

博士（歯学）坂口 究

学位論文題名

咀嚼時における口唇周囲軟組織の
動きに関する空間的構造分析

－主成分分析の応用－

学位論文内容の要旨

緒言

咀嚼運動に関する研究は比較的詳しく検討されているが、咀嚼時の下顎の運動を解析したものがほとんどである。咀嚼運動は、顎顔面の総合的な活動であり、摂食から嚥下に至るまで円滑に営まれる運動であるが、こうした一連の運動において、口唇・頬という口唇周囲軟組織は下顎運動と密接に関係し、特有の挙動を示すとともに円滑な咀嚼運動と協調している。このことから、咀嚼運動時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は口腔機能と深く関連していると考えられ、その運動の解析によって咀嚼運動評価、さらに顎口腔機能評価が行えると考えた。

咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、剛体の運動ではない。ゆえに、口唇周囲軟組織皮膚表面上のそれぞれの測定点の運動を表現するには3つの変数、つまり3自由度が必要となる。そこで、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動を、15測定点の運動で評価しようとすると、45自由度をもつ膨大な変量の数の運動となる。しかし、これではあまりに変量が多く、解析方法として問題がある。そこで本研究では、多変量統計解析の一手法である主成分分析法（PCA）を応用して、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面上の15測定点の運動（45自由度をもつ時系列データ）から、咀嚼運動を代表する総合的指標（主成分；principal component）を抽出し、より低い自由度に還元することが可能であるかを検討した。また、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動を主成分分析法により解析する手法が咀嚼運動、そして顎口腔機能の評価法として有効であるかについても検討した。

方法

被験者には、歯の欠損がなく、顎口腔機能に特に異常が認められない健常有歯顎者15名（年齢23～30歳、平均25.9歳），および上下総義歯装着後3年以上経

過し、臨床的に予後良好と判断した上下総義歯装着者4名（年齢56～74歳、平均65.5歳）を選択した。

本システムは、頭部を軽く固定するものの測定コードやクラッチ、マグネットなどの測定機器を顎顔面領域に装着することなく、無拘束状態でより生理的な咀嚼運動が記録できる。また、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の動きを0.1mm程度の精度で、3次元多点時系列で解析することができるシステムである。本システムの基本的な原理は、顔面皮膚上に貼付した測定点を、左右2台のCCDカメラで観測し、そのとき生じる視差に三角測量の原理を応用して、測定点の3次元座標値を計測するものである。

計測方法は、上下口唇、オトガイ部、左右口角結節部および頬部に合計15個の測定点を貼付したのち、頭部を固定した状態で計測用椅子に座らせ、十分軟化したチューインガムを自発的な周期で、咀嚼側を規定し閉唇咀嚼させた。

データのサンプリングは、咀嚼開始5ストロークからの数ストローク（5秒間）を記録した。そして、各被験者ごとに連続する30フレーム（1秒間）の主成分分析を行った。

結果および考察

1. 寄与率、累積寄与率

1) 健常有歯顎者

第1主成分（以下1st P.C.とする）、第2主成分（以下2nd P.C.とする）、および第3主成分（以下3rd P.C.とする）の寄与率の平均と標準偏差は、それぞれ59.5%（5.5）、28.8%（5.9）、8.9%（3.6）であった。また、2nd P.C.、3rd P.C.までの累積寄与率の平均と標準偏差は、それぞれ88.2%（3.9）、97.2%（0.9）であった。

以上より、3rd P.C.まで求めれば咀嚼時の口唇周囲皮膚表面の運動の97.2%を表現できることが明らかになった。したがって、健常有歯顎者の咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、3自由度の運動として十分表現可能であることが示された。

2) 上下総義歯装着者

1st P.C.、2nd P.C.、3rd P.C.、および第4主成分（以下4th P.C.とする）の寄与率の平均と標準偏差は、それぞれ60.1%（1.2）、24.3%（2.8）、9.3%（2.8）、3.0%（1.1）であった。また、2nd P.C.、3rd P.C.、そして4th P.C.までの累積寄与率の平均と標準偏差は、それぞれ84.4%（3.1）、93.6%（1.3）、96.6%（0.2）であった。

以上より、4th P.C.まで求めれば咀嚼時の口唇周囲皮膚表面の運動の96.6%を表現できることが明らかになった。したがって、上下総義歯装着者の咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、4自由度の運動として十分表現可能であることが示された。

2. 主成分得点表

1) 健常有歯顎者

1st P.C., 2nd P.C., および3rd P.C.の咀嚼周期の平均と標準偏差は、0.73 sec (0.10), 0.74 sec (0.11), 0.73 sec (0.11) であった。また、それぞれの主成分の変動係数の平均と標準偏差は、6.96% (2.85), 7.37% (2.42), 9.19% (4.83) であった。

2) 上下総義歯装着者

1st P.C., 2nd P.C., 3rd P.C., および4th P.C.の咀嚼周期の平均と標準偏差は、1.18 sec (0.28), 1.22 sec (0.32), 1.14 sec (0.25), 1.14 sec (0.20) であった。また、それぞれの主成分の変動係数の平均と標準偏差は、7.23% (1.56), 10.49% (4.11), 16.12% (3.09), 16.54% (8.90) であった。

以上より、主成分分析の結果、健常有歯顎者、上下総義歯装着者ともに還元されて求まるそれぞれの主成分には周期性のあることが分かった。また、上下総義歯装着者は、健常有歯顎者と比較し、還元されたそれぞれの主成分において咀嚼周期が延長し、かつ変動係数の結果から、咀嚼リズムが不安定である傾向がみられた。

これまで健常有歯顎者と総義歯装着者の咀嚼運動を比較検討した研究において、両者ともに咀嚼周期は安定しているが、後者の場合、咀嚼周期が延長し、かつ咀嚼リズムが不安定であると報告されている。本解析結果からも、両者ともに還元されて求まるそれぞれの主成分で同様の結果が得られた。

3. 本解析方法による咀嚼運動評価について

本手法は、45自由度という多変量の運動を、より低い自由度に還元することができ、その運動の空間的評価を行うことができた。また、主成分得点表を用いて、その還元されたそれぞれの主成分の時間的評価も行うことができた。

したがって、本研究から多変量統計解析法の一手法である主成分分析法は、咀嚼運動の客観的評価法として有効であることが示唆された。

結論

本研究において健常有歯顎者15名、上下総義歯装着者4名の咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動、すなわち45自由度をもつ時系列データに対して、主成分分析法を応用して解析したところ、以下の結論を得た。

1. 健常有歯顎者の咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、3自由度（3次元変量）の運動として十分表現可能であることが示された。
2. 上下総義歯装着者の運動は、4自由度（4次元変量）の運動として十分表現可能であることが示された。
3. 咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、多変量統計解析法の一手法である主成分分析法により、空間的、かつ時間的にも定量的に解析可能であることが示され、咀嚼運動および顎口腔機能の評価法として、本解析方法の有効性が示唆された。

学位論文審査の要旨

主査教授 川崎貴生

副査教授 大畠昇

副査教授 赤池忠

学位論文題名

咀嚼時における口唇周囲軟組織の 動きに関する空間的構造分析

－主成分分析の応用－

審査は大畠、赤池および川崎審査委員全員が出席のもとに、まず論文提出者に対して提出論文の内容の要旨を説明させ、提出論文の内容に関する審査委員の口頭試問を行った。以下に、提出論文の要旨と審査の内容を述べる。

1. 提出論文の要旨

咀嚼運動に関する研究は比較的詳しく検討されているが、咀嚼時の下顎の運動を解析したものがほとんどである。咀嚼運動は、顎顔面の総合的な活動であり、摂食から嚥下に至るまで円滑に営まれる運動であるが、こうした一連の運動において、口唇・頬という口唇周囲軟組織は下顎運動と密接に関係し、特有の挙動を示すとともに円滑な咀嚼運動と協調している。このことから、咀嚼運動時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は口腔機能と深く関連していると考えられ、その運動の解析によって咀嚼運動評価、さらに顎口腔機能評価が行えると考えた。

そこで本研究は、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面上の15測定点の運動(45自由度をもつ時系列データ)から、咀嚼運動を代表する総合的指標(主成分)を多変量統計解析の一手法である主成分分析法を応用して抽出し、より低い自由度に還元することが可能であるかを検討するとともに、この解析法が咀嚼運動、そして顎口腔機能の評価法として有効であるかについても検討することを目的として行った。

本システムは、頭部を軽く固定するものの測定機器を顎顔面領域に装着することなく、無拘束状態でより生理的な咀嚼運動が記録できる。基本的な原理は、測定点を左右2台のCCDカメラで観測し、そのとき生じる視差に三角測量の原理を応用して、測定点の3次元座標値を計測するものである。

計測方法は、口唇周囲軟組織皮膚表面に15個の測定点を貼付したのち、頭部を固定した状態で計測用椅子に座らせ、十分軟化したチューインガムを自発的な周期で、咀嚼側を規定し閉唇咀嚼させた。データのサンプリングは、咀嚼開始5ス

トロークからの数ストローク(5秒間)を記録した。そして、各被験者ごとに連続する30フレーム(1秒間)の主成分分析を行った。

45自由度の時系列データに対して、主成分分析法を応用して解析した結果、健常有歯顎者の咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、第3主成分まで求めれば、その運動(45自由度の時系列データ)の97%以上が表現できた。つまり、健常有歯顎者の咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、3自由度の運動として十分表現可能であることが示された。同様に、上下総義歯装着者の運動は、4自由度の運動として十分表現可能であることが示された。また、還元されて求まる各主成分の固有ベクトル図は、運動の方向を表しており、それぞれの主成分の意味を判断するのに利用することができた。さらに還元されたそれぞれの主成分を主成分得点の時系列変化として捉えることにより、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動を時間的にも定量的に解析することができた。

以上のことから、咀嚼時の口唇周囲軟組織皮膚表面の運動は、多変量統計解析法の一手法である主成分分析法により、空間的、かつ時間的にも定量的に解析可能であることが示され、咀嚼運動および顎口腔機能の評価法として、本解析方法の有効性が示唆された。

2. 審査委員からの質問

- (1) ベクトル図の算出方法について
- (2) 1秒間のデータに対して主成分分析を行っているが、総義歯装着者の場合、サンプリング時間をもう少し長くすると、ベクトル図の結果が変わったのではないか。
- (3) 下顎運動の分類も同時にを行うことにより、還元された各主成分の咀嚼リズムも理解しやすくなるのではないか。
- (4) 健常者の還元された各主成分のベクトル図は、臨床的に予想できるきれいなデータが得られているが、総義歯装着者の場合は、心理的な要因が働いたために今回のような結果がでたのではないか。

以上これらの質問に対して、論文提出者はそれぞれに的確な解答を述べるとともに、今後の展望についても明確に言及した。

論文提出者は、国内外ともに咀嚼運動時における下顎面の運動の標準データが報告されていないなかで、機能分析の基準となる正常者の咀嚼運動のデータベース(特に咀嚼運動を安定性から評価したデータ)を構築しようとしている。また、本研究の今後の展望に関するもしかりとした研究立案をもっており、将来性の点においても高く評価されるものであった。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。