

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23602005

研究課題名(和文) 肺がんCT診断支援システムに適する画質への画像変換法の開発

研究課題名(英文) Conversion of CT image quality to suitable quality for images input into a computer-aided detection (CAD) system for lung cancer

研究代表者

大久保 真樹 (Ohkubo, Masaki)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：10203738

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円、(間接経費) 480,000円

研究成果の概要(和文)：肺がんCT検診用コンピュータ診断支援システム(CAD)の性能は画質に依存するため、CT画像の再構成条件(再構成関数)によっては性能が大きく低下する。CADの導入に伴い、各施設で用いられている再構成関数の変更を余儀なくされることがあり、CAD普及における大きな障壁となっている。そこで、CT装置で測定された変調伝達関数(MTF)の情報を活用し、再構成された画像の画質を、他の再構成関数による画質(CADに最適な画質)に変換する手法を開発した。考案法によって高い精度で画質変換が可能であり、CADの性能低下を改善できることが確認された。本法によりCADの導入が容易となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：When computer-aided detection (CAD) is applied to lung cancer screening, it is important to choose a reconstruction kernel suitable for images input into a CAD system. However, if the kernel suitable for CAD is different from the kernel that has been clinically used by a radiologist until the introduction of CAD, the change in kernel could cause difficulty. To overcome this problem, we proposed a new technique of image filtering as an alternative to the application of a different reconstruction kernel, based on the quantitative analysis of the modulation transfer function (MTF) measured in the system. It was demonstrated that the proposed method had good performance and improved the worsening in performance of CAD caused by the use of kernels unsuitable for images input into a CAD system.

研究分野：時限

科研費の分科・細目：医学物理学・放射線技術学

キーワード：X線CT装置 変調伝達関数(MTF) 画像再構成関数 点広がり関数(PSF) 空間分解能 肺がん CT検診

1. 研究開始当初の背景

肺がん死は胃がん死を超えて第一位となり、肺がんの克服は大きな社会問題となっている。肺がんの治療率向上には早期発見・早期治療が最も効果的である。肺がんの早期発見のためには、胸部 X 線 CT 撮影の方が従来の単純 X 線撮影よりも有効である。しかし、CT 撮影では画像枚数が数十から数百枚ともなるため、単純 X 線像の 1 枚に比して医師の読影・診断の負担は格段に重くなる。これを軽減するために、コンピュータによる診断支援システム (Computer Aided Diagnosis; CAD) が開発されている。既にいくつか市販されている CAD システムもあり、その主要な研究テーマは CAD の“開発”から、“導入・実用化”への移行段階にある。

CAD の導入・実用化に際し、一つ大きな問題がある。これまでに開発されてきた CAD システムでは各システム毎に実質的な推奨条件があり、CT 画像の撮影・再構成条件に制限が設けられていることが多い。それ以外の条件による画像を用いると CAD の性能は低下する。特に、画像再構成条件の一つである再構成関数は、画質に大きく影響する重要な因子であり、再構成関数の設定によって CAD の性能が低下するケースが多い。CT 装置には各メーカーが独自に開発した種々の特性の再構成関数が組み込まれており、また、同じ CT 装置を使用する場合でも再構成関数の選択は施設によって様々である。CAD の導入に際しこれまで臨床で用いてきた再構成関数の変更を余儀なくされる場合があり、この問題が CAD の導入・実用化における大きな障壁となっている。

2. 研究の目的

本研究では、CT 装置で測定された変調伝達関数 (Modulation Transfer Function; MTF) の情報を活用し、再構成された画像の画質を他の再構成関数による画質 (CAD に最適な画質) に変換する手法を開発する。提案する画質変換の手法は、一般的な画像のフィルタリング処理と同様である。しかし、そのフィルタ関数は CT 装置の MTF に基づいて決定される。2 つの再構成関数についてそれぞれの MTF を測定し、それらの比をフィルタ関数として利用する。MTF に基づいたフィルタ関数であることから、単なる前処理フィルタ (平滑化やノイズ除去処理など) とは異なり、再構成関数による画質の違いを正確に補正することができるものと考えられる。本法の有効性を確認するために、胸部 CT 画像に画質変換処理を加え、変換後の画像と元画像とを比較し変換精度を確認する。さらに、肺がんが疑われる症例を集めた胸部 CT 検診画像データベースを用いて、受信者動作特性 (Free-response Receiver Operating Characteristic; FROC) 解析を行う。CAD に

おける推奨再構成関数とは異なる関数を用いた再構成画像に対し画質変換処理を行い、FROC 曲線を求める。これを、CAD の推奨再構成関数を用いた場合の FROC 曲線と比較することによって、本法の有効性を最終的に確認する。

3. 研究の方法

提案する画質変換法の理論を述べる。CT 装置における 2 種類の画像再構成関数を $kernel_a$ および $kernel_b$ とし、それぞれの再構成関数を用いた場合において測定された MTF を MTF_a 、 MTF_b とする。次式 (1) から、 MTF_{ratio} を算出する。

$$MTF_{ratio} = MTF_b / MTF_a \quad (1)$$

$kernel_a$ および $kernel_b$ を用いて再構成された画像をそれぞれ I_a 、 I_b とおく。 I_a と I_b は次式 (2) の関係がある。

$$I_b = F^{-1} \{ F[I_a] \times MTF_{ratio} \} \quad (2)$$

ここで、 F はフーリエ変換、 F^{-1} は逆フーリエ変換を表す。画像 I_a に対し、式 (2) で表される空間周波数領域におけるフィルタ処理 (フィルタ関数 MTF_{ratio}) を行うことによって、画像 I_b を算出することができる。本研究で用いた CT 装置において得られた MTF_{ratio} を Fig. 1 に示す。

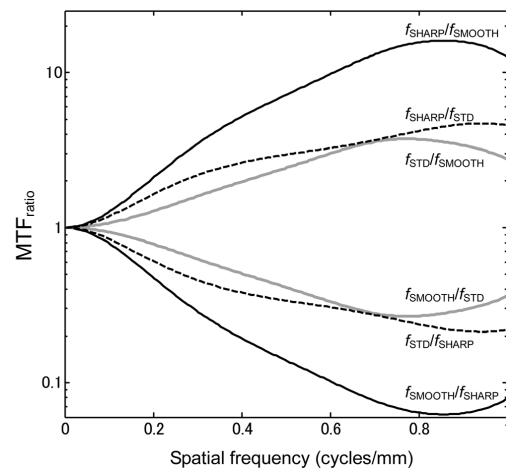


Fig. 1 画質変換処理に用いたフィルタ関数。3 種類の画像再構成関数 (f_{SMOOTH} , f_{STD} , f_{SHARP}) それぞれの組み合わせにおける 6 種類のフィルタ関数である。

肺がんが疑われる症例を集めた胸部 CT 検診画像データベース (n = 67) を用いて、画質変換の手法を検証する。このデータベースの画像は、3 種類の再構成関数 (f_{SMOOTH} , f_{STD} , f_{SHARP}) を用いて得られたものである。画質変換後の画像と元画像とを比較し、変換精度を

確認する。さらに、現在開発中の CAD システムを用いて結節検出実験を行い、CAD の性能を評価する。この CAD システムは、再構成関数 f_{STD} を用いて得られた画像を基に開発・チューニングが行われている。このため、 f_{STD} 以外の関数で再構成された画像を用いた場合には、CAD の結節検出能力が低下する可能性がある。そこで、まず関数 f_{SHARP} により再構成された画像を用いて CAD 解析を行い、結節検出能力の低下を確認する。次に画質変換処理を適用し、 f_{STD} で再構成された画像の画質へと変換する。これによって CAD の性能低下の改善を図る。最終的には FROC 解析を行い、画質変換後の画像 (f_{SHARP} により再構成された画像を f_{STD} の画質に変換した画像； $f_{SHARP} \rightarrow f_{STD}$) を用いたときの FROC 曲線と、元画像 (f_{STD} により再構成された画像) を用いたときの FROC 曲線とを比較し、画質変換法の有用性を検討する。

4. 研究成果

関数 f_{STD} を用いて再構成された画像に対し、考案した画質変換処理を行い、 f_{SHARP} による画質の画像に変換した結果 ($f_{STD} \rightarrow f_{SHARP}$) を Fig. 2 に示す。変換画像は、元画像 (f_{SHARP}) とよく一致している (Figs. 2 b, c)。結節像を比較しても差はほとんどみられない。差分画像をみると、雑音やアーチファクト成分が主であり、画像の差異が非常に小さいことを確認できる (Fig. 2 d)。

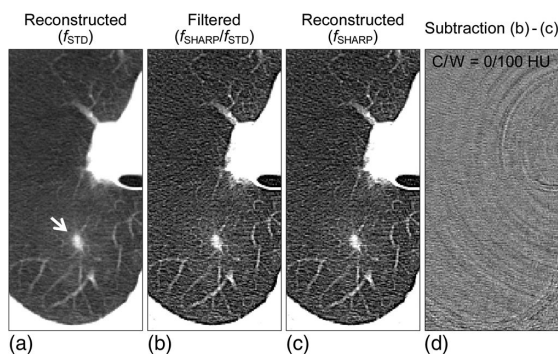


Fig. 2 画質変換処理の一例。(a) 関数 f_{STD} を用いて再構成された画像。矢印は結節を示す。(b) 画像 a を画質変換処理によって f_{SHARP} による画質に変換した結果。(c) 関数 f_{SHARP} を用いて再構成された画像。(d) 画像 b と c の差分画像。

関数 f_{SMOOTH} を用いて再構成された画像に画質変換処理を行い、 f_{SHARP} による画質に変換した結果 ($f_{SMOOTH} \rightarrow f_{SHARP}$) を Fig. 3 に示す。変換画像は、元画像 (f_{SHARP}) とよく一致している (Figs. 3 b, c)。差分画像をみると雑音やアーチファクト成分が主であり、画像の差異が小さいことを確認できる (Fig. 3 d)。

結節を通る CT 値のプロファイル曲線を比較すると、よく一致することがわかる。再構成関数 f_{SMOOTH} から f_{SHARP} への変換の場合、フィルタ関数 MTF_{ratio} の値が 10 以上となる場合があるが (Fig. 1) 変換画像では数値の発散傾向はみられず、良好な画質変換が可能であると考えられる。

Fig. 2 および 3 に提示した画質変換以外にも、すべての再構成関数の組み合わせ (Fig. 1 に示す 6 種類のフィルタ関数) において良好な変換処理が可能であることが確認された。考案した画質変換法の妥当性が示唆されたものとする。

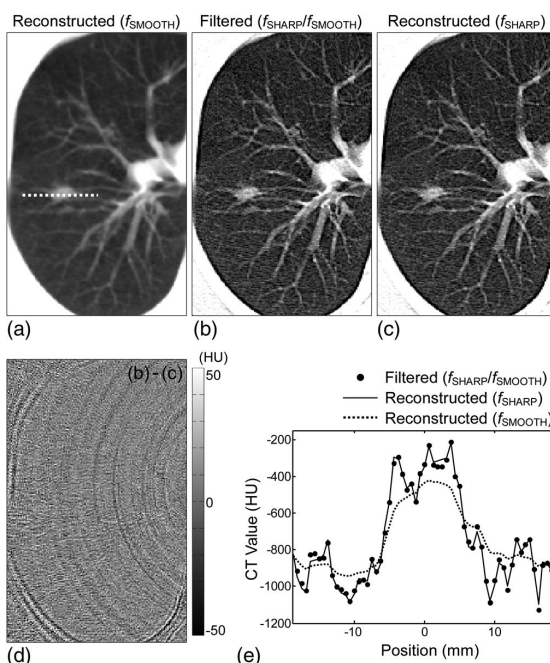


Fig. 3 画質変換処理の一例。(a) 関数 f_{SMOOTH} を用いて再構成された画像。(b) 画像 a を画質変換処理によって f_{SHARP} による画質に変換した結果。(c) 関数 f_{SHARP} を用いて再構成された画像。(d) 画像 b と c の差分画像。(e) 結節を通るプロファイル曲線の比較。画像 a に示す点線上のプロファイル曲線である。

CAD システムによる結節検出実験の結果の一例を Fig. 4 に示す。関数 f_{STD} を用いて再構成された画像を用いた場合、結節のみが正しく検出された (Fig. 4 a)。しかし、関数 f_{SHARP} により再構成された画像を用いた場合 (Fig. 4 b) には結節は検出されず、多数の偽陽性 (false-positive; FP) が現れた。この画像 (f_{SHARP}) を画質変換処理により、 f_{STD} による画質に変換した画像 ($f_{SHARP} \rightarrow f_{STD}$) を用いた場合、結節のみが正しく検出された (Fig. 4 c)。 f_{SHARP} によって再構成された画像を用いた場合でも、画質変換処理 ($f_{STD} \rightarrow f_{SHARP}$) を適用することによって、 f_{STD} による画像を用いた場合と同じ CAD の検出結果となることが確認された。

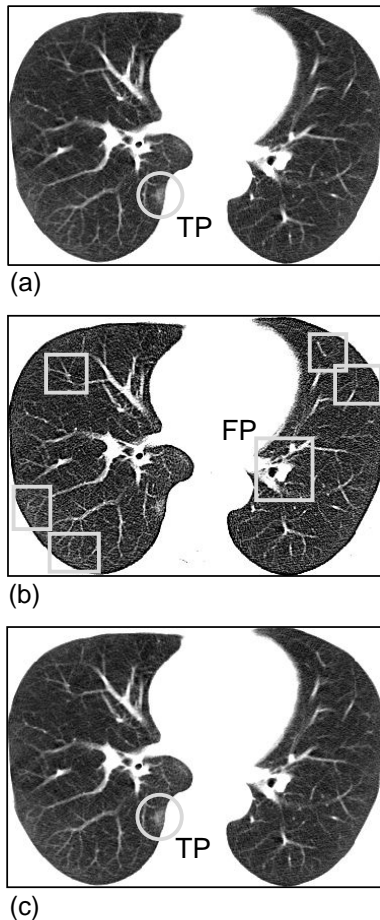


Fig. 4 CADによる結節検出の一例。(a)関数 f_{STD} を用いて再構成された画像。図中の印は TP を示す。(b)関数 f_{SHARP} を用いて再構成された画像。図中の印は FP を示す。結節は偽陰性となる。(c)画像 b を画質変換処理によって f_{STD} による画質に変換した画像。画像 a を用いた場合の CAD 検出結果と同じになる。

FROC 解析により CAD システムの結節検出性能について調べた結果を Fig. 5 に示す。関数 f_{STD} により再構成された画像を用いた場合、真陽性率 (true-positive ratio; TPR) は最高で 0.8 以上となる。このとき、FP 数は一症例で平均 20 個以下であった (画像 1 枚あたり 1 個以下の FP となる)。この性能が、今回用いた CAD の基本性能と考えられる。しかし、関数 f_{SHARP} を用いて再構成された画像を用いた場合には、CAD の性能は大きく低下することがわかる。FP が 20 個のとき、TPR は約 0.3 であり、 f_{STD} の場合に比べ TPR が大きく低下する。そこで、画質変換処理によって、 f_{SHARP} を用いて再構成された画像を f_{STD} による画像の画質に変換して用いたところ、CAD の性能は大きく改善した (Fig. 5; $f_{SHARP} \rightarrow f_{STD}$)。元画像 (f_{STD}) を用いた場合とほぼ同じ性能を得られることが確認された。

CT 装置における MTF は、装置の空間分解能を表す指標として広く認識されている。しかし、その活用は装置の性能評価や、撮像・

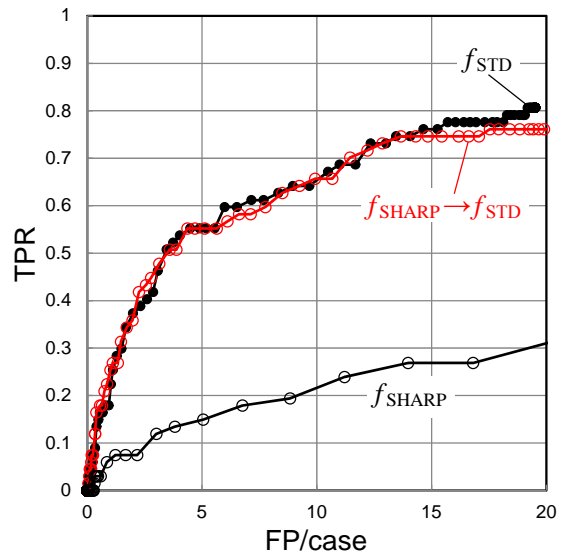


Fig. 5 FROC 解析の結果。関数 f_{SHARP} を用いて再構成された画像を用いた場合、CAD の性能は大きく低下する。この画像に画質変換処理を適用し、 f_{STD} による画質に変換することによって CAD の性能は改善し、元画像 (f_{STD}) を用いた場合の FROC 曲線とほぼ一致する。

再構成条件による画質の違いの評価というような、基礎的な検討の枠内に留まっている。MTF は画質に大きく関わる重要な因子であるにも関わらず、それを臨床画像で積極的に活用しようという研究は、国内外においてほとんど行われていない。今回考案した画質変換法は、MTF の情報を効果的に活用することによって、再構成関数に依存する画質を正確に変換することを可能にしたと考えられる。また、この画質変換法では精度の高い MTF の測定が必須である。我々はこれまでに、精度検証を伴う高精度な MTF の測定法を開発してきた。この測定法を利用することによって、信頼性の高い MTF の測定が可能であり、本研究における高精度な画質変換法の確立につながったと考える。

結論として、CT 装置で測定された MTF の情報を活用し、再構成された画像の画質を、他の再構成関数による画質 (CAD に最適な画質) に変換する手法を開発した。高い精度で画質変換が可能であり、考案法の有用性が認められた。この画質変換法を用いれば、各施設で臨床使用されてきた再構成関数を変更する必要がなく、CAD の導入が容易となる。肺がんの早期発見に向けた CT 検診の普及へとつながると考えられる。

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 6 件)

Ohkubo M, Wada S, Kanai S, Ishikawa K,

Marasinghe JC, Matsumoto T, Observer independent nodule-detectability index for low-dose lung cancer screening CT: a pilot study, Radiol Phys Technol, 査読有, Vol.6, No.2, 2013, pp.492-499
DOI: 10.1007/s12194-013-0225-2.
Kayugawa A, Ohkubo M, Wada S, Accurate determination of CT point spread function with high precision, J Appl Clin Med Phys. 査読有, Vol.14, No.4, 2013, pp.216-226
DOI: 10.1120/jacmp.v14i4.3905.
Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, Murao K, Matsumoto T, Niizuma S, Sone S, Wada S, Application of PSF-based virtual nodules to assess the performance of lung cancer CT screening CAD system, 査読有, Proceedings of Asia-Oceania Congress of Medical Physics, Vol.12, 2012, pp.249-252
Ohno K, Ohkubo M, Marasinghe JC, Murao K, Matsumoto T, Wada S, Accuracy of lung nodule density on HRCT: analysis by PSF-based image simulation, J Appl Clin Med Phys. 査読有, Vol.13, No.6, 2012, pp.277-292
DOI: 10.1120/jacmp.v13i6.3868.
Funaki A, Ohkubo M, Wada S, Murao K, Matsumoto T, Niizuma S, Application of CT-PSF-based computer-simulated lung nodules for evaluating the accuracy of computer-aided volumetry, Radiol Phys Technol, 査読有, Vol.5, No.2, 2012, pp.166-171
DOI: 10.1007/s12194-012-0150-9.
Ohkubo M, Wada S, Kayugawa A, Murao K, Matsumoto T, Image filtering as an alternative to the application of a different reconstruction kernel in CT imaging: feasibility study in lung cancer screening, Medical Physics, 査読有, Vol.38, No.7, 2011, pp.3915-3923
DOI: 10.1118/1.3590363.

[学会発表](計 17件)

Marasinghe JC, Ohkubo M, Wada S, Kobayashi H, Yoshida A, Murao K, Matsumoto T, Sone S, Validation of using PSF-based virtual nodules to assess the basic performances of lung cancer CT screening CAD system, CARS 2014, 2014.06.25-28, 福岡(発表確定)
Yoshida A, Ohkubo M, Kobayashi H, Marasinghe JC, Numan DMJ, Murao K, Matsumoto T, Sone S, Wada S, Influence of nodule offset in CAD performance evaluation of lung cancer CT screening, 第107回日本医学物理学会学術大会,

2014.04.10-13, 横浜
小林 元、大久保真樹、Marasinghe JC、村尾晃平、松本 徹、曾根脩輔、和田真一、PSF-based virtual nodule を用いた胸部 CT 検診 CAD 性能評価法の研究: ファントム模擬結節との比較による検証、第106回日本医学物理学会学術大会、2013.09.16-18、大阪
Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, Murao K, Matsumoto T, Niizuma S, Sone S, Wada S, Evaluation of lung CT CAD performance by using PSF-based virtual nodules: a validation of the methodology, ICMP 2013, 2013.09.01-04, UK
小林 元、Marasinghe JC、和田真一、大久保真樹、村尾晃平、松本 徹、曾根脩輔、CT 装置の空間分解能に基づいた virtual nodule の生成および胸部 CT 検診 CAD の性能評価への応用: ファントム模擬結節との比較による検証、第128回日本医学放射線学会北日本地方会、第73回日本核医学会北日本地方会、2013.06.14、新潟
Sunitha S, Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, Gohdo M, Wada S, Dependency of CT CAD performance on the distance between nodule and pulmonary vessel: a study by using virtual nodules, SLJCR-2013, 2013.03.29-31, Kandy, Sri Lanka
Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, Murao K, Matsumoto T, Niizuma S, Sone S, Wada S, Nodule detection by lung CT CAD: analysis by PSF-based image simulation with verification, SLJCR-2013, 2013.03.29-31, Kandy, Sri Lanka
Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, Murao K, Matsumoto T, Niizuma S, Sone S, Wada S, Application of PSF-based virtual nodules to assess the performance of lung cancer CT screening CAD system, 10th SEACOMP, 12th AOCMP, 2012.12.11-14, Chiang Mai, Thailand
小林 元、大久保真樹、Marasinghe JC、松本 徹、曾根脩輔、和田真一、PSF-CT 画像シミュレーションと胸部 CT 検診画像の融合を用いた CAD 性能評価の研究、第104回日本医学物理学会学術大会、2012.09.13-15、つくば
Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, Matsumoto T, Niizuma S, Sone S, Wada S, Performance assessment of CAD for lung cancer CT screening by applying PSF-based virtual nodules: influence on slice thickness and nodule density, 第104回日本医学物理学会学術大会, 2012.09.13-15, つくば
和田真一、大久保真樹、小林 元、Marasinghe JC、村尾晃平、松本 徹、新妻伸二、曾根脩輔、肺がん CT 検診用結節

自動検出 CAD の virtual nodule を用いた性能評価法の研究、第 13 回新潟肺ドック研究会、2012.07.14、新潟

和田真一、大久保真樹、小林 元、Chathari MM、村尾晃平、松本 徹、曾根脩輔、肺内結節検出 CAD システムの性能評価法の研究 - virtual nodule を用いた検討、第 103 回日本医学物理学会学術大会、2012.4.12-15、横浜

和田真一、大久保真樹、舟木 歩、村尾晃平、松本 徹、曾根脩輔、肺内結節検出用 CT-CAD の性能検証法の研究 - virtual nodule を用いた検討、第 19 回日本 CT 検診学会学術集会、2012.02.17-18、長野

Funaki A, Wada S, Ohkubo M, Murao K, Matsumoto T, Niizuma S, Accuracy evaluation of computer-aided volumetry software for lung nodule by computer-simulated nodules added onto CT images, 第 102 回日本医学物理学会学術大会、(第 6 回日韓医学物理学会合同大会、第 11 回アジア・オセアニア医学物理会議)、2011.9.29-10.01、福岡

和田真一、大久保真樹、松本 徹、村尾晃平、舟木 歩、金井 悟、粥川啓廣、CT 画像 MTF 高精度測定結果の応用 - nodule volumetry-CAD 精度検証及び CT 検診撮影条件の最適化、第 12 回新潟肺ドック研究会、2011.7.23、新潟

大野 健、大久保真樹、和田真一、3 次元 CT 画像シミュレーションを用いた肺結節 CT 値の臨床的評価における精度解析、第 101 回日本医学物理学会学術大会、2011.5.9-5.20 (震災のため Web 開催)

舟木 歩、大久保真樹、和田真一、村尾晃平、松本 徹、CT シミュレーション画像とファントム画像の融合による肺内結節体積測定ツールの精度評価、第 101 回日本医学物理学会学術大会、2011.5.9-5.20 (震災のため Web 開催)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

大久保 真樹 (OHKUBO Masaki)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：1 0 2 0 3 7 3 8

(2) 研究分担者

和田 真一 (WADA Shinichi)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：8 0 1 0 5 5 1 9

* 研究協力者

松本 徹 (MATSUMOTO Toru)

健生クリニック

村尾 晃平 (MURAO Kohei)