

学 位 論 文 題 名

小型磁気センサ（チップコイル）  
を用いた下顎運動測定装置の開発

学位論文内容の要旨

1 はじめに

下顎運動の中でも、特に咬頭嵌合位付近の運動については、咬合と密接に関連するため古くから関心が持たれ、矯正学の分野では path of closure の分析などとして数多く報告されている。一方、従来より下顎運動の測定は種々のセンサを用いて行われ、現在では $100\mu\text{m}$ の高精度での下顎運動の測定が可能となっている。しかし、これらの装置は高い精度で下顎運動の全範囲を測定できる反面、測定装置自体が大型化し複雑な構造を合わせ持つようになってきている。

そこで、今回著者は、咬頭嵌合位付近の下顎運動を高い精度で3次元測定することを目的とした小型の下顎運動測定装置の開発を行った。

2. 測定原理、システムの構成および測定方法

2. 1 測定原理

隣接した一対のコイルの片方（1次コイル）へ交流電圧を印加すると、もう片方のコイル（2次コイル）には誘導起電力が生じる。この誘導起電力は両コイル間の相対的位置関係に依存する。本装置の測定原理は、この誘導起電力を測定しコイル間の相対的位置関係を求め、それによって下顎運動を観察しようとするものである。

2. 2 システムの構成

計測部には(株)村田製作所製のチップコイルを標点（1次コイル）として1個、センサ（2次コイル）として3個使用した。チップコイルの大きさは直径2.5mm、高さ2.0mmで1個の重量は60mgと、非常に小型・軽量である。3個の2次コイルはレジン内に埋め込みプレート状として上顎臼歯部頬側面に接着する。下顎の1次コイルもレジン内に埋め込み、プレート状として下顎臼歯部頬側面に装着する。2次コイルからの出力信号は、計算機で処理しやすくするために電子回路に通し平滑化と対数変換を行った。その結果得られる電圧をチップコイルからの出力値とした。チッ

プコイルからの出力値は、サンプリング周波数100Hz、精度12bitのA/Dコンバータで量子化した後フロッピーディスクに格納した。

## 2. 3 3次元座標の算出方法

センサからの出力値が等しくなる標点の位置を最小2乗法により6次の偶関数で表される曲線として近似した。3つの2次コイルからの出力値それぞれに対して近似曲線が1つ選出され、それら3つの近似曲線の空間上の交点が1次コイルの3次元的位置となる。近似曲線を空間的な曲面として想定し、曲面の切り口の3つの円に着目してこれらの円が1点で交わる位置を探索的に求めることにより、標点の3次元座標を計算した。

## 2. 4 口腔内への設置と座標変換の方法

口腔内への設置については、まず模型上で上下のコイルプレートを8mmの厚さに作成したジグをはさんで平行にし、その状態で連結部を3、4歯の頬側面に接するように即時重合レジンにより作成しておく。計測の際は、瞬間接着材を使用して歯と連結部を接着し上下のコイルプレートを口腔内に設置した。口腔内への設置部位は本測定装置の測定可能範囲を考慮して臼歯部とした。

定められた生体の基準平面に対する下顎運動を求めるためには、装置の計測座標系を生体の基準座標系に変換する必要がある。今回は、生体の基準平面として上顎歯列上の3基準点により決まる平面を選択した。生体の基準座標系と計測座標系との相対的な位置関係を求めるため、上顎のコイルプレートを口腔内に装着した状態で個人トレーにより印象を採得し、超硬石膏により模型を作成した。この模型を3次元座標測定装置(XYZAX)を使って測定し、両座標系の相対的位置関係を求めた。

# 3 システムの特性評価

## 3. 1 空間的歪による測定誤差とその補正

測定可能範囲を $6 \times 6 \times 8$  (mm)とし、441点の3次元的位置誤差を求めたところ、平均 $412 \mu\text{m}$ 、標準偏差 $235 \mu\text{m}$ であった。測定誤差が大きかったため測定可能範囲を288個の小空間に分割し、その各々の歪を幾何学的に補正していくことにより、系全体を補正した。その結果、補正後の3次元的位置誤差は、平均 $62 \mu\text{m}$ 、標準偏差 $102 \mu\text{m}$ に減少した。

## 3. 2 測定誤差に影響を与えるその他の因子

口腔内で計測する際に生じる測定誤差に影響を与える因子についても検討を加えた。湿度による影響は認められなかったが、温度の上昇に伴い、出力値の増加が認められた。そこで、温度 $1^\circ\text{C}$ あたりの出力値の増加率を求め、口腔内温度での出力値を、精度検定を行った $23.5^\circ\text{C}$ での出力

値に変換することにより温度による影響をなくした。また、下顎運動に伴う上下のコイルプレート間の傾きの影響は、本装置の測定可能範囲では認められず、さらに、歯科用金属の影響も、金属との距離を2 mm以上離せば生じないことが明らかとなった。

#### 4 考 察

従来歯科臨床に用いられている下顎運動測定装置は、上下歯列に強固に固定する顔弓を使用したり、頭部に大きなセンサーアレイを装着する必要がある、装置自体の大きさや重量に問題がある。

本研究では標点、センサに小型・軽量なコイルを使用しているので、上下顎に設置されるコイルプレートの重量を合わせても1 g程度であり非常に小型・軽量である。したがって、被験者に対する心理的圧迫感が少なく、より生理的な下顎運動を測定することが可能で、特に小児を対象とすることが多い矯正臨床においては、十分利用価値の高い測定装置であると思われる。また、計測部が小型であるため装置の計測座標系と生体の基準座標系との相対的位置関係を同一の模型上に再現することが可能で、正確な座標変換を行うことができると考えられる。

本測定装置を用いて不正咬合者の path of closure、嚥下時の下顎運動、無声摩擦音／s／発音時の下顎運動を計測し、正常者と比較した。その結果、不正咬合者の咬頭嵌合位付近の下顎運動は正常者と異なり、不正咬合者特有の運動パターンを有することが観察された。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 村 進 治

副 査 教 授 内 山 洋 一

副 査 教 授 川 崎 貴 生

審査は内山、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する学科目につき行われた。

歯科臨床において下顎運動の精度の高い測定は非常に重要な課題である。したがって、種々の装置が開発され、100  $\mu$  m の高精度で下顎運動の全範囲を測定できる反面、装置自体が大型化し複雑な構造のものとなっている。そのような状況の中で矯正歯科臨床の分野では咬合と密接に関

連する咬頭嵌合位付近の下顎運動に特に関心がもたれている。

そこで本論文は、本学電子科学研究所電子情報処理部門の伊福部教授の御指導を頂き、咬頭嵌合位付近の下顎運動を高い精度で3次元測定することのできる小型軽量の装置を開発し、不正咬合者の path of closure、嚙下時の下顎運動、無声摩擦音／s／発音時の下顎運動の分析を行い検討を加えている。

1. 測定原理 隣接した一対のコイルの片方（1次コイル）へ交流電圧を印加すると、もう片方のコイル（2次コイル）には誘導起電力が生じる。本装置の測定原理は、この誘導起電力を測定しコイル間の相対的位置関係を求め、それによって下顎運動を観察しようとするものである。

2. システムの構成 計測部には㈱村田製作所製のチップコイルを標点（1次コイル）として1個、センサ（2次コイル）として3個使用した。チップコイルの大きさは直径2.5mm、高さ2.0mmで1個の重量は60mgと、非常に小型・軽量である。3個の2次コイルはレジン内に埋め込みプレート状として上顎臼歯部頬側面に装着する。下顎の1次コイルもレジン内に埋め込み、プレート状として下顎臼歯部頬側面に装着する。2次コイルからの出力値はサンプリング周波数100Hz、精度12bitのA/Dコンバータで量子化した。

3. 3次元座標の算出方法 センサからの出力値が等しくなる標点の位置を最小2乗法により6次の偶関数で表される曲線として近似した。3つの2次コイルからの出力値それぞれに対して近似曲線が1つ選び出され、それら3つの近似曲線の空間上の交点が1次コイルの3次元的位置となる。近似曲線を空間的な曲面として想定し、曲面の切り口の3つの円に着目してこれらの円が1点で交わる位置を探索的に求めることにより、標点の3次元座標を計算した。

4. 口腔内への設置と座標変換の方法 口腔内への設置については、まず模型上で上下のコイルプレートを8mmの厚さに作成したジグをはさんで平行にし、その状態で連結部を3、4歯の頬側面に接するように即時重合レジンにより作成しておく。計測の際は、瞬間接着材を使用して上下のコイルプレートを口腔内に設置した。定められた生体の基準平面に対する下顎運動を求めるためには、装置の計測座標系を生体の基準座標系に変換する必要がある。今回は、上顎歯列上の3基準点によって決まる平面を基準平面とした。上顎のコイルプレートを口腔内に装着した状態で個人トレーにより印象を採得し、超硬石膏により模型を作成した。この模型を3次元座標測定装置（XYZAX）を使って測定し、両座標系の相対的位置関係を求めた。

5. システムの特性評価 測定可能範囲を $6 \times 6 \times 8$ （mm）とし、441点の3次元誤差を求めたところ、平均 $412 \mu\text{m}$ 、標準偏差 $235 \mu\text{m}$ であった。測定誤差が大きかったので空間的歪の補正を行ったところ、補正後の3次元誤差は、平均 $62 \mu\text{m}$ 、標準偏差 $102 \mu\text{m}$ に減少した。口腔

内で計測する際に生じる測定誤差に影響を与える因子についても検討を加えたところ、湿度による影響は認められなかったが、温度の上昇に伴い、出力値の増加が認められた。そこで、温度1℃あたりの出力値の増加率を求め、口腔内温度での出力値を、精度検定が行われた23.5℃での出力値に変換することにより温度による影響をなくした。また、下顎運動に伴う傾きの影響は、本装置の測定可能範囲では小さく、さらに、歯科用金属の影響も、金属との距離を2mm以上離せば生じないことが明らかとなった。

6. 矯正患者への応用 本測定装置を用いて不正咬合者の path of closure, 嚥下時の下顎運動、無声摩擦音／s／発音時の下顎運動を計測し、正常者と比較した。その結果、不正咬合者の咬頭嵌合位付近の下顎運動は正常者と異なり、不正咬合者特有の運動パターンを有することが観察された。

本研究は従来ほとんど分析されていなかった不正咬合者の咬頭嵌合位付近の下顎運動につき精度高く3次元的に、しかも日常臨床において手軽に分析できる装置を開発した点、今後の矯正歯科診断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もつものと認められる。