

機関番号：13101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20500389
 研究課題名（和文） X線 CT 装置の空間分解能を活用した定量的な画像診断能の向上に関する研究
 研究課題名（英文） Quantitative evaluation of small spherical structures in PSF-based CT image simulation
 研究代表者
 大久保 真樹（OHKUBO MASAKI）
 新潟大学・医歯学系・准教授
 研究者番号：10203738

研究成果の概要（和文）：X線 CT 装置の空間分解能指標である Point Spread Function (PSF) に基づいた 3 次元 CT 画像シミュレーションの手法を確立した。この手法を用いて、胸部 CT 画像における充実性の肺内結節を被写体関数に設定し、画像シミュレーションを行った。結節の濃度閾値と、それによって抽出される領域の体積との関係について解析した。結節の体積を正確に測定するための設定閾値については、結節の濃度が一定である場合でも大きさによって変動し、さらに画像再構成関数やスライス厚にも大きく依存することが定量的に示された。本研究における結果は、精度の高い画像診断につながる基礎データとしての有効性が示された。

研究成果の概要（英文）：A technique of three-dimensional (3D) CT image simulation based on the point spread function (PSF) was developed. We simulated CT images from the object functions of ideal spheres, assuming solitary pulmonary nodules, and calculated the sphere volumes with a simple threshold technique in which the relationship between the threshold and the volume was analyzed. We determined the threshold (defined as T') so that the sphere volume obtained in simulated image was equal to its object function (true volume). It was quantitatively shown that the T' changed with the object sphere diameter, the image reconstruction kernel, slice thickness and slice location while maintaining a constant density in the object. Our simulation technique and present results will be effective for basic research on 3D nodule analysis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学/生体材料学

キーワード：点広がり関数 (PSF)、X線 CT 装置、変調伝達関数 (MTF)、空間分解能

1. 研究開始当初の背景

CT 装置の空間分解能を表す物理指標として、MTF (Modulation Transfer Function)、あるいは PSF (Point Spread Function) や

SSP (Slice Sensitivity Profile) が広く認識されている。しかし、これらの指標の活用は、装置の性能評価や撮像・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。空間分解能は、画像

の特性に大きく関わる重要な要因であるにもかかわらず、それを臨床画像で積極的に活用するような研究は、国内外においてほとんど行われていない。

CT 装置の空間分解能に関する物理指標を活用することにより、CT 画像における定量的な解析や計測の精度を向上させ、臨床画像における診断精度を向上させることができる可能性がある。例えば、肺内結節の大きさや濃度は悪性度に関連する重要な因子であり、精度の高い定量化が必須である。特に、マルチスライス CT の普及に伴いより小さな結節が検出されるようになり、その定量測定に関する精度解析が要求されている。あるいは、CT アンギオグラフィにおいて狭窄した血管径や動脈瘤の大きさは、治療方針を決定するための重要な指標である。

先行研究では、皮質骨などの薄い板状の構造物を想定し、PSF を 1 次元の関数として扱った CT 画像シミュレーションが行われてきた。皮質骨の厚さは、骨粗鬆症の CT 画像診断の際の指標とされており、その計算画像を用いて皮質骨の厚さや濃度の測定精度が解析されている。我々も同様な手法で、副鼻腔疾患の上顎洞悪性腫瘍と慢性副鼻腔炎との鑑別に用いられている上顎洞骨壁の厚さの測定精度に関する評価を行ってきた。しかし、この手法では対象物が薄い板状の構造物に限定されてしまう。前述の肺内結節や血管病変のように、3次元(3D)での検討が必要な病変は解析することができない。近年、マルチスライス CT 装置の普及に伴い薄いスライス厚の画像が利用される機会が増え、精密な3次元表示や多断面再構成なども行われている。画像シミュレーションを用いた、これまでのスキャン平面における被写体の評価だけではなく、体軸方向における情報を加味した3次元的な定量評価に関する検討の進展が期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、胸部 CT 画像を想定した。肺内結節の形状や広がり認識し精度の高い診断を行ったり、3次元的な大きさや体積を正確に評価する際に、濃度閾値が重要な因子の一つになる場合が多い。そこで、結節を想定した球体を被写体関数に設定し、PSFを用いた3D画像シミュレーションに基づいて、閾値設定と、それによって抽出される領域の体積との関係について、基礎的な検討を行った。まず、シミュレーション画像を用いて正確な体積測定のための閾値設定について検討した。

また、一般に対象物の長さや幅などを測定する際に半値幅 (full width at half maximum : FWHM) が利用されていることから、抽出された結節における濃度の半値 (half maximum) を閾値に設定したときに算出される体積の精度を評価した。これらの結果が、画像再構成関数やスライス厚、およびスライス位置によって、どのように変化するかを検討した。

3. 研究の方法

被写体関数として、肺野における充実性の結節を想定し、直径 3~15 mm の球体 (理想球) を設定した。結節の濃度は、淡い陰影を仮定し-600 HU、背景領域 (肺野) は-900 HU に設定した。CT 装置で測定された PSF および SSP を用いて、シミュレーション画像を算出した。画像のスライス厚とスライス間隔が等しいことを仮定し、スライス位置として Fig. 1 に示す 2 通りの場合を想定した。Fig. 1 の “location A” は体軸方向における球体の中心に位置するスライスが存在する場合で、“location B” は球体の中心位置が 2 枚のスライス位置の間になった場合である。スライス厚 (およびスライス間隔) は、1 mm と 2 mm の 2 種類を設定した。画像再構成関数は、肺野標準型 (FC50) と肺野高分解能型 (FC52) を用いた。

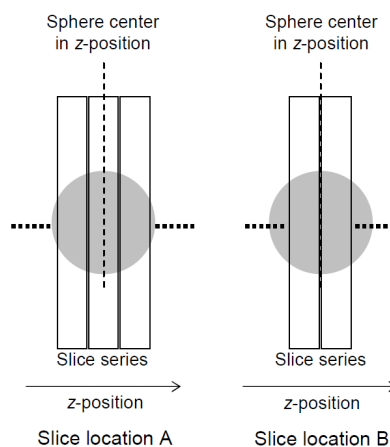


Fig. 1 結節とスライス位置との関係

得られた画像を用いて閾値処理を行い抽出領域の体積を算出した。抽出領域の体積が被写体関数における体積 (理論値: V_{true}) と等しくなるための閾値の設定値 (T' とおく) を求め、球体の直径によってどのように T' が変化するかを調べた。また、体軸方向における球体の中央に最も近いスライス位置の画像

を取り出し、その画像における濃度の最大値と最小値の平均を求め半値として算出した。この値は、一般に知られている FWHM の考え方における“half maximum”に相当するものである。球体の直径によってどのように半値が変化するかを調べた。

各径の球体について求められた半値を閾値に設定し、各球体の体積を算出した（これを V_h とおく）。 V_h と被写体関数の体積（前述の V_{true} に相当）との相対的な差を次式によって算出し、これを V_h error と定義する。

$$V_h \text{ error (\%)} = |V_h - V_{true}| / V_{true} \times 100$$

この値は、半値を閾値に適用することによって算出された体積の測定誤差を表す。

4. 研究成果

球体を被写体関数に設定したシミュレーション画像を用いて、濃度閾値処理によって抽出される領域の体積が、被写体関数の体積と等しくなるための設定閾値 T' について調べた (Fig. 2)。球体の直径が大きくなるにしたがって、 T' は変動しながら被写体関数の半値 (-750 HU) に近づいていく。このとき、 T' が減少から増加傾向に転じる現象が周期的に現れた。このような T' の変動は、スライス位置 (Fig. 1 の location A、B) に依存し、スライス厚が 2 mm の場合および再構成関数が FC52 の場合に大きくなった。また、抽出された球体における濃度の半値の変化は、球体の直径が小さくなると被写体関数における半値との差が大きくなる傾向がみられ、この特

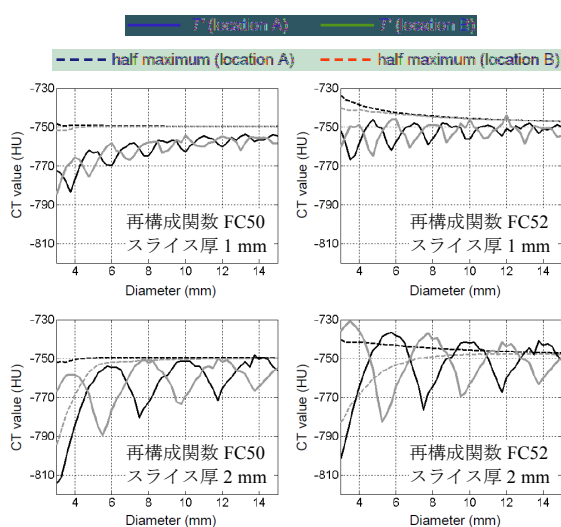


Fig. 2 体積算出に適する閾値 T' と抽出された球体における濃度の半値

徴はスライス厚が 2 mm の場合および再構成関数が FC52 の場合に大きくなる傾向がみられた。

Fig. 2 に示す閾値 T' の周期的な変動を考察するために、閾値処理によって抽出された領域におけるスライス枚数（体積の算出に寄与するスライス枚数）の変化を調べた結果を Fig. 3 に示す。スライス厚とスライス間隔はいずれも 2 mm の設定であり、直径 3~15 mm の結節の体積算出に寄与するスライス枚数が 1~8 枚と少ない。結節の増大に伴いスライス枚数が段階的に増加するが、この増加の周期が長く（横軸に示す結節の直径が約 4 mm 増加すると、スライス枚数も増加する）、 T' の変動の周期にはほぼ一致していることがわかる。このようなスライス枚数の変化が、 T' の周期的な変動の要因になったものと思われる。結節が大きい、あるいは、スライス厚が薄い場合には、抽出領域におけるスライス枚数が多くなるので、枚数が増加した際の影響は相対的に小さく、 T' の変動は少なくなったと思われる。また、この変動は再構成関数 FC52 で顕著になることから、空間分解能が高い（あるいは輪郭強調効果が強い）場合に変動が大きくなると考えられる。

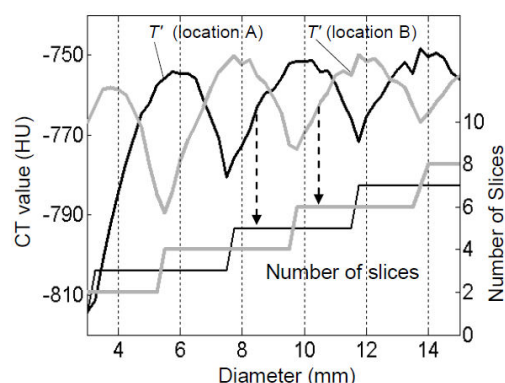


Fig. 3 閾値 T' の周期的な変動 (Fig. 2) に関する考察 (再構成関数 FC50、スライス厚 2 mm)

各径の球体について求められた半値 (Fig. 2) をそれぞれ閾値に設定し、抽出領域の体積を算出した。このときの抽出された領域の一例を Fig. 4 に示す (再構成関数 FC50、スライス厚 2 mm の場合である)。スライス位置 (Fig. 1) によって球体の抽出が異なり、抽出領域に大きな差異がみられる。

Fig. 4 に示す画像において、スライス位置が location A の場合には、抽出領域の体積は約 111 mm³ となり、被写体関数の体積 (約 113

mm³) に近くなるが、location B では約 94 mm³ となり誤差が大きい。このような誤差を前述の式から V_h error として算出し、球体の直径による変化を調べた (Fig. 5)。 V_h error は、いずれのスライス位置 (Fig. 1) においても、球体の直径が増加すると変動しながら減少した。この変動は、スライス厚が 2 mm の場合に顕著であり、スライス位置によって V_h error は大きく異なった。スライス位置が同じである場合には、再構成関数が FC52 の場合に V_h error が減少する傾向がみられた。

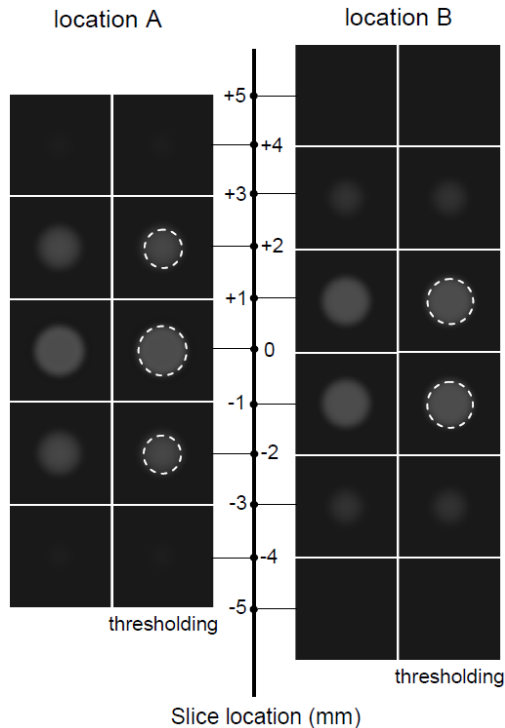


Fig. 4 閾値処理による抽出領域

Fig. 5 に示される体積の測定誤差 V_h error は、スライス厚を薄くし高空間分解能 (輪郭協調) 型の再構成関数を用いた場合に低くなる傾向がみられたが、結節の大きさやスライス位置によって変動した。この変動は、Fig. 2 で示す閾値の変動に起因するものと考えられる。すなわち、結節の体積を正確に測定するためには、結節の大きさやスライス位置によって閾値の設定を変える必要があるが、画像から算出した半値はそれを反映した値になっておらず (Fig. 2)、体積測定精度が変動したと考えられる。ただし、結節が大きくなると、スライス位置による測定精度の変動は小さくなった。スライス厚 1 mm の画像を用いるとき (Fig. 5 上段)、Fig. 1 のいずれのスライス位置である場合においても体積測定誤差が 10% 以下になる結節の直径は、再構成関

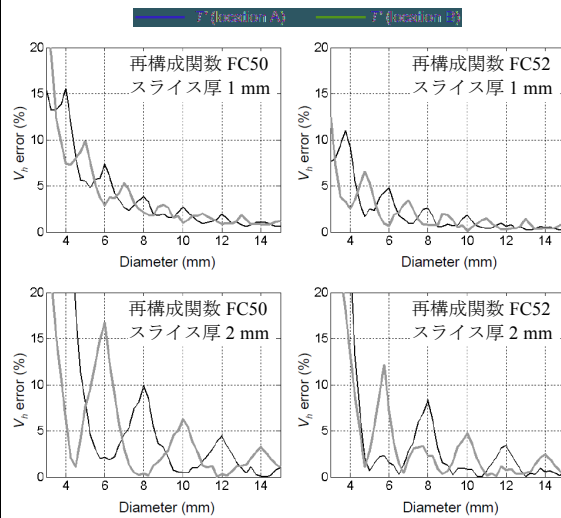


Fig. 5 半値を閾値に適用することによって算出された体積の測定誤差

数 FC50 を用いるときには約 5 mm 以上、FC52 では約 4 mm 以上と予想される。直径が約 4 mm 未満の結節の体積測定は、スライス位置によって誤差が 20% 以上に大きくなる場合もあり、信頼性や再現性が低下すると考えられる。スライス厚 2 mm の画像を用いる場合には (Fig. 5 下段)、スライス位置による精度の変動が非常に大きい。Fig. 1 のいずれのスライス位置である場合においても体積測定誤差が 10% 以下になる結節の直径は、再構成関数 FC50 を用いるときには約 8 mm 以上、FC52 では約 6 mm 以上と予想される。これらの結果は、臨床における定性的・半定量的な体積評価においても参考となりうる。

結論として、胸部 CT 画像における肺内結節を想定した 3 次元画像シミュレーションを行った。結節の体積を正確に算出するための設定閾値は、結節の濃度が一定である場合でも大きさによって変動し、さらに画像再構成関数、スライス厚、およびスライス位置にも大きく依存することが定量的に示された。このような閾値設定に関する基礎的な特性は、濃度の半値を閾値に設定したときの体積評価における精度解析の際にも考慮する必要性のあることが示され、精度の高い診断につながる基礎データとしての有効性が示唆された。

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 7 件)

- ① Ohkubo M, Wada S, Kayugawa A, Matsumoto T, Murao K, Image filtering as an alternative to the application of a different reconstruction kernel in CT imaging: Feasibility study in lung cancer screening, Med Phys, 査読有, Vol.38, 2011, No.6 掲載決定
- ② 大野 健、舟木 歩、大久保真樹、和田真一、粥川啓廣、松本 徹、村尾晃平、肺結節体積評価のための濃度閾値設定に関する 3 次元 CT 画像シミュレーション解析、医学物理、査読有、Vol.30、2010、pp.39-48
- ③ 粥川啓廣、大久保真樹、和田真一、松本 徹、村尾晃平、山本眞司、SSP を用いた CT 画像の体軸方向空間分解能変換、医学物理、査読有、Vol.30、2010、pp.3-9
- ④ 和田真一、松本 徹、西澤かな枝、大久保真樹、低線量 MDCT 検診における画質と線量の最適化のための一考察、CT 検診、査読無、Vol.16、2009、pp.187-194
- ⑤ Kayugawa A, Wada S, Ohkubo M, Matsumoto T, Murao K, Accurate determination of CT PSF with high precision, IFMBE Proceedings, 査読無, 25/ II, 2009, pp.806-809
- ⑥ Ohkubo M, Wada S, Ida S, Kunii M, Kayugawa A, Matsumoto T, Nishizawa K, Murao K, Determination of point spread function in computed tomography accompanied with verification, Med Phys, 査読有, Vol.36, 2009, pp.2089-2097
- ⑦ Ohkubo M, Wada S, Kunii M, Matsumoto T, Nishizawa K, Imaging of small spherical structures in CT: simulation study using measured point spread function, Med Biol Eng Comput, 査読有, Vol.46, 2008, pp.273-282
- 2011.2.18-19、岡山
- ③ 舟木 歩、大久保真樹、和田真一、大野 健、粥川啓廣、村尾晃平、松本 徹、3 次元 CT 画像シミュレーションを用いた肺内結節の濃度閾値処理による体積測定精度 (その 2. 結節中心位置におけるボクセル offset の影響)、第 100 回日本医学物理学会学術大会、2010.9.24-25、東京
- ④ 樫村康弘、大久保真樹、粥川啓廣、金井悟史、今野広二、松本 徹、和田真一、3D-PSF シミュレーション法を用いた肺内結節画像と撮影・再構成条件の關係の検討、第 100 回日本医学物理学会学術大会、2010.9.24-25、東京
- ⑤ 金井悟史、大久保真樹、粥川啓廣、樫村康弘、和田真一、他 7 名 (2 番目)、CT 画像シミュレーションと統計学的手法を用いた低線量 CT 検診の撮影条件決定法、第 100 回日本医学物理学会学術大会、2010.9.24-25、東京
- ⑥ 大野 健、舟木 歩、大久保真樹、和田真一、粥川啓廣、松本 徹、村尾晃平、3 次元 CT 画像シミュレーションを用いた肺内結節の濃度閾値処理による体積測定の精度評価、第 99 回日本医学物理学会学術大会、2010.4.9-11、横浜
- ⑦ 粥川啓廣、和田真一、大久保真樹、松本 徹、村尾晃平、精度検証を伴った CT MTF 決定法における再現性の検討、第 99 回日本医学物理学会学術大会、2010.4.9-11、横浜
- ⑧ 和田真一、松本 徹、村尾晃平、粥川啓廣、大久保真樹、LIDC 画像を用いた肺がん CT 検診 CAD システムのロバスト化効果の検討、第 17 回日本 CT 検診学会学術集会、2010.02.12-13、長崎
- ⑨ Kayugawa A, Wada S, Ohkubo M, Matsumoto T, Murao K, Accurate determination of CT PSF with high precision, MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING WORLD CONGRESS, 2009, 2009.09.07-12, Munich, Germany
- ⑩ 和田真一、松本 徹、西澤かな枝、村尾晃平、大久保真樹、他 3 名 (7 番目)、精度管理された胸部 CT 検診の普及を目指す研究プロジェクトについて、第 97 回日本医学物理学会学術大会、2009.04.17-19、横浜
- ⑪ 粥川啓廣、和田真一、大久保真樹、松本 徹、村尾晃平、山本眞司、SSP を用いた CT 画像の体軸方向分解能変換に関する研究、第 97 回日本医学物理学会学術大会、

[学会発表] (計 16 件)

- ① 金井悟史、和田真一、大久保真樹、粥川啓廣、樫村康弘、大野 健、舟木 歩、他 6 名 (3 番目)、PSF-CT 画像シミュレーションと統計学的手法を用いた低線量 CT 検診撮影条件決定法の検証、第 18 回日本 CT 検診学会学術集会、2011.2.18-19、岡山
- ② 舟木 歩、和田真一、大久保真樹、村尾晃平、松本 徹、PSF-CT 画像シミュレーションと人体ファントム画像融合を用いた肺内結節体積測定精度評価の研究、第 18 回日本 CT 検診学会学術集会、

2009.04.17-19、横浜

- ⑫ 金井悟史、武田聡司、大棒秀一、大久保真樹、和田真一、64列 MDCT 肺がん検診の撮影条件の再検討、第 16 回日本 CT 検診学会学術集会、2009.02.13-14、横浜
- ⑬ 和田真一、大久保真樹、國井正之、伊田 聡、他 4 名 (2 番目)、MDCT 画像における肺内結節画像の撮影・再構成条件による変化(4列～64列 MDCT 装置における 3D-PSF シミュレーション)、第 16 回日本 CT 検診学会学術集会、2009.02.13-14、横浜
- ⑭ 和田真一、松本 徹、西澤かな枝、大久保真樹、他 4 名 (7 番目)、8 列及び 64 列 MDCT を用いた低線量 CT 検診の撮影・再構成条件決定に関する検討、第 16 回日本 CT 検診学会学術集会、2009.02.13-14、横浜
- ⑮ 伊田 聡、和田真一、大久保真樹、他 7 名 (8 番目)、PSF 画質変換による CT-CAD システムのロバスト性評価、第 95 回日本医学物理学会学術大会、2008.04.04-06、横浜
- ⑯ 山下祐美恵、和田真一、西澤かな枝、松本 徹、大久保真樹、他 3 名 (7 番目)、各社 CT 装置の X 線スペクトル測定と実効エネルギー評価、第 95 回日本医学物理学会学術大会、2008.04.04-06、横浜

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・准教授
研究者番号：10203738

(2) 連携研究者

和田 真一 (WADA SHINICHI)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号：80105519

* 研究協力者

松本 徹 (MATSUMOTO TORU)
健生クリニック

村尾 晃平 (MURAO KOHEI)
富士通(株)