

平成22年 3月31日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19592183

研究課題名（和文）MRI マイクロスコープコイルによる被曝のない顎骨の骨梁解析

研究課題名（英文）Assessment of bone quality of the jaw using MRI microscopy coil

研究代表者

金田 隆 (KANEDA TAKASHI)

日本大学・松戸歯学部・教授

研究者番号：40185947

研究成果の概要（和文）：マイクロスコープコイルを使用することにより 300 μ m 程度の空間分解能で撮像された顎骨の MR 画像が得られ、MR 画像データから骨梁構造解析像の描出ができ、骨梁構造画像より骨梁構造解析パラメーターの算出が可能であった。このことより、MRI マイクロスコープコイルを使用して顎骨の骨質の評価できる可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：We were able to depict high resolution MR images using microscopy coil of 47mm inner diameter. And, we could choose trabecular bone structure from MR images of the jaw using the mathematical morphological filter. It was suggested that we were able to evaluate bone quality of the jaw using MRI microscopy coil.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：病態科学系歯学・歯科放射線学

キーワード：磁気共鳴画像検査, MRI マイクロスコープコイル, 骨梁の描出, 顎骨の質的評価, 被曝のない骨梁解析

1. 研究開始当初の背景

近年、特に若年者の顎骨の脆弱化、加齢による骨粗鬆症や骨折の予後判定およびインプラントの術前検査等、顎骨の質的検査が日常歯科臨床にて必要不可欠となってきた。マイクロスコープコイルによる MRI の撮像が開発され、空間分解能の高い MR 像を得ることが可能となった。

2. 研究の目的

空間分解能の高い MRI マイクロスコープコイルによる MRI のデジタル情報により被曝のない顎骨の骨梁解析を施行し、骨粗鬆症や骨折の予後判定およびインプラントの術前検査等、顎骨の質的検査等の骨質改善への臨床応用の可能性を試みることである。

3. 研究の方法

(1) MRI マイクロスコープコイルの撮像範囲

使用したMRI装置は1.5Teslaの超伝導MR装置 (Intera Achieva 1.5T, Philips Medical Systems) であり、コイルは110mm径の従来の表面コイル、47mm径および23mm径のマイクロスコープコイルを使用した。それぞれのコイルにて内部にベビーオイルで満たしたファントムをコイルの中心がファントムの中心になるように固定し、Turbo spin echo法 T1 強調像にて撮像した。



Surface Coil φ110mm Microscopy Coil φ47mm Microscopy Coil φ23mm

撮像条件は538/14msec (TR/TE), スライス厚1.0mm, FOVは70mm, マトリックス224×156, Turbo factor 3, 加算回数6回とした。撮像されたMR画像についてMRIのコンソール上でコイル表層からの距離に伴う信号強度を計測した。また、上記撮影条件にてボランティアの健全な下顎骨を各コイルにて撮像し、得られた画像について視覚的評価を行った。

(2) MRI 撮像条件の検討

対象は歯科医師ボランティア (男性, 年齢31歳) の健全な下顎骨とした。47mm径のマイクロスコープコイルを用いてTSE法 T1 強調像にて下顎第一大臼歯部を撮像した。撮像条件は①538/14msec (TR/TE), スライス厚1.0mm, FOVは70mm, マトリックス224×156, Turbo factor 3, 加算回数6回, ②487/20msec (TR/TE), スライス厚1.0mm, FOVは70mm, マトリックス512×512, Turbo factor 3, 加算回数6回とし、マイクロスコープコイルが被験者の下に来るようにし、コイルと撮像部位がしっかり接するように被験者が伏臥位の状態で撮像した。得られた下顎骨のMR画像について視覚的評価を行い撮像条件の検討を行った。

(3) MRI マイクロスコープコイルによる顎骨の骨梁構造解析

対象は本研究の趣旨を説明し、インフォームドコンセントを得た学生ボランティア8人の健全な下顎15側 (男性6名, 女性2名, 年齢: 23-25歳, 平均年齢: 23.5歳) とした。尚、対象の学生は全身的な疾患の既往が無い者とし、撮像部位に根尖性歯周炎、重度の歯周炎および智歯周囲炎が無い健全側とした。また、47mm径のマイクロスコープコイルを用いてTSE法 T1 強調像にて下顎第一大臼

歯部を撮像した。撮像条件は538/14msec

(TR/TE), スライス厚1.0mm, FOVは70mm, マトリックス224×156, Turbo factor 3, 加算回数6回で、マイクロスコープコイルが被験者の下に来るようにし、コイルと撮像部位がしっかり接するように被験者が伏臥位の状態で撮像した。



得られた下顎第一大臼歯部のMR画像データについて骨梁解析ソフトウェア

(TRI2D-BON, Ratoc System Engineering Co. Ltd.) にて下顎第一大臼歯根尖相当部に11.6×10.1mmの関心領域を設定し、モルフォロジカルフィルターを使用して画像処理を行った。本研究ではモルフォロジカルフィルターには skeleton operation 演算式:

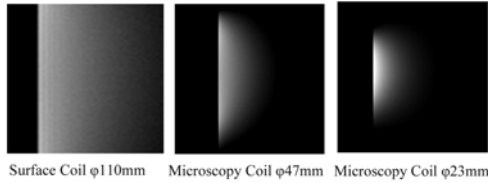
$$Sk(X) = \bigcup_{n=0}^N Sn(X) = \bigcup_{n=0}^N [(X \oplus nB) - (X \oplus (n-1)B)]$$

を使用した。Xは原画像, Sk(X)は和集合画像, Sn(X)は部分集合画像, nは演算処理回数, Nは最終演算回数, Uは集合の結び, Bは構造要素, \oplus はdilation, $(X \oplus nB)^B$ はclosing, $-$ は画像差分処理を示す。抽出された骨梁構造画像をしきい値1で二値化し、バイナリ骨梁構造画像とし、和集合n = 1-7を対象に骨梁構造解析を行った。骨梁解析項目は骨格面積 (Sk. Ar), 骨格周囲長 (Sk. P), 骨格幅 (Sk. Th), 骨格数 (Sk. N), 骨格間隙 (Sk. Sp), 骨格中心間距離 (Sk. Spec), 骨格の複雑性を示すフラクタル次元 (FD), スターボリューム解析による骨格腔体積 (Vsk) および骨髄腔体積 (Vsp) とし、さらにNode-strut解析を行った。

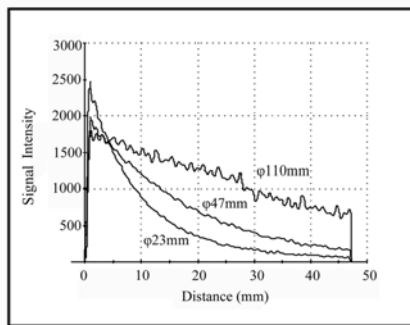
4. 研究成果

(1) MRI マイクロスコープの撮像範囲について

110mm径の従来の表面コイルの表層の信号強度に対してマイクロスコープコイルの表層の信号強度は高く、47mm径のマイクロスコープコイルよりも23mm径のマイクロスコープコイルの表層の信号強度は高かった。

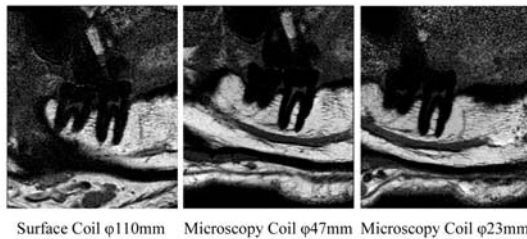


また、マイクロスコープコイルは画像上、半円状の信号領域を呈しておりマイクロスコープコイルの直径が小さくなるにしたがい信号領域も小さくなった。また、表層からの深度が増加するに従って信号強度が低下し、23mm径のマイクロスコープコイルは最も急激に信号強度が低下した。



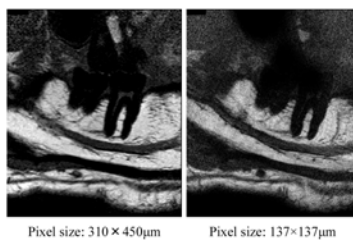
110mm径の従来の表面コイルで得られた下顎第一大臼歯部の画像に対し、47mm径および23mm径のマイクロスコープコイルで得られた画像は中心部で良好な画像が得られた。

また、マイクロスコープコイルの比較では径が小さくなる分、23mm径のコイルは47mm径のよりも良好な画像が得られる範囲が狭くなった。



(2) MRI 撮像条件の検討について

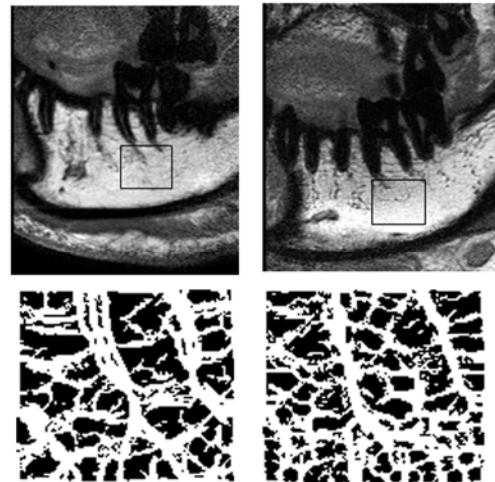
マトリックス 224×156 で撮像した MR 画像に対して、マトリックス 512×512 で撮像した MR 画像は詳細な解剖学的構造が描出できた。



しかしながら、両者を比較するとマトリックス 512×512 の MR 画像はマトリックス 224×156 の画像より粗い画像であった。また、各条件での撮像時間はマトリックス 224×156 で 3 分 38 秒、マトリックス 512×512 で 13 分 19 秒であった。

3) MRI マイクロスコープコイルによる顎骨の骨梁構造解析について

マイクロスコープコイルを使用することにより良好な MR 画像が得られた。



得られた MR 画像データにモルフォロジー画像処理を行うことによって和集合 n=1-7 のバイナリ骨梁構造画像が抽出できた。

また、得られたバイナリ骨梁構造解析像に対し骨梁構造解析を行い骨格領域面積 (Sk. Ar) (mm²) : 569.68 ± 29.35, 骨格周囲長 (SkP) (mm) : 364.49 ± 15.89, 骨格領域面積 / ROI 面積 (Sk. Ar / T. Ar) (%) : 48.62 ± 2.51, 骨格幅 (Sk. Th) (mcm) : 3.13 ± 0.13, 骨格数 (Sk. N) (1/mm) : 0.16 ± 0.01, 骨格間幅 (Sk. Sp) (mcm) : 3.31 ± 0.28, 骨格中心距離 (Sk. Spce) (mcm) : 6.44 ± 0.29, フラクタル次元 (FD) : 1.78 ± 0.01, スターボリューム解析における骨格腔体積 (Vsk) : 0.59 ± 0.03, 骨髓腔体積 (Vsp) : 0.52 ± 0.05, Node-strut 解析における接合点個数 / ROI 面積 (N. Nd / T. Ar) (1/mm²) : 0.24 ± 0.02, 端点数 / ROI 面積 (N. Tm / T. Ar) (1/mm²) : 0.09 ± 0.02, 端点間距離 / 骨格線総長 (TmTm / TSL) (%) : 1.49 ± 0.50, 結合点間距離 / 骨格線総長 (NdNd / TSL) (%) : 77.06 ± 3.76, 骨格線総長 / ROI 面積 (TSL / T. Ar) (%) : 19.58 ± 1.25, 端点間距離 / ROI 面積 (TmTm / T. Ar) : 0.29 ± 0.09 および 結合点間距離 / ROI 面積 (NdNd / T. Ar) (%) : 15.12 ± 1.60 の 17 種類の骨梁構造パラメーターの数値が得られた。

① MRI マイクロスコープコイルの撮像範囲に

ついて

今回、我々は110mm径の従来の表面コイルと47mm径および23mm径のマイクロコピーコイルの撮像範囲について検討した。従来の表面コイルよりマイクロコピーコイルのほうが、表層における信号強度が高かったものの、コイルの径が小さくなるにつれて信号領域が狭くなった。これは、コイルの大きさを直径とした半円状の信号領域を呈する表面コイルの特徴からなる。また、マイクロコピーコイルは深部にいくにしたがって信号強度が急激に低下し、SNRの低下につながる。そのため、臨床では体表に近い撮像領域に限られ、医科領域では主に指骨、膝蓋骨、腫骨などの末梢骨の検査に用いられている。本検討では、下顎骨を従来の表面コイルとマイクロコピーコイルにて撮像したが、110mm径の従来の表面コイルを使用して得られたMR画像よりもマイクロコピーコイルを使用して得られた画像のほうが良好な画像が得られた。これは、下顎骨が体表に近い位置にみられるため十分な信号強度が得られたためと考えられる。また、マイクロコピーコイルの径が小さく、受信する雑音値が少ないため従来の表面コイルよりもSNRが高い画像が得られたと考える。しかし、23mm径のマイクロコピーコイルで撮影した画像は47mm径のマイクロコピーコイルで撮像した画像より良好な画像が得られる範囲が狭く、顎骨までの脂肪層が厚い場合や下顎骨が厚い場合などは、良好な画像が得られない可能性があり、撮像範囲が狭い分コイルの設定が非常に困難になると考えられる。そのため、23mm径よりも47mm径のマイクロコピーコイルのほうが下顎骨のMR撮像に適切であると考えられる。

②MRI撮像条件の検討について

近年、骨梁構造を100 μm 程度の空間分解能で描出し、骨粗鬆症患者の骨質評価への応用が検討されており、Wehrliら¹⁰はピクセルサイズが137 \times 137 μm で、Majumdarら¹¹はピクセルサイズが156 \times 156 μm で橈骨を撮像し骨梁構造を描出している。本検討では、マトリックスを変化させてピクセルサイズが137 \times 137 μm のMR画像とピクセルサイズが310 \times 450 μm 、再構成ピクセルサイズが140 \times 140 μm のMR画像を比較した。もともとのピクセルサイズが137 \times 137 μm のMR画像のほうが詳細な解剖学的構造物を描出できたが、ピクセルサイズが310 \times 450 μm の画像よりも画質が粗い画像となった。また、両者の撮像時間はピクセルサイズが137 \times 137 μm で13分19秒、ピクセルサイズが310 \times 450 μm で3分38秒であった。SNRが高い画像を得るためには加算回数を増加しなければならず、さらなる大幅な撮像時間の延長が考えられ

る。撮像時間が長い場合、患者の体動による画像への影響を考えると、撮像時間はできるだけ短いものが良いと考えられる。

③MRIマイクロコピーコイルによる顎骨の骨梁構造解析について

今回、我々は47mm径のマイクロコピーコイルを使用し、得られたMR画像から骨梁構造解析像の抽出が可能であった。これは、マイクロコピーコイルが従来の表面コイルよりもSNRが高く、空間分解能にも優れており、100 μm 程度の微細な構造物の描出が可能になったことから考える。また、今回のMR撮像ではFOVが70mm、撮像時のピクセルサイズは310 \times 450 μm で再構成ピクセルサイズが140 \times 140 μm であった。これは撮像時間を考慮したものであったが、FOVを小さくすることにより空間分解能をさらに上げた撮像が可能であると考えられる。

顎骨におけるMR撮像ではできるだけ撮像時間のかからない方法でできるだけ空間分解能を上げるための撮像条件の設定が必要と考える。

また、本検討よりMR画像から得られた骨梁構造解析像から骨格数や骨格面積などの基本的な構造要素の他、骨格の複雑性をあらわすフラクタル次元やスターボリューム解析による骨格の連続性、Node-strut解析による骨格の連結性を表す骨梁構造パラメーターが算出でき、骨質の中の骨梁構造の評価が可能であると示唆された。従来の骨構造の評価法として骨形態学的な手法からエックス線画像によるものが多く、顎骨内の骨梁構造が直接画像化したものを解析している。しかし、MR画像では顎骨内の骨髄を直接描出しその画像から骨髄以外の領域を骨梁構造としているため、骨梁構造解析像の取得の違いが及ぼす影響について今後MR画像から得られた骨梁構造パラメーターと従来用いられているエックス線画像から得られた骨梁構造パラメーターとの比較を行う必要があると考える。

まとめ：

マイクロコピーコイルを使用することにより300 μm 程度の空間分解能で撮像された顎骨のMR画像が得られ、MR画像データから骨梁構造解析像の描出ができ、骨梁構造画像より骨梁構造解析パラメーターの算出が可能であった。このことより、MRIマイクロコピーコイルを使用して顎骨の骨質の評価できる可能性が示唆された。

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2件)

- ① 阪柳雅志, 金田 隆, 森進太郎, 加藤正隆, 加藤美弥, 関谷恵子, 佐々木悠介, 堤豊重, 月岡庸之, 櫻井 孝, 鹿島 勇, MRIマイクロコピーコイルによる顎骨の骨質評価、歯科放射線、査読有、49:26-32、2009.
- ② Shintaro Mori, Takashi Kaneda, Yuzo Fujita, Masataka Kato, Masashi Sakayanagi, Manabu Minami, Diffusion tensor tractography for the inferior alveolar nerve (V3): Initial experiment. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod、査読有、47:47-52、2008.

〔学会発表〕(計7件)

- ① 末光正昌, 関谷浩太郎, 宇都宮忠彦, 阪柳雅志, 森進太郎, 金田 隆, 山本浩嗣、顎骨内嚢胞性病変における造影MRI画像の病理組織学的検討、第14回日本歯科放射線学会臨床画像大会、2009年10月24日、札幌
- ② 荒木正大, 阪柳雅志, 高井英樹, 目澤優, 小方頼昌, 金田 隆、エムドゲインRを用いた再生療法前後での骨梁解析の有用性、第52回秋季日本歯周病学会学術大会、2009年10月11日、宮崎
- ③ 金田 隆, 森進太郎, 阪柳雅志, 加藤美弥、拡散強調像を用いた顎口腔領域のMRI診断、第21回日本歯科医学会総会、2008年11月15日、横浜
- ④ 加藤正隆, 阪柳雅志, 森 進太郎, 金田 隆, 加藤美弥, 関谷恵子, 櫻井孝, 鹿島勇、MRIマイクロコピーコイルによる顎骨の骨質評価: パノラマエックス線画像との比較検討、第49回日本歯科放射線学会総会、2008年5月17日、名古屋
- ⑤ 阪柳雅志, 金田隆, 森進太郎, 加藤正隆, 関谷恵子, 堤豊重, 高橋康輔, 江間秀明, 佐藤江里子、デンタルインプラントの脳のMR画像に及ぼす影響、第28回日本口腔インプラント学会学術大会、2008年9月13日、東京
- ⑥ 阪柳雅志, 森進太郎, 加藤正隆, 金田 隆, 藤田雄三, 加藤美弥, 関谷恵子, 櫻井孝, 鹿島 勇、MRIマイクロコピーコイルによる顎骨の骨質評価、第206回日本歯科放射線学会関東地方会、2008年1月26日、東京
- ⑦ Takashi Kaneda, Masashi Sakayanagi, Yuzo Fujita, Masataka Kato, Miya Kato, Yoshie Yamashita, Keiko Sekiya,

Shintaro Mori、Diffusion weighted image of the dento-maxillofacial region: normal and pathologic states、The 16th International Congress of Dentomaxillofacial Radiology , 2007.6.26-30, Beijing, China

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金田 隆 (KANEDA TAKASHI)
日本大学・松戸歯学部・教授
研究者番号: 40185947

(2) 研究分担者

秋元 芳明 (AKIMOTO YOSHIKI)
日本大学・松戸歯学部・教授
研究者番号: 10147720

森 進太郎 (MORI SHINTARO)
日本大学・松戸歯学部・講師
研究者番号: 40419792

岡田 裕之 (OKADA HIROYUKI)
日本大学・松戸歯学部・講師
研究者番号: 70256890

山本 浩嗣 (YAMAMOTO HIROTSUGU)
日本大学・松戸歯学部・教授
研究者番号: 00102591