

学位論文題名

3次元CTから領域拡張法を利用した
咀嚼筋輪郭の自動抽出の試み

学位論文内容の要旨

【緒言】

近年 X 線 CT, MRI 装置および画像処理技術の発展により, 高品質な 3 次元画像を得ることが可能となり, それらが臨床画像診断や手術シミュレーション等に広く用いられるようになってきた. 本学病院歯科診療センターにおいても, 顎変形症の患者やインプラントが適応となる患者などに対し, 3 次元 CT から頭蓋骨模型を作製して, 術前の手術シミュレーションや患者へのインフォームドコンセントに活用してきた.

頭蓋骨模型を作製する場合, 硬組織では CT 値が高い値をとるため, 閾値処理法によって比較的容易に領域を抽出することができる. しかし, 咀嚼筋のような軟組織では, 周囲の他の組織との CT 値が極めて近似しているため, 境界となる部分の閾値を設定して二値化する閾値処理法のみでは, 隣接する他の組織も一体として抽出されたり, 逆に必要とされる領域が欠落するなどの問題を生じてしまう.

そこで今回我々は, 注目している領域と隣接する同じ特徴量を持つ領域を順次統合していく方法で, 脳組織のセグメンテーション化で良好な結果を得ている領域拡張法に着目し, この手法により咀嚼筋の輪郭を自動的に抽出することを試みた.

【材料と方法】

試料は本学病院歯科診療センターにおいて顎変形症と診断され, 術前に 3 次元 CT を撮影した 5 症例の左右側合わせて 10 ケースである. 今回は咀嚼筋群のなかで, 撮影領域内に含まれる, 咬筋, 内・外側翼突筋を対象とした.

オリジナルの CT データは解像度が 512×512 pixel, スライス厚 2.0mm と粗いため, まず始めに補間処理として 1024×1024 pixel, スライス厚 0.5mm への拡張を行った.

咀嚼筋の抽出に際しては, 対象とする咀嚼筋の内部の一点を指定し, そこからデータのスキャンを開始する方法で行った. まず, CT 原画像からウィンドウレベル 60, ウィンドウ幅 200 に設定して軟組織における濃淡を強調した画像を作成し, その画像中で咀嚼筋の中央部付近を表す座標点を指定して, それを領域拡張のための開始点とした.

領域拡張を行っていく際の拡張限界条件の一つに, 領域の輪郭を強調するエッジ画像を利用した. エッジ画像作成に当たっては, ノイズの影響が少ないソーベルフィルタを 3 次元に拡張したものをを用いた.

次に領域開始点を中心とした近傍 125 ボクセルを初期領域として設定した. この初期領域に対

しその輪郭上の1つのボクセルに注目し、これを中心とした近傍27ボクセルが持つCT値の標準偏差と、その27ボクセル中で初期領域に含まれないボクセルが持つCT値の標準偏差を求めた。それらの値をもとに、次の3つの条件を満たした場合に初期領域以外のボクセルを初期領域として取り込む3次元領域拡張を行った。1つ目は27ボクセルのすべての点がエッジ画像のエッジ候補点に接触していない。2つ目は27ボクセルすべての点がCT値10以上120未満である。3つ目は次の式を満たしている場合である。 $100 \cdot (OR - FR) / FR \leq 4.00$ (OR: 27ボクセルのCT値の標準偏差, FR: 27ボクセル中初期領域以外のボクセルのCT値の標準偏差)

この領域拡張法を初期領域の輪郭を成すボクセルの全てについて行い、これを1回目の領域拡張とした。次に初期領域と拡張された領域を合わせた領域を新たな初期領域として再度同様の処理を行い、拡張前後の総ボクセル数の差が一番小さくなったところで反復処理を終了とした。

自動抽出によって得られた咀嚼筋の画像データを検証するため、先に作成した軟組織の濃淡強調画像との重ね合わせを行い、形態を比較した。2次元的な画像データのみでは、咀嚼筋の3次元的な形態を捉え難いため、閾値処理によって抽出した頭蓋骨とのデータの合成を行い、咀嚼筋付き頭蓋骨データを作成した後、3次元モデルを作製した。また、本手法の比較検討の対象として、原画像から手動による咀嚼筋のトレースを行い、同様に咀嚼筋付き頭蓋骨モデルを作製した。

【結果】

今回用いた手法では、咬筋中央部付近では、10ケース中7ケースで咬筋を正しく抽出していたが、残りの3ケースでは耳下腺の一部を取り込んでいるのが見られた。また、上方部では、10ケース中7ケースで咬筋を正しく抽出していたが、前方部で抽出不足が生じているものが3ケース見られ、また側頭筋、耳下腺の一部を取り込んでいるものも5ケース見られた。下方部では、5ケースが咬筋を正しく抽出していたが、4ケースにおいて後方部が十分に抽出されていないのが見られた。

内側翼突筋中央部付近では、10ケース中6ケースで内側翼突筋を正しく抽出していたが、隣接した筋肉である咽頭収縮筋を抽出しているケースが3ケースみられた。上方部では、10ケース中8ケースで起始部である蝶形骨翼状突起に近いところで抽出不足が生じ、正しく抽出していたものは2ケースのみであった。下方部では、5ケースで内側翼突筋を正しく抽出しているものの、残り5ケースでは隣接している顎下線や茎突舌骨筋も一体となって抽出されているのが見られた。

外側翼突筋中央部付近では、全てのケースで抽出不足が生じていた。特に前方部における抽出不足が著しい傾向にあった。上方部では、中央部と同様に抽出不足が生じている傾向が見られた。下方部では、正しく抽出されているのは2ケースのみで、10ケース中8ケースで抽出不足が生じており、特に蝶形骨に近い部位でそのような傾向が見られた。

【考察】

今回抽出した咀嚼筋の咬筋については、その中央部では、特に隣接した組織がないため良好な結果が得られたと思われる。一方、咬筋上方部では、内側で側頭筋、後方で耳下腺が極めて近接した位置を取り、かつCT値の差がほとんどないため、それらの組織を一部取り込んでしまったと考えられる。さらに咬筋下方部では、口腔内の金属によるアーチファクトの影響を極めて受けやすい部位であるため、データの欠落や、筋肉が示す本来のCT値よりも高い値への変位などにより、抽出不足を生じるものがあったと思われる。

内側翼突筋の内側には咽頭収縮筋が、下方に顎下線、茎突舌骨筋が近接しCT値も近似しているため、今回の手法でもその影響を受けて、それらの組織の一部を取り込んでしまい、誤差を生じたものと考えられる。また、内側翼突筋の起始部である蝶形骨翼状突起に近づくにつれて、CT値が均一した値を示さなかったため、同部位においては、今回の抽出方法では輪郭の抽出不足を生じてしまったものと考えられる。

外側翼突筋では、隣接した側頭筋を同じ組織として取り込むことはなかったが、ほとんどの症例で抽出不足が著しく、これは、咬筋や内側翼突筋と比較し体積が小さく長軸方向が水平であるため、ヘリカルCT特有のパーシャルボリューム効果の影響を強く受け組織のCT値が不正確になり、このような結果を生じたと思われる。

今回用いた領域拡張法では、他の軟組織も併せて抽出してしまう問題を完全に解決するには至らなかったが、従来の手法では、抽出処理後の手作業による追加処理は事実上必須のものであったため、自動処理による抽出は実現できたと考えている。今後は、領域拡張法以外の情報処理技術の応用も検討し、この問題の解決に取り組みたいと考えている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 畑 昇
副 査 教 授 中 村 太 保
副 査 教 授 吉 田 重 光

学 位 論 文 題 名

3次元CTから領域拡張法を利用した 咀嚼筋輪郭の自動抽出の試み

審査は、提出論文とそれに関連した学科目について、申請者に対して各審査委員が口頭試問により行い、各審査委員の報告を元に主査がその結果をまとめた。

【目的】

近年 X 線 CT, MRI 装置および画像処理技術の発展により、高品質な 3 次元画像を得ることが可能となり、本学病院においても、3 次元 CT から頭蓋骨模型を作製して、術前手術シミュレーションやインフォームドコンセントに活用してきた。

頭蓋骨模型を作製する場合、硬組織では閾値処理法により領域を抽出することができるが、軟組織では、周囲組織との CT 値が近似しているため、閾値処理法のみでは、隣接する他組織も一体として抽出されたり、必要とされる領域が欠落するなどの問題を生じる。

今回、注目している領域と隣接する同じ特徴量を持つ領域を順次統合していく領域拡張法に着目し、この手法により咀嚼筋輪郭を自動的に抽出することを試みた。

【材料と方法】

資料は本学病院において顎変形症と診断され、術前に 3 次元 CT を撮影した 5 症例である。

咀嚼筋の抽出に際しては、咀嚼筋の内部の一点を指定し、その点を中心とした近傍 125 ボクセルを初期領域として設定した。この初期領域に対しその輪郭上の 1 つのボクセルに注目し、これを中心とした近傍 27 ボクセルが持つ CT 値の標準偏差と、その 27 ボクセル中で初期領域に含まれないボクセルが持つ CT 値の標準偏差を求めた。それらの値をもとに、次の 3 つの条件を満たした場合に初期領域以外のボクセルを初期領域として取り込む領域拡張を行った。

- (1) 27 ボクセルのすべての点がエッジ画像のエッジ候補点に接触していない。
- (2) 27 ボクセルすべての点が CT 値 10 以上 120 未満である。
- (3) 次の式を満たしている場合、 $100 * (OR - FR) / FR \leq 4.00$ (OR: 27 ボクセルの CT 値の標準偏差, FR: 27 ボクセル中初期領域以外のボクセルの CT 値の標準偏差)

この領域拡張法を初期領域の輪郭を成すボクセルの全てについて行った。次に初期領域と拡張された領域を合わせた領域を新たな初期領域として再度同様の処理を行い、拡張前後の総ボクセル数の差が一番小さくなったところで反復処理を終了とした。

得られた咀嚼筋の画像と軟組織の濃淡強調画像との重ね合わせを行い、形態を比較した。咀嚼筋の3次元的な形態を捉えるため、咀嚼筋付き頭蓋骨模型を作製した。

【結果】

咬筋中央部では、7 ケースで正しく抽出していたが、3 ケースでは耳下腺の一部を取り込んでいるのが見られた。上方部では、抽出不足が生じているものが3 ケース見られ、側頭筋、耳下腺の一部を取り込んでいるものも5 ケース見られた。下方部では、5 ケースが正しく抽出していたが、4 ケースにおいて後方が十分に抽出されていないものが見られた。内側翼突筋中央部では、6 ケースで正しく抽出していたが、咽頭収縮筋を抽出しているケースが3 ケースみられた。上方部では、8 ケースで起始部に近いところで抽出不足が生じていた。下方部では、5 ケースで正しく抽出しているものの、残り5 ケースでは顎下線や茎突舌骨筋も一体となって抽出されているのが見られた。外側翼突筋中央部では、全ケースで抽出不足が生じていた。上方部では、中央部と同様に抽出不足が生じている傾向が見られた。下方部では、8 ケースで抽出不足が生じていた。

【考察】

咬筋中央部では、隣接した組織がないため良好な結果が得られたと思われる。上方部では、側頭筋、耳下腺が近接しており、CT 値の差がほとんどないため、それらの一部を取り込んでしまったと考えられる。内側翼突筋では咽頭収縮筋、顎下線、茎突舌骨筋が近接し CT 値も近似しているため、それらの一部を取り込んでしまい、誤差を生じたものと考えられる。外側翼突筋では、部分体積効果の影響を受け抽出不足が著しかった今回用いた方法では、他の軟組織も併せて抽出してしまう問題を完全に解決するには至らなかったが、従来法では、手作業による追加処理は必須であったため、自動処理による抽出は実現できたと考えている。

【結論】

顎顔面領域において3次元画像から軟組織輪郭を抽出する研究はまだ数少ない。そこで今回 CT から得られた画像データから領域拡張法を用いた咀嚼筋輪郭の自動抽出を試み、3次元立体模型を作製した。その結果、外側翼突筋で、輪郭の抽出不足により縮小された形態を示すものがあったほか、咬筋・内側翼突筋で耳下腺、顎下線等の組織の一部をあわせて抽出したものが観察されたが、概ね解剖学的に良好な形態を抽出できることが示された。

各審査委員が行った主な質問事項は以下の通りである。

- 1) 従来の方法とどのように異なるのか？
- 2) 今回の結果で実用化は可能か？
- 3) MRI で行うとどう異なるのか？
- 4) 外側翼突筋の上部ではなぜ抽出不足が大きいのか？
- 5) 外側翼突筋・内側翼突筋の分離は可能か？
- 6) 開始点を変えると結果は変わるのか？
- 7) 自動抽出には限界があるのではないか？

これらの質問に対して、論文申請者から明快な回答ならびに説明が得られ、さらに今後の研究についても明快な方向性をもっていると判定した。

審査委員は全員、本研究が学位論文として充分値し、申請者が博士（歯学）の学位を授与される資格を有するものと認めた。