

学位論文題名

Reconstruction of Masseter Muscle Model from 3D-CTData

（3次元CTデータからの咬筋モデルの作製）

学位論文内容の要旨

〔目的〕

手術シミュレーションのために、現在CTやMRIを用いて、多くの研究がされており、Rapid prototyping (RP) technology もそのうちのひとつである。我々の教室でも、RP technology を用いて頭蓋骨模型を作成し、顎矯正手術の際の手術シミュレーションに活用してきた。骨組織に対するこれらの応用は実用の域に達している。

これまでの方法では、CTのスライスデータから同一平面内の2次的に骨の境界のみを検出してきた。このため、個々のスライスデータ間の相互関係は考慮されておらず、従来法による前頭面断の画像は不連続であった。

更に、咬筋や皮膚その他の軟組織は、顎矯正手術前後で変化していると考えられており、術後の後戻りの原因の一つとなっている可能性がある。また、軟組織を抽出し、変化を計測することは現在までのところ非常に困難であった。軟組を織抽出し、その変化を知ることで術後の顎機能変化を解明できることを期待している。本研究の目的は、CTデータから3次的な咬筋の境界を抽出する方法の検討である。

〔方法〕

今回使用した三次元CTデータは、顎変形症による咬合不全の改善を目的として、本学附属病院において1996年4月に顎矯正手術を受けた27歳女性のデータを使用した。本データは手術から2年後の1998年3月に、同附属病院のCT装置であるシーメンス旭メディテック社製SOMATOM PLUS Sを用いて撮影された。

抽出に先立ち、各スライスごとの咬筋とその周囲の各ボクセルのCT値とその座標を詳細に検討した。その結果として咬筋のCT値を15~95とした。

今回用いた方法では、各々のボクセル（画素）について、注目点のボクセルのCT値が筋組織を示す値の範囲内（CT値15~95）にある場合には、このボクセルは咬筋を示すと考える。注目点を含めその3次的な周囲26近傍のボクセルを一つの検索単位として定義すると、一つの検索単位内において、注目点を通り対称の位置にあるボクセル対は、13通りある。ここで、対をなすボクセルのうち、一方のボクセルのCT値が咬筋を示す15-95の範囲内にあり、かつ、他方がそれ以外の値をとるようなボクセル対が、13通りのうち一つでも存在する場合、注目点のボクセルは咬筋の境界を示す、と判断し抽出を試みた。

〔結果〕

1) 従来法では、咬筋の境界は単一ボクセルの線として抽出されたのに対し、本方法では、幅を持った線として抽出された。両方法共にCTの原画像と比較して、その外周はほぼ適正と

思われた。

2) 近似したCT値を持ち近接する耳下腺との境界は、両方法で、比較的明瞭に示された。

3) 両方法共に、部分的に骨周囲を咬筋の境界と誤って抽出した。

4) 前頭面断の画像上で従来法と本方法を比較すると、従来法では、境界線は、特に水平的な変化が大きいところで、不連続になっていた。これに対し、本方法では境界は、完全につながった線として抽出された。

5) 本方法は、従来法よりも約 20%処理に多くかかったが、100秒を越えるものではなかった。

[考察]

CT値について

今回の研究の結果、咬筋を示すと考えられるCT値の範囲は、当初 15-130 であるとわかった。このうち、CT値 100 以上を示す部位は、咬筋の前方部のごく一部に限られており、それ以外の大半の部位はCT値 15-95 の範囲内にあった。更に、咬筋の境界となりうるボクセルは、原画像と比較して、15-95 の範囲内に存在していた。

CT値 100 以上を示すボクセルは骨周囲にも存在する。これらは、骨から周囲組織に移行する部位のうち、ボクセルの一部に骨組織を含み、結合組織のCT値よりも大幅に高くなっているものである。今回の研究では最終的に、これらの余剰データを自動処理のみで完全に除去することは出来なかったが、外部との境界の正確さを最重要と考え、骨周囲のCT値 100-250 の部位を可能な限り除くため咬筋のCT値を 15-95 とした。

軟組織のCT値は骨等のアーチファクトの影響を強く受けるため、咬筋を抽出するための敷居値は、他の筋、特に他の領域の筋群には適用できない可能性がある。現在のところ、炎症や年齢、個人差の影響についての検討は、今回行ってあらず、また、唾液腺に対するそれらの影響についても、まだわかっていない。これらは、今後の検討課題と考えている。

咬筋の境界について

水平面において原画像と比較すると、従来法と本方法の両方で適切な境界線の外周が得られていると考えられる。両方法の境界の外周はほぼ同じ形態をしており、これは、同一の敷居値を用い、二次元と三次元の差はあるが、同様の原理を用いた抽出法であるためと考えられる。

両方法共に、咬筋境界は骨の周囲に繋がる余剰データを伴っていた。これらを手作業により除去することは出来たが、それには客観性を低下させるという問題がある。

本方法では、上下スライス間の境界をも検討している。この違いによって、本方法による境界線が幅を持っていると考えられる。従来法によって処理された連続する3画像と、それらのうちの中心の処理画像に相当する本方法による処理画像を比較する。従来法による処理画像において、中心の処理画像の咬筋の境界線の内側に、上下処理画像の咬筋の境界線が位置しているとき、本方法ではこの差とほぼ同型の幅を持った境界を抽出している。これに対し、従来法の中心処理画像の境界線よりも外側に上下処理画像の境界線が存在するとき、本方法では、この差を境界とは判断していない。これは、本方法が、上下処理画像間の境界も同時に検出しているためであると考えられる。

これと同じことを、前頭面断に再構成した画像においても観察することが出来る。従来法による画像では、境界線は、水平的に大きく変化しているところでは不連続になっているのに対し、本方法では、完全に連続した線として抽出されている。

今回は、積層造形装置を用いて模型作製する際には、本方法の最外周のみのデータを用いた。しかし、ある組織をひとつのオブジェクトとしてとらえるためには、その境界が三次元的に閉じていることが重要で、連続性を持つデータを得ることが出来る今回の方法を顎顔面領域のコンピュータ上での手術シミュレーションに応用することは、非常に有益であると考えられる。

処理時間について

今回の研究によって、処理時間も大幅に短縮された。コンピュータによる処理時間だけを比較すると、今回の方法の方が約 20%多く時間がかかっているが、三次元的な連続性を保つための手作業による修正が不要となり、トータル処理時間では、本方法の方が、大幅に時間が短縮されていることになる。

〔結論〕

今回用いた方法では、パーソナルコンピュータ上で半自動的に境界が検出され、得られたデータは、手作業によるデータの修正なしに上下スライス間の連続性を保持しており、従来法と比べてトータルのデータ処理時間を大幅に短縮できた。また、得られたデータから、咬筋及び咬筋付き頭蓋骨模型を作製できた。

学位論文審査の要旨

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

学 位 論 文 題 名

Reconstruction of Masseter Muscle Model from 3D-CTData

(3次元CTデータからの咬筋モデルの作製)

審査は、大畑、吉田及び中村審査委員全員が出席のもとで、学位申請者から本論文の概要について説明させた後、各審査委員から口頭試問の形式で行われた。以下に提出論文の要旨と審査の内容を述べる。

[目的]

手術シミュレーションのために、現在CTやMRIを用いて、多くの研究がされており、Rapid prototyping (RP) technology もそのうちのひとつである。我々の教室でも、RP technology を用いて頭蓋骨模型を作成し、顎矯正手術の際の手術シミュレーションに活用してきた。骨組織に対するこれらの応用は実用の域に達している。

これまでの方法では、CTのスライスデータから同一平面内の骨の境界のみを2次元的に検出してきた。このため、データの走査方向に抽出結果が依存する傾向が強かった。しかし、軟組織を抽出し、変化を計測することは現在までのところ非常に困難であった。

本研究の目的は、術後の後戻りの原因の一つと考えられる咬筋の術前術後の変化について臨床的検討を行うために、CTデータから3次元的な咬筋の境界を自動抽出する方法を考案することである。

[方法]

今回使用した三次元CTデータは、本学附属病院において1996年4月に顎矯正手術を受け、同附属病院のCT装置であるシーメンス旭メディテック社製SOMATOM PLUS Sを用いて撮影された。抽出に先立ち、各スライスごとの咬筋とその周囲の各ボクセルのCT値とその座標を詳細に検討した。その結果として咬筋のCT値を15~95とした。

今回用いた方法では、各々のボクセル(画素)について、注目点のボクセルのCT値が筋組織を示す値の範囲内(C T値15~95)にある場合には、このボクセルは咬筋を示すと考え、注目点を含めその三次元的な周囲26近傍のボクセルを一つの検索単位として定義すると、一つの検索単位内において、注目点を通り対称の位置にあるボクセル対は、13通りある。ここで、対をなすボクセルのうち、一方のボクセルのCT値が咬筋を示す15-95の範囲内に

あり、かつ、他方がそれ以外の値をとるようなボクセル対が、13通りのうち一つでも存在する場合、注目点のボクセルは咬筋の境界を示す、と判断し抽出を試みた。

【結果と考察】

今回の研究の結果、咬筋を示すと考えられるCT値の範囲は、当初 15-130 であるとわかったが、外部との境界の正確さを最重要と考え、骨周囲のCT値 100-250 の部位を可能な限り除くため咬筋のCT値を 15-95 とした。

水平面において原画像と比較すると、従来法と本方法の両方で適切な境界線の外周が得られていると考えられる。両方法の境界の外周はほぼ同じ形態をしており、これは、同一の閾値を用いたためと考えられる。両方法共に、咬筋境界は骨の周囲に繋がる余剰データを伴っており、手作業にデータの修正が必要であった。従来法によって処理された連続する3画像と、それらのうちの中心の処理画像に相当する本方法による処理画像を比較すると、本方法による境界線の幅が、従来法による境界の差を示していることがわかる。このことから、本方法が上下スライス間の境界をも抽出しているといえる。

これと同じことを、前頭面断に再構成した画像においても観察することが出来る。従来法による画像では、境界線は、水平的に大きく変化しているところでは不連続になっているのに対し、本方法では、完全に連続した線として抽出された。

コンピュータによる処理時間だけを比較すると、今回の方法の方が約 20%多く時間がかかっているが、三次元的な連続性を保つための手作業による修正が不要となり、トータルの処理時間では、本方法の方が、大幅に時間が短縮されていることになる。

また、本方法で得られたデータを用いて、光造形法により咬筋モデルを作製しシミュレーション等の臨床応用が可能であることも確認した。

各審査員が行った主な質問は以下の通りである。

- 1) 本研究による精度は従来法と比較してどの様に変ったか
- 2) 本研究による方法の利点は何か
- 3) 耳下腺との境界はどの被験者でも検出可能か
- 4) 他の咀嚼筋の抽出はこの方法で可能か
- 5) 本データを用いた理由は何か
- 6) MRI データから咬筋を抽出することは考えなかったか
- 7) 今後の研究を進める予定

これらの質問に対して、論文申請者から明快な回答及び説明が得られた。審査委員は全員、本研究が学位論文として十分値し、申請者が博士（歯学）が学位授与される資格を有するものと認めた。