

学位論文題名

咀嚼時口唇付近の動きに関する多点時系列解析

学位論文内容の要旨

**目的**

口腔周囲の口唇、頬といった可動性軟組織は、顔の表情を形成するだけでなく、食物の摂取、吸引、咀嚼および嚥下や構音が円滑に遂行できるように補助しており、これら軟組織の動きと咀嚼運動の関わりは深い。口腔機能の評価には、下顎運動、咀嚼筋筋電図による評価や咀嚼効率、咬合力による評価等がこれまで行われてきた。それに対し、口唇付近軟組織表面に表われる動きで、口腔機能の評価した研究は少ない。咀嚼運動は、歯牙、顎関節、咀嚼筋、表情筋、舌の協調運動により構成されており、咀嚼は各構成要素がそれぞれ円滑に動き、それらが巧みに統合されて営まれている。それゆえ、その構成要素である表情筋皮膚表面の動きの解析は、咀嚼運動の機能評価の一手法として利用されるのではないかと考えた。表情筋皮膚表面の動きで顎口腔機能の評価できれば、その臨床的有用性が高いと思われる。このような背景において、本研究では、口腔周囲皮膚表面の動きを3次元多点時系列で捉える非接触のシステムを開発するとともに、被験者の口唇付近軟組織の動きを記録、解析し、顎口腔機能の評価に応用することを試みた。

**研究方法**

**1. 計測原理**

本システムは左右2台のCCDモノクロカメラモジュールと25mm手動レンズで口腔周囲皮膚表面上に貼付した黒色標点を撮影し、左右画像における視差に三角測量の原理を応用して標点の3次元座標を算出するものである。

## 2. システムの計測精度評価

システムの精度を検定するため、CCDカメラの距離方向に対し垂直な平面パターンを被写体に使用した。平面パターンは、白色の平面上に直径約1mmの黒色標点8個を有し、XYZステージ上に固定して移動した。生体計測時の精度は顔面の彎曲形態の影響を受けることが考えられるため、被写体にヒトの口唇付近の白色石膏模型を使用した。その模型上に直径1mmの黒色標点8個を貼付し、XYZステージ上に乗せ、大きく影響を受けるZ方向のみ、0~10mm移動させて精度検定を行った。

## 3. 咀嚼運動解析

被験者は健常有歯顎者5名(年齢24~30才、平均27才)と総義歯装着者3名(年齢56~70才、平均62才)で計測範囲の皮膚に白色どうらんを塗布し、直径約1mmの黒色標点を含んだ2.5mm四方のシールを上下口唇、左右口角結節部および頬部に計15個、生体基準平面として選んだカンペル平面皮膚上に4個を貼付した。頭部を固定した状態で、自発的な周期で左側および右側で十分軟化させたガムを閉唇咀嚼させ記録した。咀嚼開始から3~12ストロークまでの10ストロークの口唇付近軟組織の動きを解析し、健常有歯顎者と上下総義歯装着者との間で、各標点の運動量、運動方向、運動周期の変動、速度のピーク数、加速度のピーク数および加速度のゼロクロス数を比較した。なお統計処理には危険率5%でt検定を使用した。

## 結果

### 1. 精度検定

計測精度は、カメラに角度を付けて配置した方法において10×10×10mmの範囲で、X方向で平均:0.000mm, S.D.:0.023mm, Y方向で平均:0.000mm, S.D.:0.011mmと高い精度が得られたが、Z方向ではX, Y方向より低く、平均:0.022mm, S.D.:0.109mmであった。X, Y, Zとも被写体までの距離と測定誤差との関連は認められなかった。また標点別評価により、レンズの歪みによる影響は測定誤差に比べ小さいものであると考えられた。更に、Z方向の精度向上を目的としたカルマンフィルターによる線形運動予測を併用したところ、精度向上効果が確認された。ヒトの口唇付近の白色石膏模型を使用し、精度検定を行ったところ、標点の貼付位置による

計測精度の違いは少なく、その彎曲形態が精度に与える影響は少ないと考えられた。

## 2. 咀嚼運動解析

ガム咀嚼時の各標点の運動方向、運動量は、健常有歯顎者と総義歯装着者との間で明らかな差を示さなかった。運動周期の変異係数は、総義歯装着者の方が有意に大きく、リズム規則性が低かった。加速度のゼロクロス数、速度のピーク数、加速度のピーク数では、X,Y,Z方向の全てにおいて総義歯装着者の方が有意に増加しており、咀嚼運動の円滑さを欠いていた。以上のパラメーターで、両者間に有意な差を認め、総義歯装着者は健常有歯顎者に比べ運動の円滑さを欠くことが認められた。

## 考察

口腔周囲軟組織の動きを高い精度で3次元多点時系列計測するシステムを開発した。本システムの計測精度は、最も低いZ方向で約0.1mmであり、形態変化に富む軟組織を対象とした本研究にとっては、十分な精度であると考えられた。しかし、本システムのサンプリング周期は画像記録装置による制約で $\frac{1}{15}$ 秒と長く、また、画像の計算機への転送、画像処理のため即応性に乏しいため、ハード、ソフト両面での改良が今後必要であると思われた。

咀嚼運動の解析から総義歯装着者の軟組織皮膚表面の運動が、円滑さを欠くことが示された。その生理的な要因として、総義歯装着者は、歯根膜のmechanoreceptorを欠くため感覚受容器の質的、量的な減少が生じていたこと、口腔粘膜の多くを義歯床が覆っているため食物、舌との直接接触が妨げられ、感覚刺激が減少していたこと、また被験者とした総義歯装着者の年齢が健常有歯顎者より高かったため、加齢による運動、感覚機能の低下および巧緻性の低下、皮膚のシワ、たるみ、弾力低下の影響が考えられた。物理的要因として、総義歯の動揺が舌、口唇、頬粘膜の協調運動を妨げ、咀嚼運動を障害し、更に総義歯の動揺が大きくなると頬粘膜、口唇、舌等で義歯の動揺を抑える動きを生じ、口腔周囲軟組織の動きに影響を与えたことが考えられた。

以上のことから、本システムを使用することによって、健常有歯顎者と総義歯装着者の間で口腔軟組織表面の動きの円滑さの差を評価できることが確認され、本解析法は顎口腔系の機能評価の一手法として用いることができるものと考えられた。

## 学位論文審査の要旨

主査 教授 川崎 貴生  
副査 教授 亀田 和夫  
副査 教授 亘理 文夫

### 学位論文題名

## 咀嚼時口唇付近の動きに関する多点時系列解析

審査は亀田、亘理および川崎審査委員全員が出席のもとに学位申請者に対し、提出論文の内容とそれに関連する学科目について口頭試問によって行った。

以下に提出論文の要旨と審査の内容を述べる。

口腔周囲の口唇、頬などの可動性軟組織は、顔の表情を形成するだけでなく、食物の摂取、吸引、咀嚼および嚥下や構音が円滑に遂行できるように補助しており、これら軟組織の動きと咀嚼運動の関わりは深い。それにもかかわらず、口唇付近軟組織表面に表われる動きを、口腔機能の評価に利用した研究は少ない。咀嚼運動は、歯牙、顎関節、咀嚼筋、表情筋、および舌の協調運動により成り立っており、咀嚼は各構成要素がそれぞれ円滑に動き、それらが巧みに統合されて営まれているものである。それゆえ、その構成要素である表情筋皮膚表面の動きの解析が、咀嚼運動の機能評価の一手法として利用でき、その臨床的有用性は高いものと考えられる。学位申請者は、口唇周囲皮膚表面の動きを3次元多点時系列で捉える非接触のシステムを開発するとともに、被験者の口唇付近軟組織の動きを記録、解析し、顎口腔機能の評価に応用することを試みている。軟組織表面の動きを多点で、かつ3次元で解析する研究は少なく、その独創的な点を高く評価した。

本提出論文の研究方法は次の3項目から構成されている。

## 1. 計測原理とシステムの開発

本システムは左右2台のCCDモノクロカメラモジュールと25mm手動レンズで口腔周囲皮膚表面上に貼付した黒色標点を撮影し、左右画像における視差に三角測量の原理を応用して標点の3次元座標を算出する方法を採用した。このデータに時系列解析を併用することによって、標点の動きを解析している。今までに報告されているこの計測法は静止画像に対するものがほとんどであり、動的解析を可能とした点は評価できるものであった。

## 2. システムの計測精度評価

システムの精度検定のため、CCDカメラの距離方向に対し垂直な平面パターンを被写体に使用した。平面パターンは白色の平面上に直径約1mmの黒色標点8個を有し、これをXYZステージ上に固定して移動することによってシステムの精度検定を行った。加えて、顔面の彎曲形態の影響を考慮し、被写体にヒトの口唇付近の白色石膏模型上においても、Z方向へ0~10mm移動させて精度検定を行った。

## 3. 咀嚼運動解析

被験者として健常有歯顎者5名（年齢24~30才，平均27才）と総義歯装着者3名（年齢56~70才，平均62才）を選び、被験者の計測範囲皮膚上に白色どうらんを塗布し、直径約1mmの黒色標点を含んだ2.5mm四方のシールを上下口唇、左右口角結節部および頬部に計15個、生体基準平面として選んだカンペル平面相当の皮膚上に4個を貼付した。記録は被験者の頭部を固定した状態で、自発的な周期で左側および右側で十分軟化させたガムを閉唇咀嚼させて行った。咀嚼開始から3~12ストロークまでの10ストロークの口唇付近軟組織の動きを角度を付けて配置した左右カメラで記録後、データを解析した。解析項目は、健常有歯顎者と上下総義歯装着者の間の、各標点の移動量、移動方向、運動周期の変動、速度のピーク数、加速度のピーク数および加速度のゼロ交差数の差とした。なお統計処理にはt検定を使用し、危険率5%の基準で評価した。運動の円滑さが機能異常の評価の基準になりうるという報告はあるものの、本論

文提出者の使用したパラメータに着目した報告はほとんどなく、今後の追試が必要であるとも言えるが、新規性の高いものである。

以上の方法によって得られた研究結果は次の2点に要約できた。

### 1. 精度検定

計測精度は、カメラに角度を付けて配置した方法において10×10×10mmの範囲で、X方向で平均:0.000mm, S.D.:0.023mm, Y方向で平均:0.000mm, S.D.:0.011mmと高い精度が得られたが、Z方向の精度はX,Y方向より低く、平均:0.022mm, S.D.:0.109mmであった。しかし、X,Y,Zとも被写体までの距離と測定誤差との関連は認められなかった。また標点別評価から、レンズの歪みによる影響は測定誤差に比べ小さいものであった。さらに、Z方向の精度向上を図るため、カルマンフィルターによる線形運動予測を併用したところ、精度向上の効果が確認された。ヒトの口唇付近の白色石膏模型を使用し、精度検定を行ったところ、標点の貼付位置による計測精度の違いは少なく、その彎曲形態が精度に与える影響は少なかった。

### 2. 咀嚼運動解析

ガム咀嚼時の各標点の運動方向と移動量は、健常有歯顎者と総義歯装着者との間で明らかな差を示さなかった。運動周期の変異係数は、総義歯装着者の方が有意に大きく、リズム規則性が低かった。加速度のゼロ交差数、速度のピーク数および加速度のピーク数は、X,Y,Z方向の全てにおいて総義歯装着者の方が有意に増加しており、咀嚼運動時の皮膚表面軟組織の動きに円滑さを欠いていた。以上のパラメータで、両者間に有意な差を認め、総義歯装着者は健常有歯顎者に比べ運動の円滑さを欠くことが認められた。

これまで述べてきた方法と結果に対し、学位申請者は次のように考察した。

口腔周囲軟組織の動きを高い精度で3次元多点時系列計測するシステムを開発でき、その計測精度は、最も低いZ方向で約0.1mmであり、形態変化に富む軟組織を対象とした本研究にと

っては、十分な精度であると考えられた。しかし、本システムのサンプリング周期は画像記録装置による制約で1/15秒と長く、また、画像の計算機への転送、画像処理のため即応性に乏しいため、ハード、ソフト両面での改良が今後必要であると考えられる。

咀嚼運動の解析から総義歯装着者の軟組織皮膚表面の運動は、円滑さを欠くことが示された。その生理的な要因として、総義歯装着者は、歯根膜のmechanoreceptorを欠くため感覚受容器の質的、量的な減少が生じていたこと、口腔粘膜の多くを義歯床が覆っているため食物、舌との直接接触が妨げられ、感覚刺激が減少していたこと、また被験者とした総義歯装着者の年齢が健常有歯顎者より高かったため、加齢による運動、感覚機能の低下および巧緻性の低下、皮膚のシワ、たるみ、弾力低下の影響が考えられた。物理的要因として、総義歯の動揺が舌、口唇、頬粘膜の協調運動を妨げ、咀嚼運動を障害し、更に総義歯の動揺が大きくなると頬粘膜、口唇、舌等で義歯の動揺を抑える動きを生じ、口腔周囲軟組織の動きに影響を与えたことが考えられた。

以上の結果より、本システムの精度は臨床応用の可能な範囲内にあり、本手法によって健常有歯顎者と総義歯装着者の間で口腔軟組織表面の動きの円滑さの差を評価できることが確認され、本解析法は顎口腔系の機能評価の一手法として用いることができるものと考えていると結論づけた。

次いで本論文に関連のある質問が行われた。これらの試問に関してそれぞれ適切な回答が得られた。また、本研究は顎口腔機能評価の一手法として独創性を有し、かつ臨床に応用できる価値のあるものであることが認められた。よって、学位申請者は博士（歯学）の学位授与にふさわしいものと認めた。