



Title	超短時間TEによるMR画像を用いた頭部顔面計測
Author(s)	内本, 有香
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101566
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (内本有香)	
論文題名	超短時間TEによるMR画像を用いた頭部顔面計測
論文内容の要旨	
<p>【研究の背景と目的】</p> <p>頭部顔面計測は、縦断的な頭蓋顔面部の発育過程の把握、横断的な頭蓋顔面部の調査・研究、矯正歯科治療の計画の立案・結果の評価、および頭蓋顔面部の異常に関与する症候群の評価に重要な役割を果たす。その計測法として、多方向からの顔貌の写真撮影、三次元スキャナを用いた顔面部の表面計測、頭部エックス線規格撮影法（セファロ）、およびCT（Computed Tomography）を用いたボリュームデータの取得などが挙げられる。頭蓋顔面部の表面は三次元スキャナを用いた計測が最も正確であるが、内部構造を知ることはできない。長年にわたって矯正歯科治療の診断や予後観察に用いられてきたセファロ検査は、骨の観察が可能で、撮影条件を規格化することで、縦断的にも横断的にも広く臨床応用されている。基準となる計測点が確立されているという利点があるが、三次元座標を獲得できず、何よりも電離放射線被曝するという欠点があった。CTは空間分解能が高く骨と軟部組織の三次元座標が得られるため、三次元計測の主流となっている。しかしながら、頻回の撮影における電離放射線被曝を無視することはできない。</p> <p>MRI（Magnetic Resonance Imaging）はCTと同様にボリュームデータを取得でき、電離放射線被曝がなく軟部組織間のコントラストが高いことが特長である。しかしながら、従来の撮像シーケンスでは、骨や歯の撮像は不可能であった。これは、骨や歯のT2緩和時間が短すぎて信号が得られないことに起因していた。</p> <p>MRIの一般的な信号強度（SI）の式を示す。</p> $SI \propto \rho \cdot (1 - \exp(-TR/T1)) \cdot \exp(-TE/T2) \cdots \text{ (式)}$ <p>ここで、TRは撮像者が設定可能な繰り返し時間（Time of Repetition）、TEは撮像者が設定可能なエコー時間（Time of Echo）で、組織側の因子として、ρは水素原子核の密度、T1は組織の緩和時間（T1緩和時間）、T2は組織の横緩和時間（T2緩和時間）を示す。骨のT2緩和時間は0.5 ms（ミリ秒）未満とされており、従来の撮像法では最短のTEが5-10 msであったため骨を信号として捉えることが不可能であった。</p> <p>最近になってMRI機器のハードウェアの目覚ましい進歩により、励起パルスをブロック形として可及的に短い時間で与え、周波数と位相エンコードを用いて位置決めをする代わりに三次元ラジアルスキャンを行うことなどでTEを短くすることが可能となり、T2緩和時間の短い組織の画像化が可能となった。TEの実際は0.016 msであるが、これを超短時間TE（Zero-TE）と呼び、この技術によるMR画像（ZTE-MRI）を用いて骨の画像化が可能となり、肩関節などに応用され始めた。</p> <p>そこで本研究では、超短時間TEによるMR画像（ZTE-MRI）を用いて、三次元的な頭部顔面計測の可能性を検討することを目的とした。</p> <p>【材料と方法】</p> <p>＜検討1＞</p> <p>ヒト乾燥下顎骨10体を対象とした。下顎骨の左右の下顎頭間距離、左右の筋突起頂間距離、左右のオトガイ孔間距離、左側下顎頭幅径、右側下顎頭幅径の5項目を検討項目とした。下顎骨をMDCT（Multi Detector CT）とZTE-MRIでスキャンし、5項目を画像上で測定し、電子ノギスによる結果と比較した。</p> <p>ZTE-MRIの撮像は、3.0 T超伝導型MRI装置Signa® Premier（GE Healthcare, Chicago, IL）を使用し、48チャンネルの頭部用コイルを送受信に用いた。撮像条件は、TEを0.016 msとした。参照画像のCT撮影は、マルチスライスCTスキャナRevolution® Frontier（GE Healthcare, Chicago, IL）を用いた。</p> <p>ZTE-MRI画像及びMDCT画像での距離の計測は、撮像したデータをAdvantage Workstation®（AW : GE Healthcare, Chicago, IL）に転送し、それぞれ3D画像をAW上で表示させて計測した。距離の計測について、観察者内誤差と観察者間誤差を、SPSS ver. 29（IBM Corp., Armonk, NY）を用いて級内相関係数（ICC）を求めた。</p> <p>次に、各モダリティ間の実測値と計測値を比較した。距離の5項目について、ノギスによる実測値、MDCTによ</p>	

る計測値、およびZTE-MRIによる計測値の相関を、Pearsonの相関係数を用いて比較した。統計学的検討はSPSSを用いた。

＜検討2＞

2024年2月から9月に来院し、大阪大学歯学部附属病院放射線科にてMR撮像し、追加検査としてのZTE-MRI撮像に同意の得られた患者72名を対象とした。本研究は大阪大学大学院歯学研究科の倫理審査委員会の承認を得て行った（承認番号：R4-E32）。対象の72名のうち、既にセファロやMDCTを撮影していた者がおり、そのうちMRI画像における磁化率アーチファクトなどで診断不可能なものを除外した。

参照点は、歯科臨床で使用されている項目およびセファロとCBCT（Cone Beam CT）を比較した先行研究などから29点を選んだ。検討に際し使用した基準平面はセファロにおける二次元的な定義に即して決定した。参照点から求められる32個の距離計測項目、21個の角度計測項目を検討の対象とした。

ZTE-MRI撮像は、検討1と同様にSigna® Premierを用い、送受信コイルに48チャンネルの頭部用コイルとプランケットコイルを併用した。検討1と同様にTEを0.016 msとした。ボリュームデータから、矢状断および前頭断画像を再構築し、3D画像を作製した。

比較した対照画像の当科での撮影については、セファロの撮影装置はAsahi Cx-150WT（朝日レントゲン工業社製、京都、日本）、MDCT撮像については、検討1と同じくマルチスライスCTスキャナRevolution® Frontierを使用し、水平断撮像した。

ZTE-MRIとMDCT画像についてはAW上で3D、矢状断、軸位断、前頭断表示させ参照点の座標を決定し、座標を記録した。座標から距離計測項目及び角度計測項目について計算で求めた。セファロ画像では、AWで表示させ各測定項目間を測定した。距離計測項目に関しては、その値を10/11倍した。それぞれの計測項目について、セファロ画像における結果、CT画像における結果、およびZTE-MRIにおける結果についてExcel® ver. 16（Microsoft, WA, USA）を用い、直線回帰分析を行い、回帰直線を求めた。

【結果】

＜検討1＞観察者内誤差についてICCは1.000であった。観察者間誤差についてICCは0.998であった。電子ノギスによる計測値と、MDCTおよびZTE-MRIによる測定値の間の相関係数はいずれも0.96以上であった。

＜検討2＞N-Me、SNP、SNB、Gonial AngleやFMA等の骨の位置関係に関する角度の計測項目では相関が高くなつたが、Interincisal angleやL1 to APなどの歯に関する一部の計測項目については相関を示すR2乗値が低かった。

【考察】

検討1の結果から、観察者内誤差、観察者間誤差に関してのICCは高いと考えた。本実験の他の検討においては測定回数1回、観察者も著者1名としたが、この結果により観察者内誤差、観察者間誤差は少ないと考えられた。ZTE-MRIの計測値は、ノギスによる実測値と高い相関が確認された。また、5つの計測項目において、CTの計測値は、ノギスによる実測値と高い相関が確認された。さらに、5つの計測項目において、ZTE-MRIの計測値は、CTによる計測値と高い相関が確認された。これらにより、ZTE-MRI撮像で、一部の計測項目においては、頭部顔面計測が可能であると結論づけた。

検討2の結果では、ヒトにおける多くの計測項目においては、ZTE-MRIとセファロ及びMDCTにおいて、高い相関が確認できた。特に、下顎骨の参照点であるMeやGoに関連する点の精度は高く、また矯正歯科治療において基準平面として使用されるSとNや上下顎骨の前後関係の確認に使われるAとBに関する項目もいずれもそれらの位置関係の精度は高いと言えた。しかしながら、下顎前歯部のL1やその歯槽骨のIDに関係する測項目や、Ptm、PNS、Po、Or、Arに関する項目においては、相関係数は必ずしも高くなかった。歯のT2時間は1.5 Tでは象牙質で0.15 ms、エナメル質では70 μ sとされている。歯のT2時間が骨のT2時間よりさらに短いために画像が不明瞭となつた影響に加え、コイルによる影響が大きいと考えられた。

特に同じく3次元撮像であるMDCTとの比較については、下顎前歯部等を除いては、十分な相関があり、また二次元撮像のセファロとの比較においても、正中矢状面の点においては相関があった。頭部顔面計測において、ZTE-MRIは十分な整合性があると考えた。

【結論】

本研究の結果から、多くの計測項目において、ZTE-MRI撮像でも距離及び角度の再現精度は高いと言えた。ZTE-MRI撮像により、三次元的な頭部顔面計測は可能であり、MDCTを撮影できない患者について代替手段として使用できるのではないかと考えた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (内 本 有 香)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 村 上 秀 明
	副 査	教 授 鶴 澤 成 一
	副 査	准教授 山 口 哲
	副 査	講 師 谷 川 千 尋

論文審査の結果の要旨

本研究は、超短時間 TE による MR 画像を用いた頭部顔面計測について検討したものである。基礎的検討では、超短時間 TE による MR 画像の頭部顔面計測の精度は高いことが判明した。また、本法を被験者に応用したところ、距離と角度において、頭部エックス線規格撮影によるセファロ画像や三次元 CT 画像の結果と高い一致率を示した。本研究によって、頭部顔面計測における超短時間 TE による MR 画像の有用性が明らかとなった。よって、博士（歯学）の学位論文として価値のあるものと認める。