

# 論文の内容の要旨

論文題目： Model-based iterative reconstruction technique for radiation dose reduction in chest CT

(逐次近似画像再構成法を用いた CT 被曝低減：胸部領域における検討)

桂 正樹

**背景と目的：**近年の CT による医療被曝の増加はめざましく、放射線医科学研究所の西澤らが行った 2000 年の全国調査によると、日本国内の年間 CT 検査数は 3655 万件、日本国民 1 人当たりの CT による被曝線量は 2.3mSv であり、いずれも 1989 年の調査時と比べ約 3 倍に増加している(日本医放会誌 64 : 151-158, 2004)。CT における被曝低減手法として、adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) に代表される逐次近似再構成法を用いた画像再構成法が注目されており、急速に臨床現場に普及しつつある。逐次近似再構成法は従来画像再構成に汎用されてきた filtered back projection と比べて優れたノイズ低減効果を有するからである。一般に被曝線量と画像のノイズにはトレードオフの関係があるため、逐次近似再構成法を用いることで、従来よりも低い線量設定での CT 撮像が可能となる。逐次近似再構成法の中でも、近年開発された model-based iterative reconstruction (MBIR) は、より複雑で高度な再構成法であり、より強力なノイズ・アーチファクト低減や空間分解能向上が達成可能である。このため、これまでの逐次近似再構成法よりもさらに大幅な線量低減が可能とされる。しかしながら既報はファントム実験が中心であり、臨床例での検討はこれまでほとんどなかった。本研究の目的は、臨床例の胸部 CT を用いて、MBIR の低線量・超低線量領域における画質評価 (Study 1) 及び病変検出能評価 (Study 2) を行い、その有用性を検討することである。

**方法：**2011 年 7 月 1 日から 7 月 28 日の期間中、胸部単純 CT を予定され、本研究への参加に

同意した連続 104 人の成人患者に対し、64 列多列検出器 CT (Discovery CT750HD; GE Healthcare, Waukesha, WI, USA) を用いて撮像した。患者 1 人あたり 3 回 (通常線量[standard dose]、低線量 [low dose、肺癌検診を念頭に線量設定]、超低線量[ultralow dose、単純写真 2 方向の線量を念頭に線量設定]) の撮像を行い、各撮像の線量 (dose-length product [DLP]) を記録した。 (Study 1) 画質評価については、練習用としてランダムに選ばれた 4 人分の画像を除いた、100 人分 (男性 55 人、女性 45 人; 年齢  $65.6 \pm 12.4$  歳; 体重  $58.0 \pm 13.0$  kg) の画像を用いて検討した。患者 1 人あたり、Standard dose で撮像し ASIR で再構成した画像 (standard-ASIR) と、low dose で撮像し ASIR 及び MBIR で再構成した画像 (low-ASIR、low-MBIR) の計 3 セット (100 人分で合計 300 画像セット) を作成した。各画像について、気管分岐部の高さの肺実質に関心領域 (region of interest, ROI) を置いて客観的ノイズ (ROI 内の CT 値の標準偏差) を測定し、standard-ASIR、low-ASIR、low-MBIR の 3 群間を対応のある t 検定で解析した。また画像をランダム化し、2 名の胸部放射線科医による主観的画質評価 (主観的ノイズ、アーチファクト、診断用画像としての許容度) も行った。主観的画質評価は、胸部放射線科医に患者・臨床情報や画像再構成法を知らせない、ブラインドの状態で行った。主観的ノイズに関しては、肺実質における粒状・斑状のノイズ感を 5 段階スコアで評価した。アーチファクトについては、ストリーク・アーチファクト、心拍動などに伴うモーション・アーチファクト、組織表面がピクセル様にギザギザに見える pixelated blotchy appearance の各アーチファクトをそれぞれ 3 段階スコアで評価した。さらに画像全体として、診断用画像として許容できるかどうか、について 4 段階スコアで評価した。これら主観的評価の各項目について、3 群間を符号検定で解析した。いずれの統計学的解析も、Bonferroni 補正後、 $P < 0.016$  を以て有意とした。 (Study 2) 病変検出については、104 人中、多発肺転移症例など、肺結節の読影実験に支障が出ると判断された 30 人分の画像を除外し、さらに練習用としてランダムに選ばれた 15 人分の画像を除いた、59 人分 (男性 32 人、

女性 27 人; 年齢  $64.7 \pm 13.4$  歳; 体重  $59.0 \pm 14.1$  kg) の画像で検討を行った。Low dose (肺癌検診を念頭に線量設定) で撮像し ASIR で再構成した画像 (low-ASIR) と、ultralow dose (単純写真 2 方向の線量を念頭に線量設定) で撮像し MBIR で再構成した画像 (ultralow-MBIR) を用いて、やはりランダムイズ・ブラインド状態で肺結節検出の読影実験を行った。2 名の胸部放射線科医が長径 4mm 以上の非石灰化結節を拾い上げ、それぞれの結節の性状 (すりガラス結節、部分充実結節、充実結節) を記録した。また拾い上げた各結節について、それが本当に結節であるかどうか、確信度合を 4 段階スコアで記録した。読影実験の正解については、別の 2 名の胸部放射線科医 (正解委員) が、standard dose で撮像し ASIR で再構成した画像 (standard-ASIR) を用いて合議制で決定した。肺結節の検出感度について、low-ASIR と ultralow-MBIR の 2 群間を McNemar 検定で解析した。また確信度スコアを含めた結果については、2 群間に対して JAFROC (jackknife alternative free-response receiver operating characteristic) 解析を行った。いずれの統計学的解析も  $P < 0.05$  を以て有意とした。

**結果:** (Study 1) Standard dose (DLP,  $288.8 \pm 162.8$  mGy-cm) と比べ low dose ( $60.7 \pm 43.5$  mGy-cm) では 79.0% の線量低減が見られた。画質評価における検討では、low-MBIR の客観的ノイズ ( $16.9 \pm 3.0$  HU) は、low-ASIR ( $49.2 \pm 9.1$  HU,  $P < 0.01$ ) や standard-ASIR ( $24.9 \pm 4.7$  HU,  $P < 0.01$ ) のいずれよりも有意に低かった。主観的画質評価でも、low-MBIR では low-ASIR と比べて主観的ノイズ及びストリーク・アーチファクトの有意な改善が見られた (両項目とも  $P < 0.01$ )。MBIR ではモーション・アーチファクトや pixelated blotchy appearance が ASIR よりも有意に多く見られたものの (両項目とも  $P < 0.01$ )、MBIR は全例において診断用画像として許容し得る画像と評された。 (Study 2) Ultralow dose ( $14.5 \pm 1.1$  mGy-cm) は low dose ( $66.0 \pm 50.8$  mGy-cm) と比べ 78.1% の線量低減が見られた。病変検出における検討では、正解委員の定めた正解 (合計 84 個の非石

灰化結節) に対する 2 人の読影者の検出感度 (61-67%) に low-ASIR と ultralow-MBIR との間で有意差は見られず ( $P=0.48-69$ )、JAFROC 解析でも 2 群間で有意差は見られなかった ( $P=0.57$ )。肺結節の性状ごと (すりガラス結節 18 個、部分充実結節 11 個、充実結節 55 個) による解析においても、2 群間でのそれぞれの検出感度 (50-91%) に有意差は見られず ( $P=0.08-0.65$ )、JAFROC 解析でも有意差は見られなかった ( $P=0.21-0.90$ )。

**結論:** MBIR は低線量領域において従来の逐次近似再構成法 (ASIR) よりも優れた画質改善効果を有する。MBIR を用いることで、胸部 CT の画質を保ったまま、従来より大幅な線量低減が可能となる。また、MBIR は肺結節検出能に影響を与えることなく低線量から超低線量へと線量を低減させることが可能であり、肺癌検診などでの更なる線量低減にも応用が期待される。