

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：33703

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K09734

研究課題名（和文）組織を透過したX線のエネルギー解析による定量的画像診断法の確立

研究課題名（英文）Quantitative imaging based on the transparent x-ray energy analysis of tissue

研究代表者

福井 達真（Fukui, Tatsumasa）

朝日大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：70770121

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：新しいフォトンカウンティング型X線検出器により被写体の顎骨を透過したX線のエネルギーを分析することで、顎骨の骨密度（骨量）と実効原子番号を正確かつ簡便に求める方法を検討した。ライン状の検出領域を備えたフォトンカウンティング型X線検出器によりスキャノグラム方式で歯科X線撮影をおこなうポータブル装置を作り撮影実験をおこなった。

3種類のX線エネルギー領域（BIN）で求められた値の比率から、透過X線エネルギー解析によりビームハードニングの程度を求めて補正することにより、画像上で同じ実効原子番号の硬組織領域を抽出して骨密度を解析する方法が有効であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科では、X線セファログラムを用いる矯正や小児歯科、および近年盛んになったインプラント治療を除いて、画像から骨を「計測・評価」することは普及していない。本研究の提案手法により顎骨の骨密度を簡便に評価できるようになれば、歯科臨床における骨の定量的計測・評価の普及が期待できる。また、X線エネルギー解析の感度および精度をさらに向上させることで、炎症や腫瘍の検出への応用の可能性もある。

研究成果の概要（英文）：We proposed a method to determine the bone mineral density and the effective atomic number in the jaws by analyzing the energy of transmitted X-rays using a new photon counting X-ray detector. We developed a photon counting type X-ray detector device with a line-shaped detection area that takes intraoral X-ray images by the scanogram technique. By calculating and correcting the degree of beam hardening and by calculating the ratio of the values between three different X-ray energy regions (BIN), an image to show the hard tissue region with the same effective atomic number can be obtained. It revealed that the method of extracting and analyzing the bone mineral density is available.

研究分野：歯科放射線学

キーワード：X線 エネルギー フォトンカウンティング 骨密度 実効原子番号

1. 研究開始当初の背景

歯と骨の疾患を治療するのが歯科の役割である。歯科医は、口腔内から歯を直視し、歯を抜いたり歯肉を切開したりすれば骨に直接接触ることができる。また、口内法(デンタル)やパノラマX線撮影を用いれば、歯と骨の形態と大きさを詳細に観察することができる。

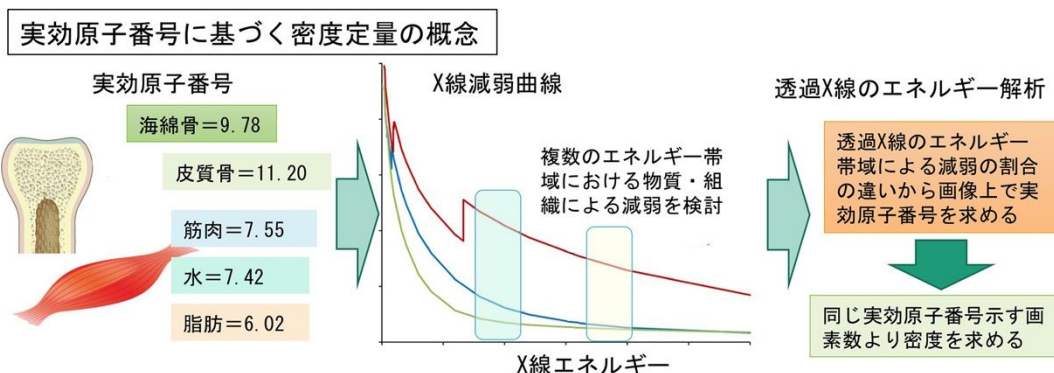
そのため、大病院の口腔外科を除く一般の歯科では、X線セファログラムを用いる矯正や小児歯科、および近年盛んになったインプラント治療を除いて、画像から骨を「計測・評価」することはほとんどおこなわれてこなかった。

これに対して医科では、歯科ほど簡単に「骨に直接接触れる」ことができない事情もあり、画像を用いた骨の計測・評価がより一般的に行われている。その代表例が、最も信頼性が高い骨密度の計測法とされているDEXA(Dual-Energy X-ray Absorptiometry)法、およびX線画像濃度から骨密度を求めるMD(Micro Densitometry)法である。

歯科では、歯槽骨の骨密度をMD法で計測する試みも報告されている。しかし、これら骨の計測・評価は、適切な専用ツール(機器やソフトウェア)がないために一般歯科臨床に普及するに至っていない。

我々は、開発中の新規フォトンカウンティング型X線検出器により被写体の顎骨を透過したX線のエネルギーを分析することで、顎骨の骨密度(骨量)と実効原子番号を正確かつ簡便に求めることが可能ではないかと考えた。

物質を透過するX線の減弱量とX線エネルギーの関係を表す減弱曲線が物質によって異なることはよく知られている。X線の減弱には、実効原子番号の他に被写体の「厚さ」と「密度」、およびX線の線質硬化(ビームハードニング)やX線減弱が不連続的に変化するK吸収端が関連する。ここで、透過X線エネルギー解析によりビームハードニングの程度が求められれば、それらを適切に補正することができ、画像上で同じ実効原子番号の硬組織あるいは軟組織領域を抽出して密度を解析する事ができる。



2. 研究の目的

本研究の目的は、開発中の新規フォトンカウンティング型X線検出器により被写体となる顎骨や歯を透過したX線のエネルギーを分析することで、顎骨の骨密度(骨量)と実効原子番号を正確かつ簡便に求めることにある。

3. 研究の方法

撮影実験システムの構築: 幅4mmのライン状の検出領域を備えたフォトンカウンティング型X線検出器を用い「スキャノグラム」方式で歯科X線撮影をおこなうポータブル装置を開発した。

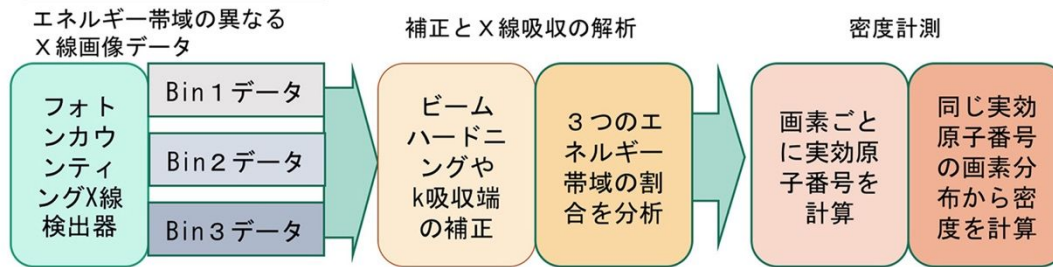
試作撮影システムによる撮影: ポータブル装置により、最適な結果を得るための管電圧、電流、撮影時間、および画像再構築のアルゴリズムに関して、撮影実験を繰り返しつつ検討した。

X線エネルギー情報から実効原子番号と骨密度を求める検討: 透過X線エネルギー解析による被写体の実効原子番号を反映した画像の表示法、硬組織と何組織の弁別法、および骨密度(BMD)計測法について検討した。

;以下のサンプル被写体により撮影実験をおこなった。

- A: 骨塩定量ファントム【骨密度(BMD) 200、400、600、800mg/cm²の皮質骨タイプ】
- B: 口内法X線画像 解像度・コントラスト評価ファントム
- C: ヒト抜去歯および乾燥下顎骨標本

データ解析の概念



4. 研究成果

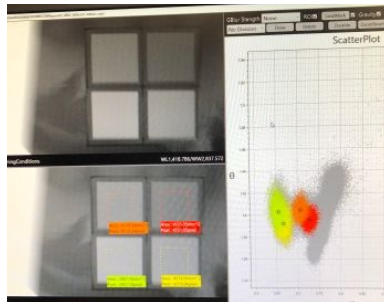
フォトンカウンティング型X線検出器により、口内法X線撮影で実用に耐える3 LP/mmの解像度の画像が得られた。

物質を透過するX線の減弱量とX線エネルギーの関係を表す減弱曲線が物質によって異なる。X線の減弱には、実効原子番号の他に被写体の「厚さ」と「密度」、およびX線の線質硬化（ビームハードニング）やX線減弱が不連続的に変化するK吸収端が関連する。本研究では3種類のX線エネルギー領域（BIN）で求められた値の比率から、透過X線エネルギー解析によりビームハードニングの程度を求めて補正することにより、画像上で同じ実効原子番号の硬組織領域を抽出して骨密度を解析する方法が有効であることがわかった。

骨塩定量ファントム



携帯型照射装置で撮影



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Cheonghae Lee, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Sota Goto, Yuki Kanazawa, Akitoshi Katsumata, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada	4. 巻 170
2. 論文標題 Effective atomic number image determination with an energy-resolving photon-counting detector using polychromatic X-ray attenuation by correcting for the beam hardening effect and detector response	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109617
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apradiso.2021.109617	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Yuki Kanazawa, Akitoshi Katsumata, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada	4. 巻 2019
2. 論文標題 Feasibility study of photon counting detector for producing effective atomic number image,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE(MIC)	6. 最初と最後の頁 4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/NSS/MIC42101.2019.9059919	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Takashi Asahara, Akitoshi Katsumata, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada
2. 発表標題 A Novel Algorithm for Material Identification Based on a Photon Counting Technique -Toward the Development of a Quantitative Plain X-ray Diagnosis Using an Effective Atomic Number Image-
3. 学会等名 第76回日本放射線技術 学会総会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Akitoshi Katsumata, Yuki Kanazawa, Shuji Koyama, Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada
2. 発表標題 Photon counting technique: How to analyze a novel quantitative image?,
3. 学会等名 RSNA2019 Education Exhibit Presentation, Chicago, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Natsumi Kimoto, Hiroaki Hayashi, Takumi Asakawa, Takashi Asahara, Tatsuya Maeda, Yuki Kanazawa, Akitoshi Katsumata,
2. 発表標題	Shuichiro Yamamoto, Masahiro Okada : Feasibility study of photon counting detector for producing effective atomic number image,
3. 学会等名	IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Manchester, (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	紀本夏実, 林裕晃, 浅川巧, 浅原孝, 前田達哉, 金澤裕樹, 勝又明敏, 山本修一郎, 岡田雅宏
2. 発表標題	医療用連続X線を用いたフォトンカウンティング検出器による実効原子番号画像,
3. 学会等名	第2回量子線イメージング研究会, 2019年9月
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	紀本夏実, 林裕晃, 勝又明敏, 山本修一郎
2. 発表標題	歯科X線診断の定量解析法の開発: フォトンカウンティング型イメージング検出器,
3. 学会等名	日本歯科放射線学会第60回学術大会, 2019年6月.
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Ito H, Igarashi C, Wakae-Morita S, Yoshida T, Maeda K, Fukui T, katsumata A, Hosoya N, Kobayashi K.
2. 発表標題	Quantitative Analysis on Image Density of Digital Intraoral X-Ray Images Trial Using Evaluation of Apical periodontitis
3. 学会等名	12th Asian Congress of Oral and Maxillofacial Radiology (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 Katsumata A, Fujita H, Hayashi H.
2. 発表標題 Importance of quantitative evaluation of jaw bones.
3. 学会等名 2018 Computer Assisted Radiology and Surgery (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Hiroaki HAYASHI, Natsumi KIMOTO, Takashi ASAHARA, Takumi ASAKAWA, Cheonghae LEE, Akitoshi KATSUMATA	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 119
3. 書名 Photon Counting Detectors for X-ray Imaging: Physics and Applications	

1. 著者名 Hiroaki HAYASHI, Natsumi KIMOTO, Takumi ASAKAWA, Akitoshi KATSUMATA : edited by Leon V. Berhardt,	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Nova Science Publishers, Inc., 2019.	5. 総ページ数 200
3. 書名 IMPORTANCE OF CONSIDERING THE PHYSICS OF A MULTI-PIXEL-TYPE PHOTON COUNTING DETECTOR TOWARDS THE DEVELOPMENT OF A NOVEL MEDICAL X-RAY IMAGING METHOD BASED ON MATERIAL IDENTIFICATION,	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 裕晃 (HAYASHI HIROAKI) (30422794)	金沢大学・保健学系・准教授 (13301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	飯田 幸弘 (IIDA YUKIHIRO) (60350873)	朝日大学・歯学部・講師 (33703)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関