため、線量の増加およびSAFIRE強度の増加に伴い増加する傾向が見られる。次に、NPSの測定結果について、100mAsで撮影した画像のNPSをFig.6に示す。SAFIRE強度を上げることによって、NPSが低下している。0.3～

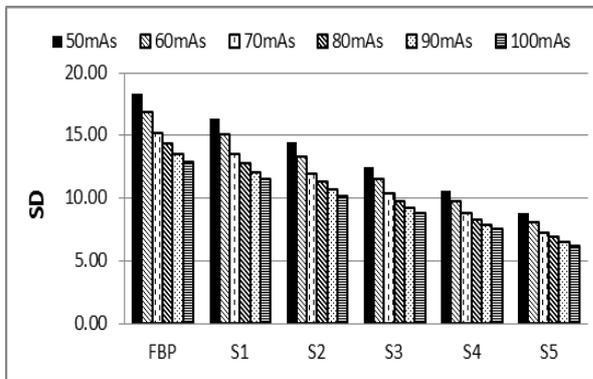


Fig.4 SD 測定結果

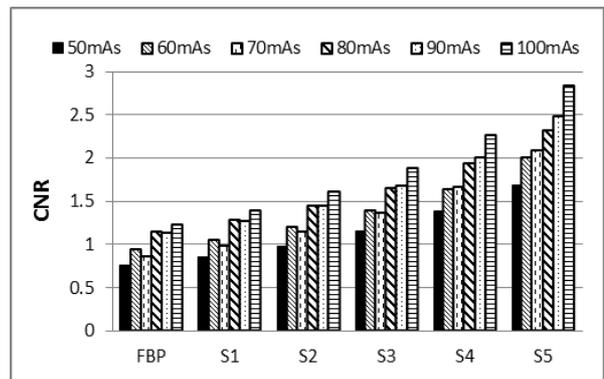


Fig.5 CNR 測定結果

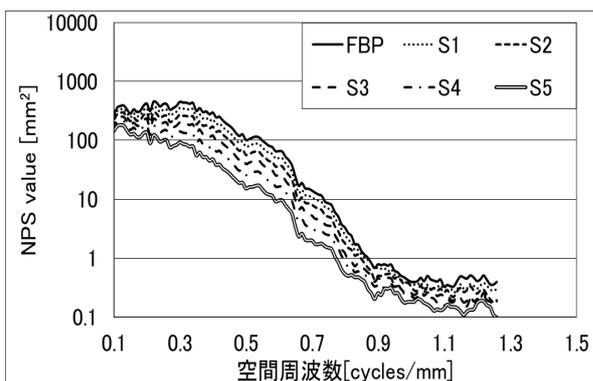


Fig.6 NPS 測定結果 (100mAs)

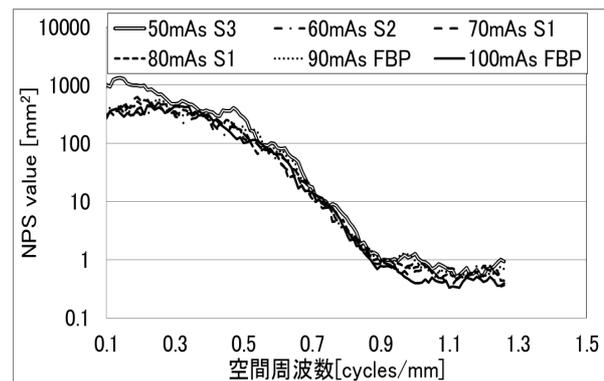


Fig.7 同等SD画像のNPS比較

0.9cycle/mmの周波数領域で変化は大きく、このほかの周波数領域では変化が小さかった。また、同等のSDを持つ線量と再構成方法の組み合わせについてNPSを比較した結果をFig.7に示す。50mAs SAFIRE5の組み合わせで0~0.3cycle/mmの雑音量増加が顕著であった。

2.視覚評価

各条件での画像の平均評価点および点数の標準偏差をTable1に示す。80mAs+S1の組み合わせが最も評価点が高く、標準偏差が少ない結果となった。他の組み合わせでは標準偏差が大きくなる結果となった。また、標準偏差の大きい画像について、評価者からは球

Table1 視覚評価結果

| 線量+再構成 | 平均評価点 | 標準偏差 |
|------------|-------|-------|
| 50mAs+S3 | 3.9 | 0.738 |
| 60mAs+S2 | 3.3 | 0.483 |
| 70mAs+S1 | 3.0 | 0.667 |
| 80mAs+S1 | 4.0 | 0.000 |
| 90mAs+FBP | 3.4 | 0.516 |
| 100mAs+FBP | 3.2 | 0.789 |

の形が違うという意見も多く聞かれた。

【考察】

SAFIREを使用することにより、線量を低減しても、基準とした100mAsと同等SDの画像を得ることができた。しかし、これらのNPSを比較した際に、50mAsの画像では低い周波数領域に差が見られた。SAFIREは0.3~0.9cycle/mm

【参考文献・図書】

- 1) 日本放射線技術学会:監修 市村勝弘 村松禎久:共編 標準 X線CT画像計測
- 2) 市川勝弘、他:CT における信号雑音比による低コントラスト分解能の評価. 医用画像情報学会雑誌Vol.24 No.3 (2007)
- 3) 星野貴志、他:逐次近似再構成法が三次元CT 画像の形状再現性に与える影響. 日本放射線技術学会雑誌Vol. 68 No. 12(2012)

-胸部領域-

大原綜合病院附属大原医療センター 画像診断センター ○藤井 徳 (Fujii Noboru)

森谷 浩史 中川 学

宮城県立がんセンター

後藤 光範

【はじめに】

近年各CTメーカーから逐次近似再構成 (iterative reconstruction : 以下IR) 技術を搭載したCTが登場し臨床現場に普及している。当院でもIRを使用し検査を行っているが、線量を下げることによる臨床画像への影響を検討する必要があると考える。そこで今回、胸部領域に関わる物理評価(MTF、スライス厚)と胸部超低線量画像の視覚試験を行い、結果より低線量撮影条件を検討したので報告する。

【方法】

使用機器および撮影条件をTable 1に示す。CT装置は

の周波数領域に大きく影響し、これより低い周波数領域では影響が小さい。そのため、線量を少なくすることで増加した低い周波数領域のノイズ成分がSAFIREによって低減できる範囲を越えてしまったことが原因と考えられる。低コントラスト領域では低周波数域の雑音が診断能に大きく影響するため²⁾、周波数毎の雑音量を評価できるNPSを含めた評価が必要であり、SDとCNRの評価だけでは不十分であると考ええる。

視覚評価では、標準偏差が大きく、評価点にも明らかな傾向は見られなかった。100mAs+FBPより90mAs+FBPの画像が高評価であることを考えると、サンプルを増やす、もしくは評価方法を見直す必要があると考えられる。しかし、80mAs+S1の評価点が高く、これより低線量の評価点が高いことから、診断能を担保するにはある程度の線量が必要になると考えられる。また、球の形が変化しているとの意見もあったが、線量を低減した場合、IRによる形状の変化も報告されている³⁾。今回は既知の位置での“検出能”を評価したが、“診断能”を評価するには形状再現性についても検討を行う必要があると考える。

本検討の結果、SDやCNRは同等でも過剰な線量低減は低コントラスト検出能を低下させる可能性があることが示唆された。そのため必要量の線量を確保し、線量に応じたSAFIRE強度を設定することが重要であると考ええる。

【まとめ】

SAFIREを使用することで、低コントラスト検出能を維持した線量低減は可能である。しかし、SAFIREを使用するにあたってSD、CNR、NPSといった総合的な物理評価と、視覚評価を複合し、適切な線量低減を行う必要がある。

Table1 各撮影条件

| | スライス厚 | MTF | 視覚評価 |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|
| CT | Aquilion OneV.E. | Aquilion One | Aquilion One |
| 管電圧[kV] | 120 | 120 | 120 |
| 管電流[mA] | 10,50,300 | 20,150,250 | 20,120,240 |
| 回転時間[sec] | 0.5 | 0.5 | 0.35 |
| 撮影 FOV (再構成 FOV)[mm] | 400(350) | 320(320) | M or L |
| コリメーション幅[mm] | 0.5 | 0.5 | 1.0 |
| 収集列数[列] | 64 | 80 | 32 |
| スキャン方式 | HELICAL | VOLUME | HELICAL |
| 再構成関数 | FC13 | FC52 | FC52 |

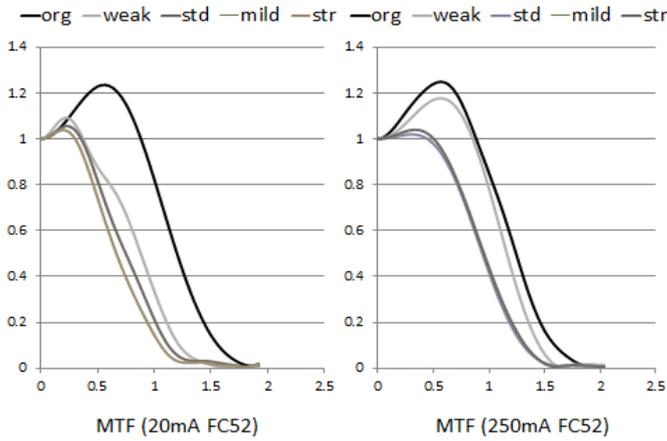


Fig.1 IR による MTF の変化(20mA 250mA)

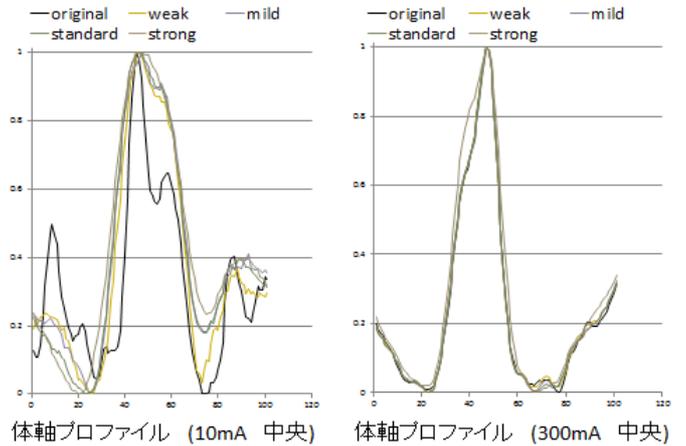


Fig.2 IR による SSP の変化(10mA 300mA)

東芝メディカルシステムズ株式会社製AquilionOneを用い、IR法はAIDR-3Dを使用した。

1.物理評価

1) MTF

アクリル製ブロックファントムを3度傾け寝台に設置し、線量を変えて撮影。画像再構成は各線量とも従来法(Filtered Back Projection:FBP)と雑音低減強度の異なるIR4種類にて再構成を行った。解析はExelを使用し、エッジ法で行った。

2) スライス感度プロファイル(SSP)

体軸方向に0.3mm隙間のあいたアクリルブロックのファントムを直径20cmほどの円筒型水槽内に固定、撮影しアクリルギャップの応答よりSSPを求めることを試みた。画像はMTF解析時と同様にFBPとIR4種で画像再構成を行った。得られた画像中心部にROIを設定しCT値を測定、体軸方向にプロファイルを作成し、正規化したものをスライス感度プロファイルとした。

2.視覚評価

撮影時に管電流を3回変化させ撮影を行い、最大線量のFBP画像を基準としてIR画像4種と比較し評価を行った。対象は胸部二次精検患者、年齢は20歳以上、文書による本人のInformed consentの得られている30症例とした。結節や炎症などの病変が存在する症例とした。評価画像は被検者一人につき、FBP、WEAK、MILD、STANDARD(以下STD)、STORONG(以下STR)、の5種×3種線量の全15種で行った。基準画像は240mA FBP画像とし、病変部のみを評価した。

評価法には100mmのVAS(Visual Analog Scale)を用いた。評価者は放射線科医2名、評価者には指標として20mm、50mm、90mm相当の画像を参照用として作成し評価前に提示し240mA FBP画像を50mmとした。評価結果から①線量②被検者の体重、③病変位置での評価について検討しグラフ化した。グラフは横軸は症例数で縦軸が評価点(0~100mm)とし、グラフ上部が高評価、下部が低評価となっている。

検討は当院、IRB(治験審査委員会)の承認を得ている。

【結果】

1.物理評価

1) MTF (Fig.1参照)

IRはFBPと比較してMTFが低下する傾向があった。雑音低減強度が強くなる、または線量が少ないほど空間分解能は低下する傾向があった。

2) スライス感度プロファイル(Fig.2参照)

IRによりSSPは膨らみ、スライス厚が厚くなる傾向が示唆された。SSPはスライス面内では中心部が最も大きく膨らみ、辺縁になるにつれ小さくなった。また、線量が少ないほどSSPの変化が大きくなった。

2.視覚評価

線量を変化させた時のFBP画像での結果をFig.3に示す。20mAがグラフの下部を占め、評価が低かった。その次に120mA、240mAと評価が上がり、上部に移行していった。120mA、240mAでは評価に20mAに対する結果ほど明らかな差はみられなかった。

FBPとIRの比較結果をFig.4に示す。240mAではFBPとの大きな差は見られなかったが、処理強度が強くなるにつれIRの評価点が下がる傾向がみられた。120mAは評価にバラつきがみられた。20mAはほぼ全てにおいてIR画像にて評価が上がる傾向がみられた。

被検者の体重別では、240mAは被検者の体重が少ない場合にIRの強度によりバラつきがみられた。120mAは体重が重い場合にバラつきがみられた。20mAは体重に関係なくIRにより評価が上がる傾向がみられた。

病変の位置別による結果では、肺野上部ではIRにより20mAでは評価は上がり、240mAでは評価が下がる傾向がみられた。(Fig.4参照)肺野中部では120mAでIRにより評価が上がる傾向がみられた。肺野下部ではIRによる変化はみられなかった。

【まとめ・考察】

物理評価の結果では、線量が少ない撮影ほどIR画像にて面内、体軸方向双方において解像度の低下がみられた。一方、視覚試験では通常線量にてIRで視覚評価結

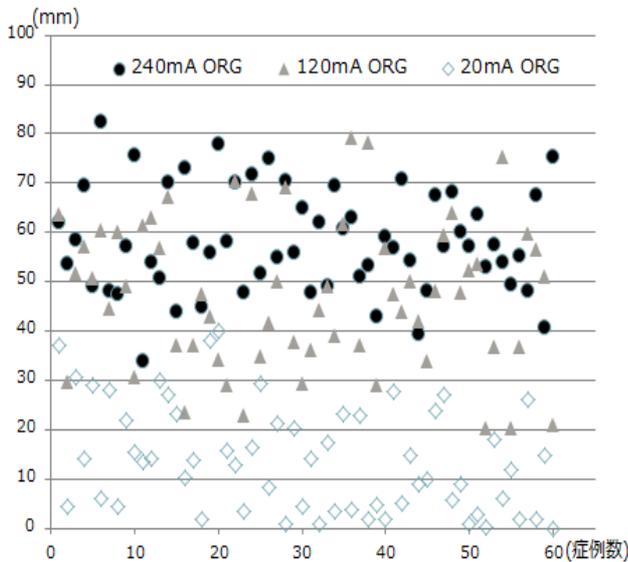


Fig.3 各線量のFBP画像の評価結果

果の低下傾向がみられたが、線量が少ない時にはIRにより評価が高くなるという乖離した結果となった。これについて、AIDR-3Dでは同じ強度のIRでも線量によって雑音低減処理の強さが変化し、線量が少ない(雑音が多い)時ほど効果が強くなるという検討結果を得ている。つまり、通常線量では雑音低減効果は少なく解像度は低下するため評価が下がり、低線量では雑音低減効果が大きくなり、解像度の劣化より雑音低下が認識能向上に大きく寄与し評価が上がった、という事が考えられた。肺野のような高コントラスト被写体において、雑音の影響は少なく、解像度が診断に影響するという考えが一般的であるが、本検討のような超低線量胸部撮影においては雑音の低減が診断能の向上に有用であることが示唆された。また、今回評価していただいた放射線科医師2名からは胸部検診とし

【参考資料】

- 1) 標準X線CT画像計測 日本放射線技術学会 監修 市川勝弘・村松禎久 共編
- 2) JSCT2013発表後論文「異なる逐次近似応用再構成法における解像度の挙動の違いについて」 後藤光範、佐藤和宏 他

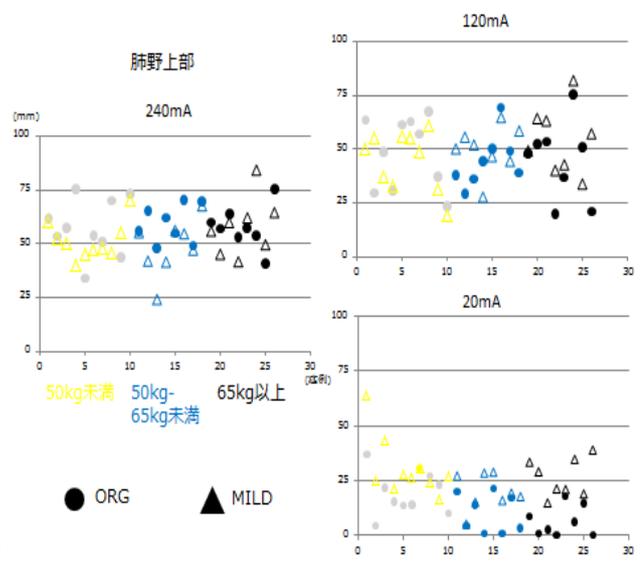


Fig.4 肺野上部における各体重の視覚評価結果

での利用であればIRを用いる事で20mAの超低線量撮影も可能ではないかという評価をいただいた。

現在、当院では肺がん検診撮影は被検者の体重により60kgを境界として20mAと40mAの2種類で行っている。その他条件はTable 1の視覚評価と同様で画像再構成にはAIDR-3D STRを用いている。

IRをはじめとする被ばく低減技術を利用し、少ない線量の撮影で画質が改善できることはCT検査では理想的なことである。しかしその技術の特性はしっかりと把握して利用しなければいけない。撮影目的にあった線量、処理強度を診断医と診療放射線技師で検討しながら施設毎に最適化していくことで、CT検査による被ばく低減が可能になるのではないかと考える。