

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月7日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22592199

研究課題名（和文）実験動物用マイクロCT体動同期画像再構成法による再生骨の精密定量

研究課題名（英文）Reduction of moving artifacts caused by breathing in rats for *in vivo* micro-CT

## 研究代表者

新井 嘉則 (ARAI YOSHINORI)

日本大学・歯学部・特任教授

研究者番号：20212607

研究成果の概要（和文）：実験動物用マイクロCTで、体動による偽像が生じていた。そこで体動に同期して、それを低減することを目的とした。本研究では、ラットの歯を実験動物用マイクロCTで撮影し、呼吸による体動のあるものを選択した。この投影データから、歯の位置に相当する部位のm-modeの画像を再構成し、呼吸による体動の量を計算して、投影データを補正した。その処理後に、CT画像を再構成した。その結果、体動で生じる偽像を低減することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：This study developed software for the reduction of moving artifacts due to breathing in rats by means of teeth tracking when CT images were taken using *in vivo* micro-computed tomography (CT).

Raw projection data from the CT of teeth in rats were chosen retrospectively, which were then correlated with moving artifacts due to breathing. An m-mode image was reconstructed from the projection data, which was used to calculate motion as a function of position. The projection data were corrected and CT images were reconstructed using the corrected projection data.

The artifacts were reduced using this software.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：歯科医学

科研費の分科・細目：歯科医用工学・再生歯学

キーワード：マイクロCT 実験動物 骨 歯 同期

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 汎用のマイクロCTは、試料が回転テーブルで回転し、X線管球とセンサーが固定されている。しかし、これでは実験動物の撮影は難しかった。なぜなら、動物は回転していくうちに、X線発生器に衝突してしまい、実験動物は回転テーブルからずれ落ちてしまつて撮影が失敗していた。

このため、実験動物に特化した専用のマイクロCTが開発された。この装置では、麻酔をされた動物がベッド上の試料台に乗せられた。X線発生器とセンサーは医科用のCTと同じように、動物の周囲を回転した。その結果、実験動物用マイクロCTでは麻酔をした実験動物をベッド状の試料台の上に寝かせるだけで、簡単に撮影することが可能とな

った。このとき、動物を固定は不要で、ただ、そこに置くだけで撮影が可能であった。

しかし、撮影時間が 17 秒であるという問題があった。このため、CT 撮影中に呼吸による体動があると CT 画像にボケが生じてしまった。

脛骨の撮影では、呼吸の体動で動かないように脛骨を固定することが出来たので、ボケを生じることがなかった。しかしながら、呼吸による体動があるので、頭部を完全に動かないように固定することは困難であった。このため、頭部にある歯を高い倍率で撮影する場合は、頭部の動きによって画質が低下していた。これは特に定量測定時には無視できないことであった。顎骨の骨再生などを観察する場合に問題となっていた。

## 2. 研究の目的

実験動物用マイクロ CT での実験動物を麻酔下において頭部の撮影をする場合、呼吸による体動によってボケが生じ、定量測定を困難にしていた。そこで、本研究ではその影響を低減するソフトウェアの開発し、体動によって生じていたボケを除去することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究用の CT 画像の選択

過去に日本大学歯学部で撮影された *in vivo* micro CT 画像の中から、下顎の歯に体動による偽像のあるケースが、本研究用の CT 画像として選択された。再構成した画像には体動による偽像があり、これを元画像とした。

選択された実験動物用マイクロ CT の投影データは、2012年1月27日に撮影された9週齢のF344ラットであった。このラットは1.5%イソフラレンと100%酸素で麻酔をされていた。撮影部位は下顎の歯であった。

以下に撮影条件を示す。X線管の電圧が90 kV、電流が100  $\mu$ A、撮影時間が17秒であった。投影データは512フレームで360度であった。Voxel sizeは30  $\mu$ mの立方体であった。FOVは高さ14mm直径14mmであった。

### (2) 体動による偽像の低減

ソフトの開発はMicrosoft VisualStudio 2010 C#で行われた。投影画像の歯の上に、直線が回転軸Zと並行にセットされた。この歯は、CT撮影中にX線管球と2次元センサーが回転していくときに、投影画像上を移動していく。投影データ上の歯と回転中心間の距離を示す直線の位置をxとすると、xは歯と回転中心の距離r、回転角速度 $\omega$ 、時間t、

位相 $\theta$ で  $x=r \sin(\omega t+\theta)$  とのように表示される。次に、この  $r \sin(\omega t+\theta)$  で示される直線xのライン上のm-mode画像を制作した。

制作されたm-mode画像は、回転軸のZ方向の歯に設定した直線上の輝度の変化を示す。このm-modeの画像は、投影データを撮影している間にZ方向に歯が移動した量を反映した波として表示された。体動による歯の移動量はm-modeのZ方向の波形変化をトレースすることで測定された。波形の形状のトレースには最小二乗法を使用した。

トレースされた歯の動きから、投影データを補正した。ここでは、投影データをZ方向に、歯の移動を相殺するように移動した。補正された投影画像からm-modeの画像を再構成した。そして、歯の動きが減少しているかを確認した。最終的に、補正された投影データから、CT画像を再構成した。このCT画像と元のCT画像を比較した。

## 4. 研究成果

### (1) 関心領域の設定

図1は関心領域の直線を示す。この直線は回転軸Zに平行で歯の上に設定された。そのサインカーブ " $x=r \sin(\omega t+\theta)$ " は投影データが撮影されている間に歯が移動するカーブを示している。

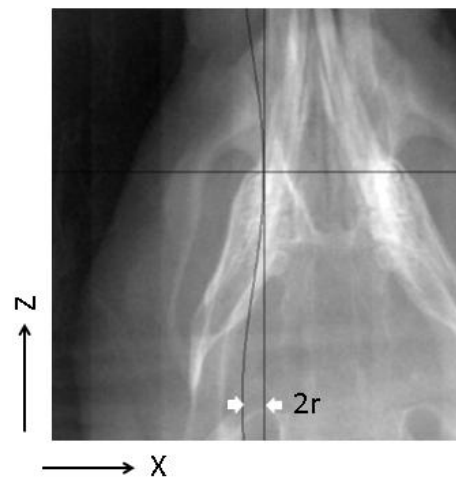


図1 投影データ上に関心領域の直線を設定

### (2) m-mode 画像の制作と体動の検出

図2は垂線xのライン上のm-mode画像を示す。水平方向は時間tを表す。その波形は体動による歯の動きを表す。図2上の白い波形は最小二乗法でfittingをして求めた波形のトレース結果を示す。この波形は呼吸による歯の動きを示す。

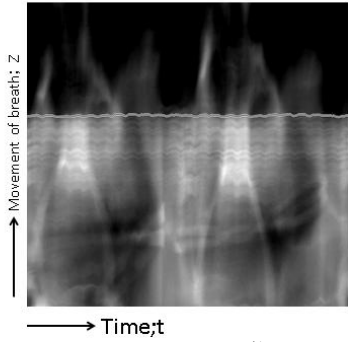


図2 m-mode の画像  
白いラインは体動を  
トレースしたもの

### (3) 体動補正

図3に補正後の m-mode 画像を示す。m-mode の波形にしたがって、回転軸 Z と平行に投影データを移動させた。補正後の投影データで再構成された m-mode の波形は、元の m-mode の波形より小さくなっていった。これは、元の投影データの体動が補正されていることを示していた。

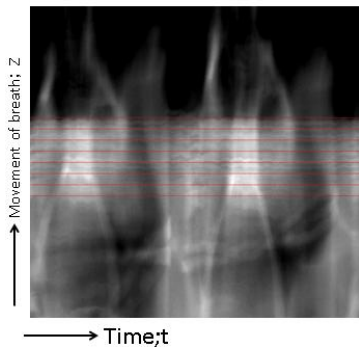


図3 補正後の m-mode の画像  
体動の補正によって、体動を  
示す波形が小さくなっていった。

### (4) 補正後の CT 画像

図4から図6に補正された投影画像で再構成した CT 画像を示す。それらの画像は元の画像に比較してよりシャープになっていた。PDL、歯髄や白線がシャープに見えた。さらには、放射状の軟組織に生じた偽像も低減していた(図6)。

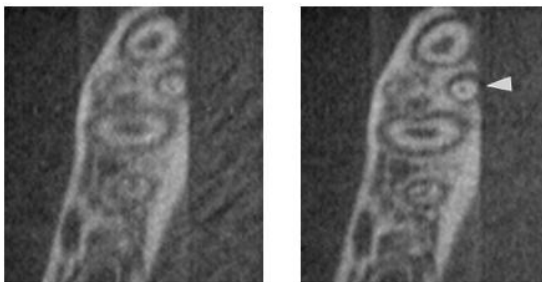


図4 補正前後の画像 I  
左側が元画像、右側が補正後

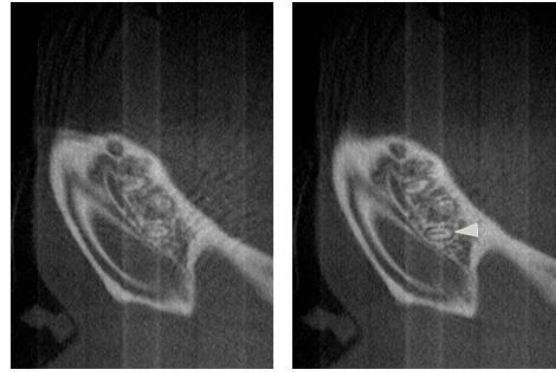


図5 補正前後の画像 II  
左側が元画像、右側が補正後

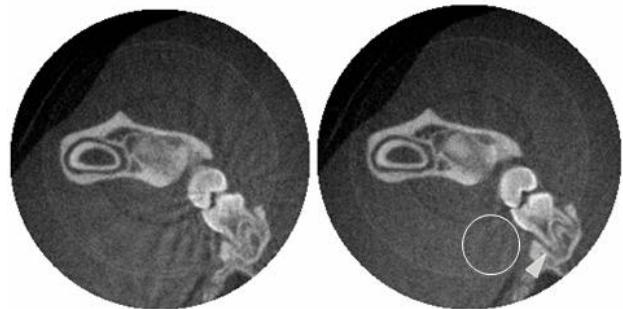


図6 補正前後の画像 III  
左側が元画像、右側が補正後  
放射状の軟組織に生じた偽像も  
低減していた(白丸)。

### (5) 本研究の成果のインパクト

体動を補正する方法にはいくつかの方法が考えられた。一つは動物の動きを可視光線のカメラでとらえる方法であった。この方法は、その画像から動きを解析し、その解析結果から CT の投影画像を補正する方法であった。しかし、この方法にはいくつかの問題点があった。実験動物用マイクロ CT にはカメラを設置するスペースがなく、設置が困難であった。なぜなら、そのスペースは X 線発生装置とセンサーが回転し、放射線防護を行うために狭かった。さらには、この方法には X 線センサーと可視光線のカメラを同期するためのハードが必要とされた。それで、この方法は大がかりのものとなった。

また、過去に撮影した CT の投影データからは体動を低減することはできなかった。それらの理由で、開発は困難でした。

そこで、本研究では体動による偽像を低減する新しい方法を開発した。CT の投影画像の歯のエナメル質の部分はハイコントラストであった。そして、ほとんどの体動が X 線発生装置とセンサーの回転軸と平行の方向でした。そこで、本方法では歯の動きを呼吸による体動の指標として使用した。

指標となる歯は、X 線発生装置と 2 次元センサーが回転している間に、2 次元センサー

上を“振り子”のように投影画像上を左右に移動した。そこで、この動きに追従するために、回転中心から歯の投影データ上の移動距離を  $x$  とし、歯と回転中心までの距離を  $r$ 、角速度を  $\omega$ 、時間を  $t$ 、位相を  $\theta$  とし、 $x=r \sin (\omega t+\theta)$  を求めた。

次に、ラットの頭部の体動のあった CT の投影データから、m-mode の画像が作られた。この m-mode は、 $x$  上のラインの歯の輝度の変化を示していた。この m-mode 上の波形は回転軸に平行な頭部の体動を示していた。

頭部の体動による移動距離は、この波形をトレースすることで計算された。そのトレースには最小二乗法が使用された。次に、CT の投影画像は、この回転軸と平行な Z 軸の移動距離に応じて、補正された。補正後の投影データを用いて、m-mode の画像を再計算した。その結果、m-mode の呼吸による体動を示す波形は低減されていた。最後に、補正された投影データから CT 画像を再構成した。

この方法は被写体が小さく、その動きが回転軸と平行な場合に有効であった。

そして、この方法は特別なハードを必要することなく、ソフトによって体動による偽像を低減することを可能とした。したがって、この方法は実験動物用マイクロ CT の画質の向上に有用であった。

実験動物の CT 撮影に失敗し再撮影する場合は麻酔をかけなおす必要があり、実験動物に大きなストレスを与えることとなり、困難であった。この方法は、過去に撮影された CT の投影データから体動の偽像を低減できることが可能となった。その結果、再撮影を必要なくなることから、動物愛護の点でも有用であった。

## 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)

[学会発表] (計 4 件)

① 新井嘉則、実験動物用マイクロ CT のおける moving artifact の補正 Correction of moving artifact on in vivo micro CT、NPO 法人日本歯科放射線学会第 32 回関西九州合同地方会、2012 年 12 月 8 日、石蔵酒造百年蔵ホール(福岡)

② 新井嘉則、CBCT による診断と治療の最先端、18th International Conference of DentMaxilloFacial Radiology、2010 年 5 月 26 日、広島国際会議場(広島県)

③ Yoshinori Arai、Limited Cone Beam Computed Tomography -High resolution, Low radiation dose and diagnosis for dentistry-, World Congress for Oral Implantology and American Academy of Implant Dentistry Global Conference-2010,

2010 Nov. 21, Le Méridien Hotel, New deli, Indo

④ 新井嘉則、歯科用コーンビーム CT の主観的画質評価用基準画像の制作、NPO 法人日本歯科放射線学会、第 211 回関東地方会・第 30 回北日本地方会、第 18 回合同地方会、2010 年 8 月 7 日、北海道医療大学 札幌サテライトキャンパス(札幌)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新井 嘉則 (ARAI YOSHINORI)

日本大学・歯学部・特任教授

研究者番号：20212607