

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 10 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24791346

研究課題名(和文)肝の造影多時相CT検査における医療被ばく線量と造影剤量の最適化

研究課題名(英文)Optimization of Iodine and Radiation Dosage in Hepatic Dynamic CT

研究代表者

兵頭 朋子 (HYODO, Tomoko)

近畿大学・医学部・講師

研究者番号：40403836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：研究目的は、低エネルギーで原子番号の高い物質のX線減弱が大きくなることを利用し、ヨード造影下の多時相肝CT検査で造影剤の低減と被ばく線量の最適化を行うことである。まず人体模擬ファントム実験を行い、dual-energy CTイメージングを用いて、造影剤投与量を従来の3割減とする新たな検査プロトコルを決定した。臨床検討を行い、画質を保ちながら従来法と同等の造影効果を得られることが明らかとなった。被ばく線量は、従来法より若干大きかったが、本稿執筆時点では使用装置の更新により改善されている。本研究成果は、高齢者や腎機能不良患者の肝CT検査において造影剤腎症のリスク低減に役立つ。

研究成果の概要(英文)：As a clinical relevance of this study, virtual monochromatic image (VMI) reconstruction at lower keV in dual-energy CT (DECT) imaging allow reduction in iodine dose, which can contribute the reduction of risk of contrast-induced nephropathy. We aimed to validate a protocol with reduced iodine load for hepatic dynamic CT using VMI. We firstly conducted a phantom experiment to determine an optimal iodine load, 30% reduction in dose, and ASiR level for VMI at 60keV (protocol A). Then we conducted a clinical study in which 54 patients suspected of liver diseases underwent three-phase dynamic CT with protocol A and the other 54 patients underwent full iodine load with single-energy CT (protocol B). The clinical study showed that no significant difference in any of the CT attenuation values between protocols A and B. In conclusion, VMIs allows 30% reduction of iodine load while maintaining comparable image quality to full iodine load with the SECT imaging.

研究分野：肝臓の画像診断

キーワード：デュアルエネルギーCT dual-energy CT ヨード造影剤 ダイナミックCT 肝臓 逐次近似法 低侵襲画像診断

1. 研究開始当初の背景

MDCT は 1998 年に登場して以来、広く臨床使用され、装置の性能は高速化、高機能化、多列化・多次元化と現在も進化を続けている。日常診療での CT 検査は、二次元の静止画像ないし、再構築した三次元画像による視覚評価が主体であるが、近年では Volume Helical Shuttle 撮像技術(1)などを用いた血流評価法が可能となり(2)、肝においては、慢性肝障害における実質像の変化や多発肝細胞癌の治療効果の評価に威力を発揮すると考えられる。一方で、Volume Helical Shuttle CT では身体の特定の範囲を複数回撮影するため、患者の放射線被ばくが増す。また、造影剤の急速・多量の投与により腎障害の危険が増すことが問題視されており、臨床応用は進んでいない。とくに慢性肝障害患者の CT 検査においては、病変と肝実質の血行動態の違いをみるのが診断の要であるため、高用量の造影剤を急速に経静脈投与して肝を複数回撮像する多時相 CT が推奨されている。これに追加して CT Perfusion による高次な機能評価を行うには、被ばく線量と使用造影剤の増加の問題を克服する必要がある。

CT 検査の被ばく線量と造影剤使用量を低減する試みとして、低管電圧撮像による CT 値の増強効果を応用した研究がなされてきたが(3)、(4)、照射線量の不足による画像ノイズの増加を避けることができず、これを補う画像処理方法が併せて検討されてきた。CT における画像再構成法は、投影データにフィルタ関数を乗じ、逆投影する Filter back projection (FBP) 法が主として用いられてきた。近年開発された統計学的逐次近似法(5)は、核医学診断装置で主に使用されている技術を CT に応用したものである。逐次近似法は CT 装置の X 線管球の焦点、被写体、検出器のセルのサイズなど、X 線光子の通過経路を幾何学的にモデル化し、実際に得られた生データと、画像から投影された仮想生デ

ータの間の誤差を計測し、画像再構成時に誤差を最小にすることで、分解能を損なわず画像ノイズを大幅に軽減できる画像処理法である。

2. 研究の目的

肝多時相 CT 検査の診断画質を維持しながら、被ばく線量と造影剤使用量の低減を実現する撮影技術を確立すること。具体的には、低いエネルギーでの撮影条件および逐次近似法による画像再構成の処理条件をファントム実験により決定し(下記 3.(1))、臨床症例に適用して妥当性の確認を行う(3.(2))。

3. 研究の方法

(1) ファントム実験

人体模擬ファントムとして、楕円形断面円筒ファントムを作製した。ヨード濃度の異なるヨード造影剤の水溶液をファントムに封入して CT スキャンを行い、dual-energy CT イメージングにおいて仮想単色 X 線画像の表示エネルギー 60keV とし、CT 値の平均、画像ノイズ(ここでは CT 値の標準偏差値)が従来の single-energy CT (管電圧 120kVp)による画像と同等になるように、逐次近似法を応用した画像再構成(ASiR)の FBP 法に対するブレンド率、造影剤投与量を決定した。仮想単色 X 線画像の表示エネルギーを 60keV とした理由は、研究当時の CT 装置において ASiR を適用できるエネルギーの下限が 60keV であったためである。

(2) 臨床検討

ファントム実験(1)で決定した多時相肝 CT 検査プロトコールを、書面による患者の同意を得て慢性肝障害患者 54 例の定期検査に適用した。肝実質や主要血管(腹部大動脈、門脈)の造影効果を定量的(CT 値、画像ノイズ、コントラストノイズ比)および定性的(アー

チファクトやノイズ、コントラストについての視覚評価)に評価し、撮像記録から患者の被ばく線量を計算した。

対照群として、同時期に従来の撮影条件による多時相肝 CT 検査を行った患者群から、患者背景をマッチングし抽出した 54 例分の画像を同様に評価し、2 群を比較した。

4. 研究成果

平成 24 年度に科学研究費補助金を用いて画像評価用の楕円形断面円筒ファントムを作製した。同ファントムは本課題で使用後、当施設において CT 画像診断領域および放射線治療領域の他の研究に活用している。

本研究の開始当初は、single-energy CT での低管電圧撮像を用いたプロトコルの確立を意図していたが、ファントム実験で CT の撮像条件を決定した後、当施設の CT 装置のバージョンアップが行われ、同装置に具備されている dual-energy CT 撮像モードでの被ばく低減措置が変更された。具体的に、管電流自動変調機構によって、患者の体格を元に、被ばく線量をより細やかに適正化することが可能となった。また、ASiR も適用可能となったため、従来の多色 X 線 CT イメージングと同じ原理で、低エネルギー表示での仮想単色 X 線画像に ASiR を組み合わせ、造影剤使用量を低減しうると期待される。当施設では慢性肝炎患者の肝脂肪・線維化の組織推定や血流の定量解析に dual-energy CT 撮像を用いる場合が増加していることから、改めてファントム実験を行い(上記 3.(1))、再構成条件および造影剤低減プロトコルを再構築する必要があると思われた。

平成 25 年度は、再実験を行い、仮想単色 X 線画像の表示エネルギー 60keV、逐次近似法を応用した ASiR のブレンド率 50%、造影剤投与量を標準の 3 割減 (420 mgI/kg)とする新たな検査プロトコルを決定し、平成 25 年度後半より、これらの条件を臨床例(54 例)

に適用した画像データ集積した。同時期に標準の多時相肝 CT プロトコル(従来の single-energy CT、造影剤量 600 mgI/kg、120kVp、ASiR 30%)で検査した 54 症例をマッチングによって抽出し、肝の実質や血管の造影効果について定量的・定性的評価を行った結果、造影剤低減プロトコルでは、画質を保ちながら標準プロトコルと同等の造影効果を得られることが明らかとなった。被ばく線量は、dual-energy 撮像の管電流設定が段階的であることにより、標準プロトコルより若干大きかった。その差は人体への影響と診断上得られるメリットを考慮すると十分に許容範囲内であるものの、若年者では適用に一考を要すると考えられた。X 線検査における造影剤腎症が注目されている昨今、とくに腎機能不良患者の肝 CT 検査計画において、本研究の寄与は大きい。研究結果を国内外の放射線医学学会で発表し、論文の投稿準備中である。

今後の展開として、この造影剤減量プロトコルを、肝細胞癌や転移性肝癌などの肝病変をもつ症例に適用した場合の病変の描出能を検討する必要がある。また平成 27 年度中に、ASiR を適用できる仮想単色 X 線画像のエネルギーの下限が低下し、管電流の調節機能のさらなる適正化も可能となった。このような CT 装置の機能向上により、造影剤量や被ばく線量をさらに低減できる可能性があり、本研究成果をもとに検討を続けたい。

<引用文献>

- 1) Hagiwara A. Volume Helical Shuttle - A technical description. GE Healthcare, White paper, CT-0377-11.08-EN-US
- 2) Hashimoto K, Murakami T, Dono K, et al. Quantitative tissue blood flow measurement of the liver parenchyma: comparison between xenon CT and perfusion CT. Dig Dis Sci 2007;

52:943-949.

- 3) Marin D, Nelson RC, Barnhart H, Schindera ST, et al. Detection of pancreatic tumors, image quality, and radiation dose during the pancreatic parenchymal phase: effect of a low-tube-voltage, high-tube-current CT technique--preliminary results. Radiology. 2010 Aug;256(2):450-9.
- 4) Marin D, Nelson RC, Samei E, et al. Hypervascular liver tumors: low tube voltage, high tube current multidetector CT during late hepatic arterial phase for detection--initial clinical experience. Radiology. 2009 Jun;251(3):771-9. Epub 2009 Apr 3.
- 5) Yanagawa M, Tomiyama N, Honda O, et al. Multidetector CT of the Lung: Image Quality with Garnet-based Detectors. Radiology. 2010 Jun;255(3):944-954.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

1. Takahashi H, Okada M, Hyodo T, Hidaka S, Kagawa Y, Matuki M, Tsurusaki M, Murakami T. Can Low-dose CT with Iterative Reconstruction Reduce Both the Radiation Dose and the Amount of Iodine Contrast Medium in a Dynamic CT Study of the Liver? European Journal of Radiology. (査読有) 83(4), 2014, 684-691.
 2. 河野雄輝, 上村正信, 宇都辰郎, 岡田真広, 兵頭朋子, 鶴崎正勝, 松木 充, 村上卓道: 肝腫瘍の Dual Energy Imaging 映像情報 Medical (査読なし) 45(1), 2013, 20-25.
- 〔学会発表〕(計6件)
1. 兵頭朋子, 熊野正士, 中西順子, 矢田典久, 鶴崎正勝, 工藤正俊, 村上卓道, Dual-energy CTを用いた肝ダイナミックCTの造影剤低減, 2016年04月14-17日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
 2. Hyodo T, Kumano M, Nakanishi J, Uemura M, Kudo M, Murakami T, Toguchi M, Fukui H, Yada N, Ishii K, Mochizuki T, Iodine Load Reduction at Hepatic Dynamic CT using Virtual Monochromatic Imaging with a Fast kVp Switching Dual-Energy CT, 2015年11月29日-12月4日, シカゴ(米国)
 3. Hyodo T, Nakanishi J, Asato N, Tsurusaki M, Matsuki M, Uemura M, Kudo M, Murakami M. Iodine Load Reduction at Hepatic Dynamic CT: Usefulness of the Virtual Monochromatic Imaging using a Fast kVp Switching Dual-Energy CT. The 27th European Congress of Radiology. 2015年3月4-8日, ウィーン(オーストリア)
 4. 兵頭朋子. Dual-energy CTでできること. 第308回日本医学放射線学会関西地方会, 2014年10月25日, ホテルエルセラーン大阪(大阪府・大阪市)
 5. 中西順子, 河野雄輝, 福島弘之, 井上尚美, 酒井裕太郎, 上村正信, 兵頭朋子. Dual Energy撮影と逐次近似応用再構成を併用した造影剤減量に関する検討. 第42回日本放射線技術学会秋季学術大会, 2014年10月9-11日, 札幌コンベンションセンター(北海道・札幌)
 6. Hyodo T, Okada M, Kudo M, Tsurusaki M, Mochizuki T, Ishii K, Murakami M. Applications of the Fast kVp Switching Dual Energy CT for Hepatopancreato-biliary Imaging. 99th

Radiological Society of North America.

2013年12月1-6日, シカゴ (米国)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

兵頭 朋子 (HYODO, Tomoko)

近畿大学・医学部・講師

研究者番号 : 4 0 4 0 3 8 3 6

(以上)