

氏名(本籍)	三浦 周 (徳島県)
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	情博第80号
学位授与年月日	平成10年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院情報科学研究科(博士課程) システム情報科学専攻
学位論文題目	関節画像の再構築に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 塚原 保夫 東北大学教授 三浦 幸雄 東北大学教授 渡辺 誠 (歯学研究科)

論文内容要旨

第1章 序論

歯科領域において近年、顎関節症患者の顕在化が著しい。顎関節症の症状には顎顔面の痛み、開口障害、運動時の雑音などがあり、顎関節の形態学的変化はこれらと密接に関連している。

顎関節症における顎関節の形態学的変化には、顎関節を構成する硬・軟組織の器質的変化と、各構造物間の位置関係の変化が挙げられる。前者は側頭骨下顎窩(以下、下顎窩)や下顎骨下顎頭(以下、下顎頭)の関節面の欠損、関節円板の菲薄化や穿孔であり、また後者は関節円板の転位とそれに伴う下顎窩と下顎頭の位置異常、すなわち顎頭位の偏位などである。

画像診断は、これらの形態学的変化を検出しそれに基づき病態を把握する目的で行われる。磁気共鳴映像(MRI)は画像診断に使用される医用画像の一手法である。MRIは、硬・軟組織を同時に画像化できることや、放射線被曝がなく非侵襲的であるという利点を持つことから、顎関節の画像診断において頻繁に用いられている。

ところが、現状での臨床における顎関節の画像診断において提供される2次元のMR連続断層画像から顎関節の構造物の3次元的形態を想起することは、そこに3次元的形態情報が含まれていながら、容易な作業ではない。

そこで、顎関節MR連続断層画像から3次元的形態情報を引き出して提示すれば、画像の持つ情報をより有効に活用できると考えられる。具体的には、連続断層画像から下顎頭、下顎窩、関節円板などを抽出後、3次元形態を再構築し、視覚的な表示を行うことにより顎関節の形態学的変化の直観的な理解が、またそれらの位置関係の計測を行うことにより顎関節の形態学的変化の定量的評価が可能となる。

上述した機能を有するシステムは、各構造物の画像からの抽出に画像処理技術を応用し可及的自動的な方法を実現することと、形態、位置関係の情報の提示にコンピュータグラフィックス(CG)技術を応用し、簡便かつ歯科医師の直観的理解を可能とする方法を実現することにより、臨床的に応用可能となる。

以上のことから本研究では、顎関節のMR連続断層画像から下顎頭および下顎窩を可及的自動的に抽出するとともに、再構築して表示し3次元的形態や位置関係の直観的な理解を可能とする顎関節の診断支援システムの構築を目的とする。このシステムの行程は、顎関節MR連続断層画像から対象の構造物の表面を抽出する行程、および各断面の輪郭から3次元像を再構築し、形態、位置関係の情報を提示する行程の2つに大別される。なお、関節円板の抽出は、現在のところ関節円板と周囲組織との間に十分なコントラストが得られないことから行わない。

本論文の構成を以下に示す。第1章は序論である。第2章では、顎関節 MR 連続断層画像からの下顎頭および下顎窩の皮質骨表面の抽出を目的とし、動的輪郭モデル (Snakes) およびその3次元拡張である動的表面モデルを用いた抽出法の検討を行う。まず動的輪郭モデルを用いた抽出では、連続断層画像に対して断層ごとに個別に処理を行う。下顎窩については矢状面連続断層画像に対して処理を行い良好な抽出結果が得られることを示す。下顎頭に関しては、全ての輪郭を開曲線として得るため下顎頭の上下方向の軸に対する連続回転断層画像に対して処理を行い、良好な抽出結果が得られることを示す。ついで動的輪郭モデルによって求められた輪郭群から再構築した表面に、動的輪郭モデルの3次元拡張である動的表面モデルを適用することにより、3次元的に平滑な表面が得られることを示す。第3章では、第2章に示す手法の信頼性を検証するため、同一断面における抽出表面と歯科医師によるトレース結果との比較を行い、妥当な精度が得られることを示す。第4章では、本システムの臨床応用を目的として、形態および位置関係に関する情報の提示方法の検討を行い、また顎関節症患者に本システムを応用した例を示す。第5章は結論である。

第2章 MR 連続断層画像からの顎関節皮質骨表面の抽出に関する検討

本システムが臨床的に実用可能となるためには、術者による入力作業の省力化が不可欠であるため、本章では画像処理技術を応用し構造物の抽出作業の自動化を検討している。

画像中から対象を抽出する手法 (セグメンテーション : 画像の分割) の基本的な考え方は、対象と背景で画像の特徴が異なることを利用して対象と背景を分割するというものである。代表的な画像の特徴には濃度、エッジ (濃度勾配) が挙げられる。しかしながら本研究の対象である顎関節の MR 画像では、単純に画像の特徴のみを用いる手法での対象の抽出は難しい。3次元形態情報取得のため、MRI 撮影条件の第一義に空間分解能を可及的に大きくすることを採択したことで画像の S/N 比が低くなり、その結果対象と背景の濃度差およびその間に存在するエッジが明瞭でないことがその主要な理由である。

そこで本研究では、画像の特徴に加えて対象の形態の特徴を利用する方法を用いる。動的輪郭モデルは画像の特徴である濃度、エッジなどに加え、対象の形態の特徴である対象の輪郭の滑らかさを条件として対象の近傍に置いた初期輪郭を変形し、最適な輪郭を探索する輪郭抽出法である。本章では対象である下顎頭、下顎窩が滑らかな皮質骨で表面を覆われているという形態学的知識を輪郭の滑らかさの条件として活用し、動的輪郭モデルを用いた抽出方法の構築を実現している。

下顎頭、下顎窩の皮質骨表面は、まず動的輪郭モデルを用いて断層ごとに個別に輪郭が抽出され、ついで動的輪郭モデルの3次元拡張である動的表面モデルを用いて表面が抽出される。動的輪郭モデルにおいて、初期輪郭は下顎頭の中央部を通る1断層では術者が入力し、その他の断層では断層間での輪郭位置の変化が十分小さいことを利用して、すでに処理を終えた隣接断層の抽出結果を用いる。また、動的表面モデルにおいて初期表面は動的輪郭モデルでの断層ごとの抽出結果から再構築する。

抽出法の検討には、正常有歯顎者 (31歳, 男性) の右側顎関節を用い、画像処理に用いる顎関節 MR 画像は、パルスシーケンス : FLASH3D, TE : 50ms, TR : 11ms, フリップ角 : 20度, FOV : 150mm, マトリックス : 256×256, スライス厚 : 1 mm, 撮影時間 : 418 s, 断層方向 : 矢状面の各条件にて撮影を行っている。

動的輪郭モデルにおいて、下顎窩の皮質骨表面は矢状面連続断層画像への処理によって抽出し、下顎頭の皮質骨表面は、断層ごとの輪郭を開曲線として得るため下顎頭の上下に設定した軸に対して再構成した連続回転断層画像への処理によって抽出を行っている。その結果、断層ごとの抽出結果は皮質骨に沿った滑らかな輪郭として求められることが示されている。これに続く動的表面モデルを用いた表面抽出の結果は、MR 画像の3次元的な濃度およびエッジの分布に沿った、滑らかな表面となる。3次元再構築像は下顎頭、下顎窩の解剖学的形態をよく表現していることから、この抽出行程が妥当であることが示唆されている。

この抽出行程の術者による入力作業は、1断層のみについて行う初期輪郭の入力と、輪郭抽出結果が不相当である場合に行う対話的修正のみであり、可及的自動的手法であることが示されている。

第3章 本抽出法の評価

第2章で述べた手法による抽出結果の精度を検証するため、本章では歯科医師による読影結果との比較を行っている。

比較は下顎頭について行い、方法は抽出表面と臨床経験5年以上の歯科医師11名のトレース結果の、同一断面（抽出表面の最大面積をとる水平断面、その断面の重心を通る矢状断面、ならびに前頭断面の3断面）における30度刻み方向での重心からの距離の比較である。その結果、抽出結果の距離は3断面とも多くの角度方向において、トレース結果の距離における最大最小の範囲より小さく、それ以外は最大最小の範囲内にある。また、抽出結果と読影結果の平均値との差の絶対値を全断面の全ての角度方向について平均した値（0.73mm）は画像のスライス厚方向の空間分解能（1mm）より小さい。以上の2点から、本抽出法が妥当な精度を有することが示されている。

第4章 顎関節 MR 画像の再構築の臨床応用に関する検討

臨床における顎関節症の診断支援のためには、構造物の3次元的形態や位置関係の直観的理解を可能にする情報の提示方法の実現が求められる。本章では、抽出された各構造物の形態をもとに情報を提示する行程について検討を行い、以下の方法を提案している。

- ・ 3次元再構築像の任意方向からの表示
- ・ MR 画像の任意断面の再構成および下顎頭、下顎窩の輪郭の重ね合わせ表示
- ・ 下顎頭・下顎窩間距離の計測および下顎頭表面上への擬似カラー表示

右側顎関節における疼痛を主訴とし、復位を伴わない関節円板前方転位（顎関節症Ⅲ型）と診断された顎関節症症例（45歳、女性）の両側顎関節 MR 画像を用いて、提案した提示方法の有用性の検討を行っている。その結果、3次元構築像の任意方向からの表示により、下顎頭の表面に骨棘および平坦化が認められている。また下顎頭・下顎窩間距離の下顎頭表面上への擬似カラー表示により、患側の下顎頭・下顎窩間に著しい狭窄が観察され、顎頭位の偏位があることが示唆されている。これらのことから、実現した提示方法が臨床において有用な診断方法となりうることが示されている。

第5章 結論

本研究では顎関節症の診断支援を目的とし、顎関節の MR 連続断層画像から顎関節を構成する構造物を可及的自動的に抽出するとともに、再構築して3次元的形態や位置関係の直観的な理解を可能とする情報の提示を行うシステムを構築した。本研究の成果は、従来その3次元的形態情報が十分活用されていなかった顎関節 MR 連続断層画像から、臨床的に実用可能な方法で診断に有用な情報を引き出すシステムを構築したところにある。

審査結果の要旨

歯科領域において近年顎関節症患者の顕在化が著しい。頭蓋と下顎の位置関係は、その不正が顎顔面の痛みや開口障害を主症状とする顎関節症の主な原因の一つと考えられることから、適切な診断法が求められている。著者は顎関節症の画像診断法の確立を目的として、放射線被曝がなく、軟組織の抽出に優れているMR画像法を用い、診断システムを構築した。本論文はその成果をまとめたもので、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、顎関節MR連続断層画像からの下顎頭および下顎窩の皮質骨表面の抽出に関して検討を行っている。動的輪郭モデルによる下顎頭および下顎窩の皮質骨表面の抽出結果を初期表面として動的表面モデルを適用したところ3次的に平滑となった。この結果下顎頭および下顎窩の皮質骨表面の形態を半自動的に抽出することに初めて成功した。

第3章では、第2章に示した形態情報の抽出法の信頼性を検証するために、抽出結果の評価を行っている。評価は、本手法による正常者の下顎頭の抽出結果と、5年以上の臨床経験を持つ11名の歯科医によるトレースの結果を比較して行っている。その結果、本抽出法は、画像の局所的な条件や手法のパラメータによらず一様な処理を行いうる手法であり、かつその精度は妥当であることが結論された。

第4章では、下顎頭および下顎窩の3次元構築像を任意方向から表示する機能により、両者の3次的形態を把握することが出来る。さらに、3次元構築像の任意断面での切り直しにより、下顎頭、下顎窩の形態および位置関係を任意の断面にて詳細に検討することが可能となった。また、下顎頭および下顎窩間距離を擬似カラー表示することにより、両者の位置関係を視覚的に理解することが可能である。以上のことから、本研究で示した画像診断のための情報提示の方法は顎関節症患者の顎関節病態の臨床診断に有用な方法であることが実証されている。

第5章は結論である。

以上要するに歯科学領域で有用な検査法を開発したばかりでなく、X線放射が禁忌である例でも活用できる診断法を構築し生体情報科学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。