

論文の内容の要旨

論文題目 逐次近似画像再構成法を用いた腹部 CT の被曝低減

氏名 八坂 耕一郎

背景：医療被曝は、実効線量にして 1980 年から 2006 年の間に 0.53mSv から 3.0mSv と増加傾向にある。2006 年において腹骨盤部 CT による実効線量は 1.47mSv と医療被曝に占める割合は大きい。被曝は放射線誘発癌の懸念があるので、合理的に達成できる限り低い方が望ましいと考えられる。

画質を損なうことなく CT における被曝を低減する技術として、adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR)法や model-based iterative reconstruction (MBIR)法といった逐次近似画像再構成法が注目を集めている。逐次近似画像再構成法では、従来用いられてきている再構成法である、filtered back projection (FBP)法においては考慮されていなかった様々なモデルを考慮することができる。ASIR 法は統計学的ノイズモデルや解剖学的構造を、MBIR 法はそれに加えてシステム光学モデルを考慮した方法である。より複雑なモデルまで考慮した MBIR 法では、ASIR 法よりもさらなる被曝低減が可能と予想される。

本研究では、腹骨盤部 CT における、MBIR 法を用いた場合の被曝低減の可能性について ASIR 法と比較検討することを目的とした。

方法：本研究は、前向き臨床研究で倫理委員会の承認を得て、対象者からは書面による同意を得た上で行った。単一の施設において腹骨盤部非造影 CT を予定されている 50 歳以上の患者を対象とした。解析対象となった患者は、合計 81 名で、平均年齢が 69.7 ± 9.0 歳、男 54 人/女 27 人、平均体重が 61.6 ± 12.3 kg であった。

撮影は参照線量 CT、低線量 CT、超低線量 CT と 3 回にわけて行い、合計の線量は通常臨床で用いられているものを大きく逸脱しないように配慮した。各撮影は 64 列 multidetector CT (Discovery CT 750HD; GE Healthcare)を用いて同一機会に撮影した。線量以外の撮影パラメータは各撮影で統一した。線量レポートに表示される dose-length product (DLP)に 0.015 を乗じることで実効線量を算出した。

画像は、参照線量 CT から FBP 法(R-FBP)で、低線量 CT から ASIR 法(L-ASIR)で、

超低線量 CT からは MBIR 法(UL-MBIR)と ASIR 法(UL-ASIR)で再構成した。なお、R-FBP の画像は疾患診断能評価のための reference standard として用いた。UL-MBIR、L-ASIR、UL-ASIR の画像を評価比較対象とした。

1 名の放射線科医が画像の定量的評価(脂肪肝診断と客観的ノイズ)を行った。各画像において関心領域を組織に設定した。肝臓と脾臓においた関心領域では CT 値を、腹部大動脈と腸骨筋においた関心領域では CT 値のばらつきの指標である standard deviation を客観的ノイズとして測定した。一般に、脂肪肝の診断は肝臓の CT 値単独で評価したり、肝臓と脾臓の CT 値を比較して評価することがある。脂肪肝の診断に用いるパラメータについて評価するため、CT[L](肝臓 CT 値)と CT[L/S](肝臓 CT 値/脾臓 CT 値)を算出した。

2 名の放射線科医が画像の定性的評価を行った。評価にあたっては、患者情報や画像再構成情報については伏せた状態で、また、画像はランダムな順序で提示した。以下の項目について、3~5 段階で評価を行った；虫垂・膵石灰化・尿管結石の有無(5 段階評価)、主観的ノイズ(5 段階評価)、streak artifact (3 段階評価)、blotchy pixelated appearance (逐次近似法においてみられることのある滲みのような白黒の斑点)(3 段階評価)、腹痛の診断をする上での診断許容性(4 段階評価)。虫垂・膵石灰化・尿管結石の有無については、別の 2 名の放射線科医が R-FBP の画像を参照することにより、reference standard を作成した。

脂肪肝の診断に用いるパラメータ(CT[L]と CT[L/S])について、R-FBP を基準とした場合に各画像再構成法においてどの程度変動があるかを Bland-Altman 解析により評価した。その他の定量的評価については、Student's paired t-test により、定性的評価については sign test により各画像再構成法間で比較を行った。UL-MBIR vs L-ASIR、UL-MBIR vs UL-ASIR と多重比較を行うにあたり、Bonferroni 法により $p < 0.025$ を有意水準とした。

結果：線量について、実効線量は参照線量 CT、低線量 CT、超低線量 CT ではそれぞれ 6.2 ± 2.5 mSv、 1.5 ± 0.5 mSv、 0.5 ± 0.2 mSv であった。超低線量では低線量よりも 63%低い実効線量であった。なお、超低線量 CT の実効線量である 0.5mSv は腹部単純写真(実効線量 0.7mSv、[Radiology 2008;248:254])と同等の被曝に相当した。

脂肪肝の診断に用いられるパラメータの変動について。CT[L]は、UL-MBIR と R-FBP での差の平均値は -3.3HU で、UL-MBIR では R-FBP よりも低くなる傾向が見られた。また、一部の症例では UL-MBIR において R-FBP と比較すると、脾臓の CT 値が極端に低くなる現象が見られ、CT[L/S]は極端に高い値を示していた。UL-MBIR を用いて、脂肪肝の診断をする際には、注意が必要であると考えられた。

膵石灰化の検出能について。検出感度については、UL-MBIR (0.67 – 0.89)は L-ASIR (0.33 – 0.44)やUL-ASIR (0.11 – 0.22)よりも高い傾向が見られた。一部の評価者ではUL-MBIRの感度はUL-ASIRよりも統計学的に有意に優れていた(評価者1で $p=0.014$)。一方で、特異度はUL-MBIR (0.79 – 0.93)はL-ASIR (0.96 – 1.00)やUL-ASIR (0.97 – 0.99)より低くなる傾向であった。一部の評価者でUL-MBIRの特異度はL-ASIRやUL-ASIRより有意に劣っていた(評価者1で $p<0.003$)。

尿管結石の検出感度においては、UL-MBIR (0.50 – 0.68)はL-ASIR (0.63 – 0.88)やUL-ASIR (0.38 – 0.50)との間に有意差は見られなかった。臨床的により意義の大きい4mm以上の尿管結石(4例)の検出感度に限るとUL-MBIRでは全例検出が可能であった。しかし、UL-MBIRにおいて、いくつかの症例で偽陽性を呈していたり(評価者1で3例、評価者2で5例)、小さな結石の場合に検出できない症例もあった。

客観的ノイズ(腹部大動脈、腸骨筋)はUL-MBIR (18.2 ± 3.5 , 17.1 ± 2.7)ではL-ASIR (47.3 ± 6.7 , 44.0 ± 6.3)やUL-ASIR (90.4 ± 11.3 , 80.2 ± 8.7)よりも有意に少なかった($p<.001$)。

主観的ノイズ、streak artifactについては、いずれもUL-MBIRはL-ASIRやUL-ASIRよりも有意に優れていた ($p<0.001$)。一方で、blotchy pixelated appearanceは、L-ASIRやUL-ASIRよりもUL-MBIRで有意に目立つという結果であった($p<.001$)。

腹痛の診断をする上で診断に許容できないと評価された症例はUL-ASIRでは多かった(評価者1で26例、評価者2で61例)のに対して、UL-MBIRではそれほど多くはなく(評価者1で1例、評価者2で6例)、UL-MBIRはUL-ASIRより有意に優れていた($p<.001$)。UL-MBIRとL-ASIRの間では有意な差は見られなかった($p=0.552 - 0.815$)。

結論: MBIR法を用いると、画質の著しい低下をきたすことなく低線量レベルから超低線量レベルへとASIR法よりも63%被曝を低減することが可能であった。超低線量ではMBIR法を用いても、ある程度の診断能低下が見られたため、参照線量CTを超低線量CTへと完全に置き換えることは難しいと考えられた。しかし、今回用いた超低線量は腹部単純写真と同等の実効線量であり、MBIR法を用いることで、この線量レベルでもある程度診断許容できる画質のCT画像を得られることがわかったので、特に若年者や毛細血管拡張性運動失調症患者などといった放射線感受性の高い患者においては有用性が高いと考えられた。