

学位論文題名

舌運動 3次元計測システムの開発と骨格性反対咬合者における /s/ 構音時の舌運動解析

学位論文内容の要旨

【目的】

不正咬合者の中でも開咬や反対咬合を持つ者は、審美障害のみならず咀嚼障害や構音障害を有する 경우가非常に多い。したがって、矯正治療の重要な治療目標は形態的な改善のみならず、咀嚼、構音などの口腔機能の改善を考えなければならない。これらの機能運動には、舌が重要な役割を果たしているが、不正咬合者の舌運動を3次元的に解析した研究はない。

本研究の目的は、第一に小型磁気センサを応用した3次元舌運動計測システムを開発すること、第二に本システムを用いて骨格性反対咬合者の発音時の舌運動を計測し、骨格性反対咬合による構音障害について検討を加えることである。

【舌運動三次元計測システムの開発】

1. 計測原理およびシステム構成

本システムの計測原理は、1次コイル(励磁コイル)に交流電圧を印加することによって生じる2次コイル(検出コイル)の誘導起電力を計測することにより、両コイルの相対的位置関係すなわちコイル間距離や回転角度を求めるものである。

計測部は、1次コイル1個と2次コイル4個を組み合わせた基本構成である。1次コイルは、磁心に直径1.6mmのフェライトを使用し、0.2mmエナメル線を120回巻いた直径3.0mm、長さ7.0mm、重さ1.1gの円柱状小型コイルを自作した。2次コイルは、直径2.5mm、長さ2.0mm、重さ60mgのチップコイルを使用した。1次コイルに励振周波数420KHz、振幅10.0Vの交流電圧をファンクションジェネレータを用いて印加し、これより得られる2次コイルの出力信号

を平滑化し、対数回路に通したものを出力値とした。また雑音対策として、平衡中継増幅器を回路に組み込むことにより同相の雑音を抑圧した。出力値は、サンプリング周波数200Hz、精度12bitのA/Dコンバータで量子化後、フロッピーディスクに格納した。これを生データとし、1次コイルの3次元座標値を求め、CRT上に表示した。

## 2. 3次元座標の算出方法

本システムの計測範囲は、前後方向（X軸）で $-12\text{mm} \leq X \leq +20\text{mm}$ 、上下方向（Y軸）で $-20\text{mm} \leq Y \leq +12\text{mm}$ のX-Y平面上で半径20mmの円内、左右方向（Z軸）で $-4\text{mm} \leq Z \leq +4\text{mm}$ 、前頭面内の1次コイルの傾きで $-9^\circ \leq \theta \leq +9^\circ$ とした。

任意の $\theta$ 、Zで決定されるX-Y平面上の出力値が等しくなる1次コイルの位置の軌跡を円として近似した。あらかじめ、任意の出力値に対応する円の中心と半径を基礎データとして用意し、これより実測される出力値から各 $\theta$ 、Zでの半径が算出できるようにした。理論的には、4つの2次コイルから得られる出力値で描かれる4つの円の交点が1次コイルの位置となる。しかし、実際には演算誤差などで、円の交点が一点に収束することが少ないため、4つの出力値を2組に分け、各組で構成される3つの円の交点を頂点とする3角形の3辺の長さの総和が最小になるよう $\theta$ 、Zを変化させ、探索的に3次元座標の算出を行った。

## 3. システムの計測精度評価

本システムの3次元誤差を計測したところ、平均0.567mm、標準偏差0.448であり、周辺部での空間的歪が大きくなっていた。そこで、空間的歪の補正を山崎らの方法により行った結果、補正後の誤差は、0.281mm、標準偏差0.463に減少した。

### 【骨格性反対咬合者の発音時の舌運動計測】

#### 1. 被験者および対象音声

被験者は、聴覚や構音に異常のない成人正常咬合者3名（平均年齢27.9歳）と、本学部附属病院矯正科にて外科的矯正治療が必要と診断された、矯正治療開始前の骨格性反対咬合者3名（平均年齢20.7歳）を選択した。

対象音声は、無声摩擦音/s/を含む4つのVCV音節（/asa/、/usu/、/ese/、/oso/）とした。

#### 2. 計測部の口腔内への設置方法

1次コイルは、ジグを用い舌尖より後方約8mmの舌背中央部に瞬間接着剤を用いて接着した。2次コイルからなるセンサは、本システムの計測座標系と、

咬合平面および正中口蓋縫合を基準とした生体座標系とがほぼ一致するように、即時重合レジンを用いて上顎6前歯の唇面に設置した。

### 3. 解析項目

- ①舌運動軌跡
- ②舌運動速度
- ③安静位を基準とした/s/構音時の舌の位置
- ④/s/構音時のせばめの持続時間

### 4. 解析結果

#### ①. 舌運動軌跡

正常咬合者、反対咬合者ともに、発音時の舌は安静位を起点として同じ方向に運動していた。すなわち、先行母音では下方または後下方へ、子音では上方または前上方へ、後続母音では下方または後下方への舌の動きが見られた。

#### ②. 舌運動速度

運動速度のピークは、正常咬合者、骨格反対咬合者ともに、先行母音から子音、および子音から後続母音の移行時に現れていた。音節別では、/a/、/o/が最も速く、次に/u/、/e/の順であった。

#### ③. /s/構音時の舌の位置

/s/構音時の舌の位置は、前後的には、両者ともに、安静位よりも前方に位置していた。しかし、上下的には、正常咬合者で安静位よりも上方に位置していたのに対し、骨格性反対咬合者で安静位より下方へ位置していた。

#### ④. せばめの持続時間

せばめの持続時間を前後方向で解析すると、正常咬合者で平均0.091秒、標準偏差0.011に対し、骨格性反対咬合者で平均0.178秒、標準偏差0.022であり、骨格性反対咬合者の方が有意に長いことが分かった。また上下方向で解析すると、正常咬合者で平均0.126秒、標準偏差0.013に対し、骨格性反対咬合者で平均0.209秒、標準偏差0.062であり、有意差は認められなかったが、骨格性反対咬合者の方が長い傾向にあった。

### 【考察】

現在までに報告されている舌運動計測装置と比較して、本システムは小型であり、しかも、十分高い精度を有している。したがって、本装置は舌運動機能を計測する装置として有効であると考えられる。

/s/構音時の舌の位置は、安静位と比較して、正常咬合者では前上方にあったのに対し、骨格性反対咬合者では、前下方に位置していた。この理由として、以下のように推察される。重度の骨格性反対咬合者は、上下顎前歯が逆被蓋で、しかも離開しているため、上下顎前歯を下顎の後方運動によって近接させることが不可能である。そのために、正常咬合者と同じ構音部位で呼気の流速を高めるせばめを形成することが困難となり、乱流音源の生成が難しくなる。しかも、上顎前歯と下顎前歯または下唇の間に新たな共鳴腔が形成されてしまう。これらの影響を最小限にとどめ、かつ十分なせばめを形成するためには、下顎前歯の代わりに舌の補償運動が行われ、その結果正常咬合者に比べ、舌が下方に位置していた。

せばめ形成の持続時間では、正常咬合者は、音声学での従来の報告と近い値を示していた。正常咬合者と骨格性反対咬合者の比較では、母音の種類に関わらず骨格性反対咬合者の方がせばめの持続時間は長くなっていた。これは、上述した舌の補償運動が起これ、/s/の構音に必要な摩擦音源のせばめの形成に時間がかかったものと考えられる。

今回の研究により、これまでに報告された研究結果を裏づける舌の3次元運動が実際に観察された。また、骨格性反対咬合での口腔の形態異常が構音時の舌の機能異常を生じさせていることが実証された。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 村 進 治

副 査 教 授 亀 田 和 夫

副 査 教 授 川 崎 貴 生

## 学位論文題名

### 舌運動 3次元計測システムの開発と骨格性反対咬合者における /s/ 構音時の舌運動解析

審査は亀田、川崎および中村審査員全員の出席のもとに、申請者に対し口頭試問により提出論文の内容と、それに関連する学科目につき行われた。

不正咬合者の多くに様々な発音障害が認められるが特に摩擦音や破裂音などの子音に障害が著明に現れる。この構音障害には舌の機能が関与しており、構音時の舌運動を明らかにすることは非常に重要である。しかし、舌の動きは複雑であり、また口腔外から直接観測できないため舌運動の計測は困難である。そこで本論文は、小型磁気センサを用いた舌運動 3次元計測システムを開発し骨格性反対咬合者の無声摩擦音/s/構音時の舌運動を計測し本システムの有効性につき検討を加えている。

#### <舌運動 3次元計測システムの開発>

本システムの計測原理は、1次コイル（励磁コイル）に励振周波数420KHz、10.0Vの交流電圧を印加することによって生じる2次コイル（検出コイル）の誘導起電力を計測することにより、コイル間距離や回転角度を求めるものである。得られる2次コイルの出力信号は平滑化し、対数回路に通し、これを出力値とした。出力値は、サンプリング周波数200Hz、精度12bitのA/Dコンバータで量子化後、フロッピーディスクに格納した。これを生データとし、1次コイルの3次元座標値を求め、CRT上に表示した。1次コイルは、磁心に直径1.6mmのフェライトを使用し、0.2mmエナメル線を120回巻いた直径3.0mm、長さ7.0mm、重さ1.1gの円柱状小型コイルを1個自作した。2次コイルは、直径2.5mm、長さ2.0mm、重さ60mgのチップコイルを4個使用した。

任意の $\theta$ 、 $Z$ で決定されるX-Y平面上の出力値が等しくなる1次コイルの位置の軌跡を円として近似し、4つの2次コイルから得られる出力値を2組に分け、各組で構成される3つの円の交点を頂点とする3角形の3辺の長さの総和が最小になるよう $\theta$ 、 $Z$ を変化させ、探索的に3次元座標の算出を行った。本システムの計測範囲は、前後方向（X軸）で $-12\text{mm} \leq X \leq +20\text{mm}$ 、上下方向（Y軸）で $-20\text{mm} \leq Y \leq +12\text{mm}$ のX-Y平面上で半径20mmの円内、左右方向（Z軸）で $-4\text{mm} \leq Z \leq +4\text{mm}$ 、前頭面内の

1次コイルの傾きで $-9^{\circ} \leq \theta \leq +9^{\circ}$ とした。計測範囲内での3次元誤差を計測したところ、平均0.281mm、標準偏差0.463であった。

#### <骨格性反対咬合者の発音時の舌運動計測>

被験者は、聴覚や構音に異常のない成人正常咬合者3名（平均年齢27.9歳）と、矯正治療開始前の骨格性反対咬合者3名（平均年齢20.7歳）を選択した。対象音声は、無声摩擦音/s/を含む/asa/、/usu/、/ese/、/oso/とした。

#### <結果および考察>

- 1) 舌運動軌跡：正常咬合者、反対咬合者ともに、発音時の舌は安静位を起点として先行母音では下方または後下方へ、子音では上方または前上方へ、後続母音では下方または後下方への動きが見られた。
- 2) 舌運動速度：運動速度のピークは、正常咬合者、骨格性反対咬合者ともに、先行母音から子音、および子音から後続母音の移行時に現れていた。音節別では、/a/、/o/が最も速く、次に/u/、/e/の順であった。
- 3) /s/構音時の舌の位置：/s/構音時の舌の位置は、前后的には、両者ともに、安静位よりも前方に位置していた。しかし、上下的には、正常咬合者で安静位よりも上方に位置していたのに対し、骨格性反対咬合者では安静位より下方へ位置していた。
- 4) せばめの持続時間：せばめの持続時間を前後方向で解析すると、正常咬合者で平均0.091秒、標準偏差0.011に対し、骨格性反対咬合者で平均0.178秒、標準偏差0.022であり、骨格性反対咬合者の方が有意に長いことが分かった。また上下方向で解析すると、正常咬合者で平均0.126秒、標準偏差0.013に対し、骨格性反対咬合者で平均0.209秒、標準偏差0.062であり、有意差は認められなかったが、骨格性反対咬合者の方が長い傾向にあった。

/s/構音時の舌の位置の違いは以下のように推察される。重度の骨格性反対咬合者は、上下顎前歯が逆被蓋で、しかも離開しているため、上下顎前歯を下顎の後方運動によって近接させることが不可能である。そのために、正常咬合者と同じ構音部位で呼気の流速を高めるせばめを形成することが困難となり、乱流音源の生成が難しくなる。しかも、上顎前歯と下顎前歯または下唇の間に新たな共鳴腔が形成されてしまう。これらの影響を最小限にとどめ、かつ十分なせばめを形成するためには、下顎前歯の代わりに舌の補償運動が行われ、その結果正常咬合者に比べ、舌が下方に位置していた。また、せばめ形成の持続時間では、正常咬合者は音声学での従来の報告と近い値を示していたが、骨格性反対咬合者は上述した舌の補償運動が起こり、/s/の構音に必要な摩擦音源のせばめの形成に時間がかかったものと考えられる。

本研究は舌の構音運動を解析するに十分な精度をもつ舌運動3次元計測システムを開発し、骨格性反対咬合者の複雑な舌の補償運動を明らかにした点、今後の矯正歯科臨床の発展に大いに役立つものと考えられる。よって申請者は博士（歯学）の学位を授与される資格を持つものと認められる。