

(報 告)

CT装置に搭載されたAiCE-i (Advanced intelligent Clear-IQ Engine -integrated) 画像の基礎評価

福長 綾 足立奈々恵 山根 晴一 池原 準

鳥取赤十字病院 放射線技術課

Key words : 再構成法, 画質向上, 被ばく低減

はじめに

近年, 日本の医療被ばくは諸外国に比べて非常に高い値となっていることが問題視されている。2011年の原子力安全研究協会の生活環境放射線¹⁾によれば, 人工放射線による被ばくは一人当たり3.87mSv/年で, そのほとんどが診断に用いられる医療放射線であるとされ, 中でもCT検査の占める割合は2.3mSvと非常に高い。これは我が国が世界トップのCT装置保有国であり, 検査を受けやすい環境にあることが背景にあると言える²⁾。技術的には, 低線量で撮影することで被ばく線量を抑えることが可能となるが, その場合, 線量不足によりノイズが増加してしまい画質は低下する。被ばく低減と画質向上は相反する関係にあり, その両立は困難な課題である。

このたび, 当院CT装置に人工知能 (AI) 技術の一つであるディープラーニングを応用した画像再構成技術, Advanced intelligent Clear-IQ Engine-integrated : 以下, AiCE-i) が搭載された。AiCE-iはDeep Convolutional Neural Network (DCNN) を用いた再構成法で, 畳み込みフィルタ (convolution filter) を組み合わせたニューラルネットワークによって, 構造がボケることなくノイズ低減が可能であり³⁾, ノイズ低減処理による画質向上と低線量化の両立が期待される最新技術である。今回, 我々は本機能を有効に利用するために理解しておかなければならない物理特性について基礎的検討を行った。

方 法

CT装置はAquilion prime SP 80DAS MDCT (Canon medical systems), ファントムはCatphan 600, 604 (the phantom laboratory) を使用し, 解析ソフトウェアとしてCT measure (特定非営利活動法人 日本CT技術学会)

を用いた。

従来の再構成法であるフィルタ補正逆投影法 (filtered back projection : FBP), 逐次近似再構成法 (iterative reconstruction : IR) を応用したHybrid IR再構成法 (AIDR3D, AIDR3D-enhanced), AiCE-iの3種類の再構成法について, 変調伝達関数 (modulation transfer function : MTF), 標準偏差 (standard deviation : SD), ノイズパワースペクトル (noise power spectrum : NPS), コントラスト・ノイズ比 (contrast to noise ratio : CNR) の4項目で物理特性を評価した。今回は体幹部領域に焦点を当て, FBP, Hybrid IRの再構成関数は軟部用のFC14, AiCE-iは体幹部用のBody sharpを用いた。

①MTF測定方法

Catphan 600 CTP404スライス厚・センチメートルモジュール (図1) を使用し, 管電圧120kVを一定とし, 管電流を50mAずつ変化 (50mA-350mA) させて, CT値900HUに関心領域 (region of interest : ROI) ③を設定し, MTFを測定した。

②SD測定方法

Catphan 600 CTP486均一性様モジュール (図2) を使用し, 管電圧120kVを一定とし, 管電流を50mAずつ変化 (50mA-550mA) させて, 平均CT値をファントム中心から求めた。ついで均一性の評価を行うROIを中央部1か所とファントム内壁とROIの外壁の端を指定距離だけ離れた周辺部4か所で設定した。求めたSD値を各再構成法で比較した。

③NPS測定方法

Catphan 604 CTP729均一性様モジュール (図3) を使用し, FOV200, 管電圧120kV, 管電流200mA, CT回転速度0.5s/rot, ヘリカルピッチ65, スライス厚5mmとした。ファントム内にROIを設定し, 求めた

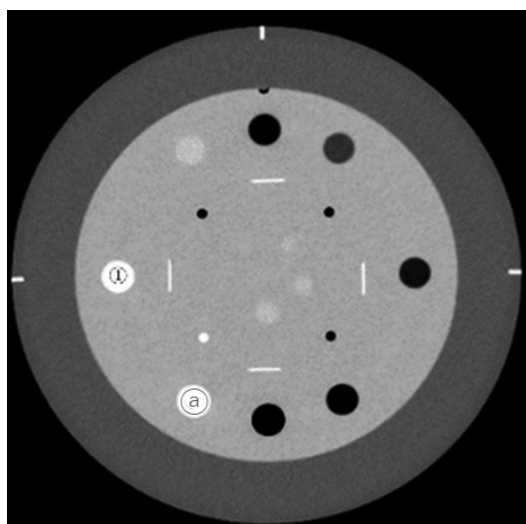


図1 Catphan 600 CTP404

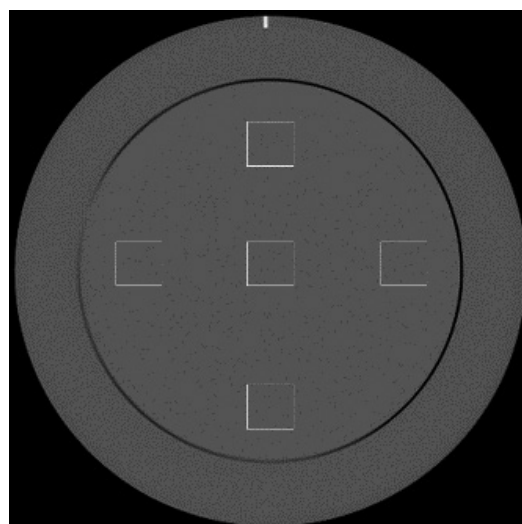


図2 Catphan 600 CTP486

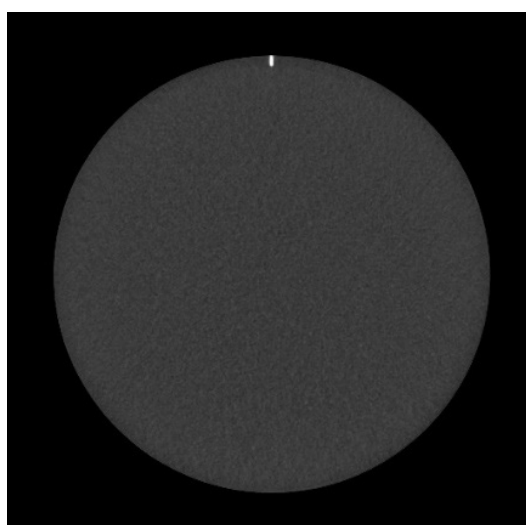


図3 Catphan 604 CTP729

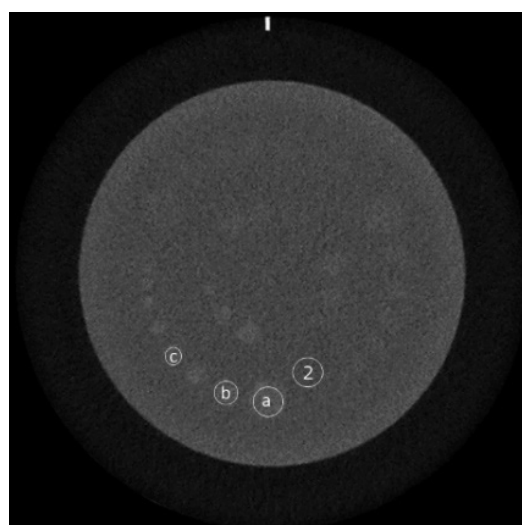


図4 Catphan 600 CTP515

NPSを各再構成法で比較した。

④CNR方法

Catphan 600 CTP515低コントラストモジュール(図4)を使用し。管電圧120kV, 管電流200mA, CT回転速度0.5s/rot, ヘリカルピッチ65, スライス厚5mmとして, ROI①: a (15mm), b (9mm), c (7mm), バックグラウンドをROI②に設定した。ROI①, ②のCT値とROI②のSD値を測定し, ROI①におけるCNRを各再構成法で比較した。また, 画像の周波数特性および信号体のサイズに対応した周波数情報の両方を反映したlow-contrast object specific CNR (CNR-Lo) 評価を行った。CNR-LoはROI①, ROI②に加え, 前述のNPSを取得するためCatphan 604 CTP729均一様モジュールを用いてNPSを取得した。

①MTFとは空間分解能を空間周波数ごとに示したも

ので, CT画像のどこまで小さいものを識別できるかを評価する指標である。MTFの値が大きいほど空間分解能が高いとされる。②SDとはCT値の標準偏差を示す。基本的なノイズレベルを判断する画像評価で, 被ばくを考慮した許容される画像基準を決めるうえで重要な指標である。SD値が大きいとCT値のばらつきが大きく, ノイズが多い画像となる。③NPSとは画像のノイズを空間周波数領域にて示すもので, ノイズの程度や状態が異なる場合にノイズ成分をそれぞれの周波数成分へと分解して評価することが可能となる。④CNRとは低コントラスト分解能を評価するもので, コントラストとノイズの比で表される。より臨床的なノイズ評価の検討が可能である。つまりCNRが小さいということはコントラストが低く, 画像内の信号がノイズに埋もれやすくなってしまいうことである⁴⁾。

結 果

①MTF

ROI①のMTFについて、AiCE-iは低線量域、高線量域ともにFBPやHybrid-IRと比較して安定して高い値となった(図5)。

②SD

線量を増加させていきSD値の変化を測定した結果、AiCE-iは全ての線量域において他の再構成法と比べ良好なSD値を示した(図6, 7)。各再構成法のSD値を比較すると、50mAのAiCE-iのSD値は350mAのときのFBPと同等のSD値であった。つまりSD値のみで見ると、7分の1の線量で同等の画像が得られるという結果となった。

③NPS

0.6cycles/mmまでの空間周波数領域ではAiCE-iがもっともノイズ特性が良好で、つづいてHybrid IR, FBPの順でNPSが低い値となった。臨床画像の読影において腫瘍の検出等に重要とされる低周波数領域ではAiCE-i, つづいてAIDR-3D enhancedのNPSが低値とな

っており、良好なノイズ特性を示した(図8)。

④CNR

測定したすべてのロッドサイズでFBPが最も低い値となり、他の再構成法では、差が7%以下と微差であった。CNR-LoはどのロッドにおいてもAiCE-iが最も高い値になり、ROI①cで顕著にその他再構成法と比較して良好な値となった(図9)。

考 察

①MTFについて

すべての線量域においてAiCE-iが最も高い値になったことによりAiCE-iは解像特性に優れ、他の再構成法と比べて高分解能であることが分かった。オリジナルデータであるFBPよりAIDR-3Dが低値となったのはノイズ低減の影響で再構成画像がボケてしまったことが原因と考えられた。また、低線量域ほどAIDR-3Dの低下度が大きくなった。これはAIDR-3DのMTFはSD値に依存する特性を持っている⁴⁾ため、SD値は低線量ほど大きくなり(図6)、その影響でMTFの低下度が大きくなったと言える。AIDR-3D enhancedは

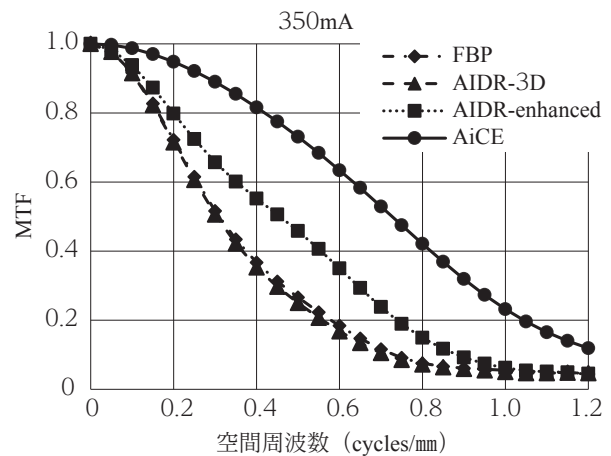
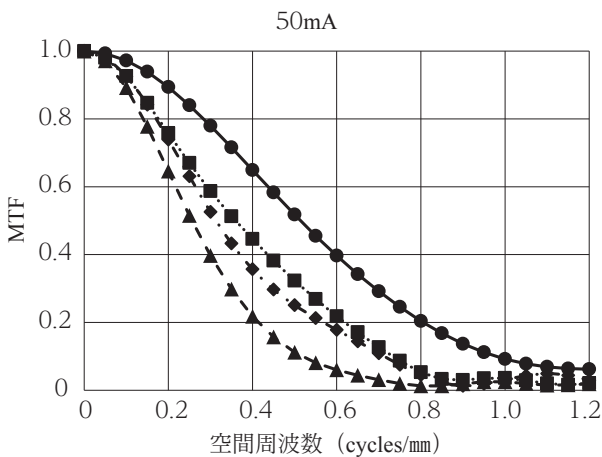


図5 ROI①における低線量域(120kV,50mA)、高線量域(120kV, 350mA)のMTF比較

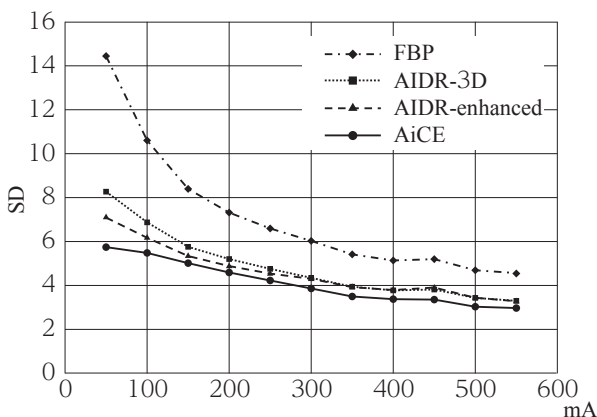


図6 各再構成法におけるSD

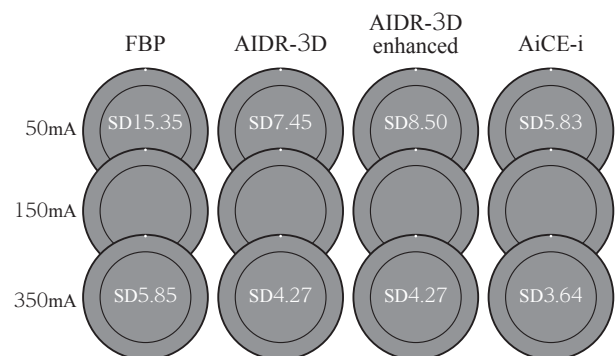


図7 50mA, 150mA, 350mAにおける各再構成法のSD値の比較

AIDR-3Dの技術をベースに粒状性の改善や空間分解能の維持を実現しているため、AIDR-3Dと比較してもMTF値は改善されていると考えられる。

②SDについて

AiCE-iではその他再構成法と比較して全ての線量域においてノイズ低減効果が高いと考えられる。しかしながら線量不足によるノイズの激しい画像に対して強いノイズ低減処理がかかるとSD値は良好であってもボケが生じ違和感のある画像となる可能性があるため、注意が必要である。被ばく低減と高画質化という

相反するものを両立させることが期待できるAiCE-iであるが、処理効果が強かかった時に画像に及ぼす影響を踏まえ、処理パラメータ強度や撮影条件の検討が必要である。

③NPSについて

CTにおける画像ノイズは、そのほとんどがフォトン数に由来する統計的な変動であるが、再構成パラメータに含まれるフィルタ関数、再構成法や画像処理など画像作成時の選択因子によっても変化する⁵⁾とされる。AiCE-iは特に低周波数領域においてFBPやHybrid

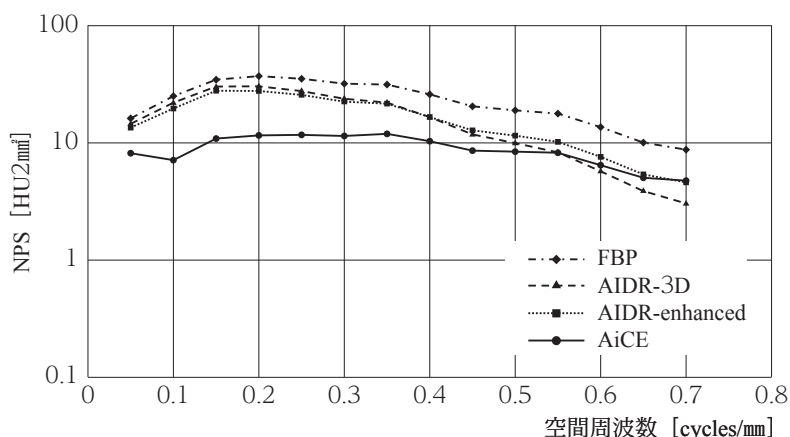


図8 各再構成法におけるNPS

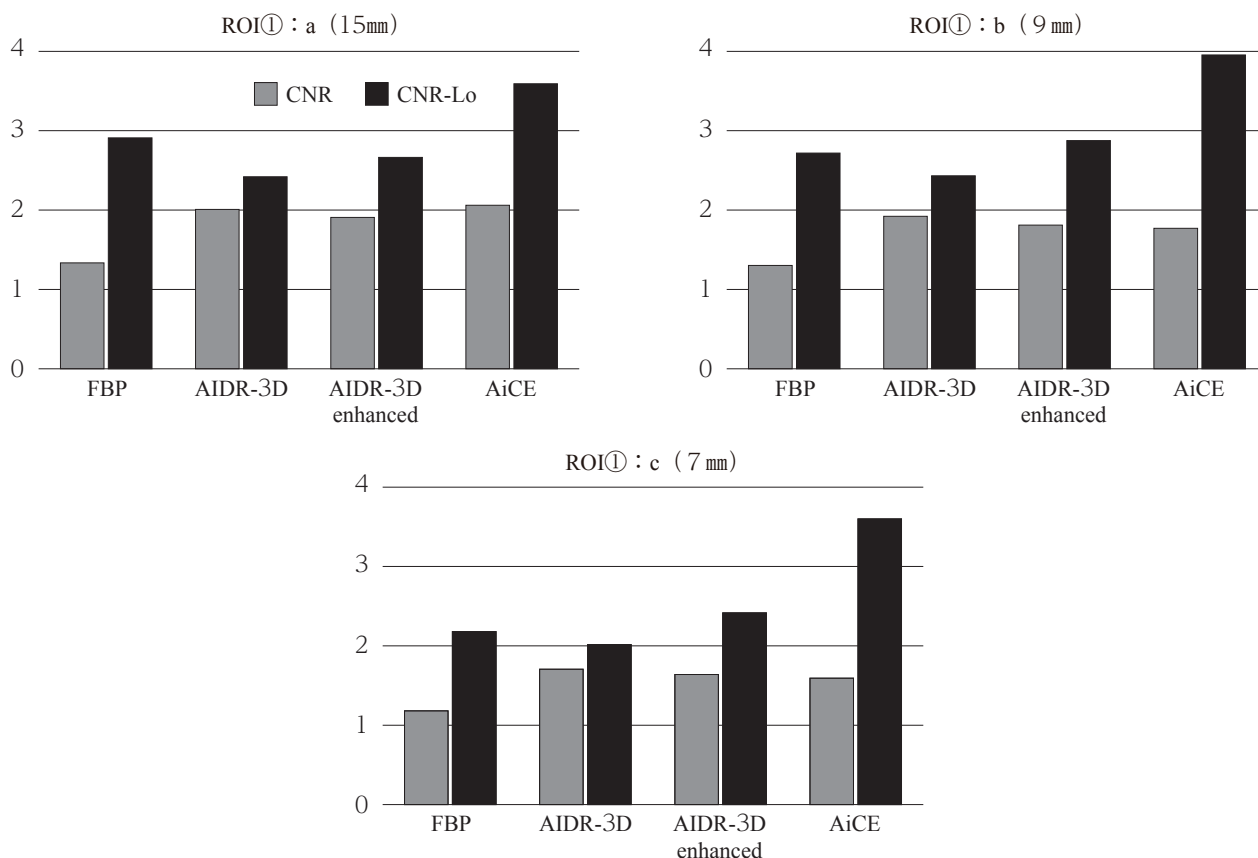


図9 各再構成法におけるCNR, CNR-Loの比較

IRより優位にノイズ特性が良好であり、ノイズにより識別が難しかった末梢血管、微小な腫瘍等の読影に有用であると考えられ、ノイズ低減に優れた再構成法ということが言える。

④CNRについて

CNRの評価では、FBP以外の再構成法に大きな差は見られなかった。しかし、CNRは画像の周波数特性や信号体のサイズは考慮されないため、視覚的評価（見た目の印象）と一致しないことがある。これに対しUrikuraら⁶⁾は周波数情報と信号体サイズを加味し、視覚的評価と良好な関連性があるCNR-Loを用いての評価が有用であることを報告している。CNR-Loでの評価ではすべてのロッド径においてAiCE-iが良好な値となった。読影対象が小さくなると低周波数ノイズの影響を受けやすくなるが、NPSの結果にあるように低周波数ノイズの低減が可能なAiCE-iはCT値差の少ない低コントラスト分解能も他の再構成法と比較して優れていると考えられる。

結 語

従来の再構成法と比較して、AiCE-iは空間分解能が高く、ノイズが少ない画像が得られることが分かった。線量不足等で発生するノイズに対し、AiCE-iは有用な画像

再構成法であると言え、臨床画像においても診断に必要な画質レベルを維持したまま線量を抑えられると期待できる。今回の物理評価の結果をもとに、臨床画像においても評価を続け、線量を抑えた適正なプロトコルを決めていく指標としたい。

文 献

- 1) 生活環境放射線編集委員会 編：新版 生活環境放射線（国民線量の算定）。原子力安全研究協会，東京，2011.
- 2) 赤羽恵一：放射線防護と医療被ばく，公衆衛生 82巻11号特集「放射線リテラシー」をめぐる課題. 830-834, 医学書院，東京，2018.
- 3) 中浦 猛：AIが放射線科の臨床へ与えるインパクト 臨床への導入，活用の仕方. 画像診断 41 (9) : 1022-1024, 2021.
- 4) 市川勝弘 他：標準X線CT画像計測. 26-48, 72-98, 102-124, オーム社，東京，2018.
- 5) 市川勝弘 他：標準X線CT画像計測. 61-69, オーム社，東京，2018.
- 6) Urikura A et al : Objective assessment of low-contrast computed tomography images with iterative reconstruction. *Physica Medica* 32 (8) : 992-998, 2016.