

学位論文

口腔内センサによる6自由度顎運動測定に関する研究

北村万里子

キーワード：6自由度顎運動測定, 口腔内センサ, 睡眠時ブラキシズム

Study on Jaw Movement Measurement in Six-Degree-of-Freedom with Intra-Oral Sensor

Mariko KITAMURA

Abstract : Many types of six-degree-of-freedom jaw tracking devices have been developed for analysis of functional jaw movement and adjustment of articulator. To improve handiness of the previous devices, we have developed a prototype jaw-tracking device that using a pair of small triaxial coils. The size of this jaw tracking device was relatively small, but still have to set a sensor unit around head with clutch system that attaches the sensor to dentition. If there is a jaw tracking device that using minimum sensor unit, it could be attached teeth directly without clutch system.

The purposes of this study were to improve the prototype system that enables intra-oral device and verifies its utility. The extremely small triaxial sensor coils were developed for this device. Six fine ferrite core coils were employed for the new sensor units. Since this device is very small and can be used in the mouth, measurement of jaw movement can be done easily with minimal physical restriction of the patient. Jaw movement of a 38-year-old male subject without any sign and symptoms of temporomandibular disorders was measured with this newly developed device. Border jaw movement, mandibular rest position during different postures and external forces, jaw movement during yawning and sleeping were measured.

The results of this study were as follows:

1. The size of the new sensor unit was 9.5 mm (width), 9.5 mm (height), 7.0 mm (length) and the weight was 1.5 gram (without cable).
2. This sensor can be used with intra-oral setting.
3. This new jaw tracking device can measure jaw movements in any posture and any condition even during sleeping.

I. 緒 言

顎運動は咀嚼筋群の協調活動によって営まれ、四肢筋の活動と同様に随意性の高い運動である。また各種反射が存在する事が知られている。

しかし、開口障害を訴える症例において、義歯に咬合接触を与えると症状が消失し、咬合接触をなくすと症状が再発したという現象や、習慣性顎関節脱臼を有する症

例で、咬頭嵌合位において上下顎の犬歯間にあったクリアランスに修復物で咬合接触を与えることで症状が消失し、修復物を除去すると違和感を生ずるという可逆性の反応を生じたという現象など、顎運動が随意性の高い運動であるとする概念だけでは説明が難しい症例に日常臨床で遭遇することがある。

このような現象を説明するために、顎機能制御系¹⁾と

いう仮説が提唱されている (図1)。これは、噛む、口を開くといった中枢からの随意的な指令を末梢の咬合接触の情報を受けて修飾し、顎運動として発現する咀嚼筋の協調活動を制御する機構である。また咬合状態は咀嚼筋だけではなく肩や足の筋肉など身体の制御系とも相互に関連している可能性があるという仮説である。

この仮説を証明するためには、より生理的な条件下で咬合状態と顎運動の関係を高精度に測定、解析する手段が必要である。咬合状態と顎運動測定解析法は大久保ら²⁾が咬合面形態データと顎運動をリンクさせる方法を報告しており、基本的な技術は確立されている。しかし、現在までにさまざまな6自由度顎運動測定器が国内外で開発、使用されているが、フェイスボウや測定器の構造上の問題で、測定時に被験者の生理的な運動や姿勢を制限する場合がある。

そこで、本研究では一対の三軸コイルを用いた顎運動測定システム³⁾に改良を加え、センサの小型化を行い口腔内に装着することで、より生理的な運動を従来の測定器では測定できなかった姿勢でも運動測定が可能な低侵襲6自由度顎運動測定システムを開発することを目的とした。

II. 方法

1. 測定器

1) 測定原理

コイルの作る磁場は、原点oを中心としたxy平面に存在する半径aの円形導線に電流Iが流れている時、磁束密度 A_ϕ は第一種と第二種の完全楕円積分 K と E を用いた式

$$A_\phi(r, \theta) = \frac{\mu_0 \times 4Ia \times (2-k^2)K(k) - 2E(k)}{4\pi \times (a^2+r^2+2ar \sin\theta)^{\frac{1}{2}} \times k^2} \dots\dots\dots ①$$

ただし、 $k^2 = 4ar \sin\theta / (a^2+r^2+2ar \sin\theta)$

で正確に表すことができる。

この磁束密度 $A_\phi(r, \theta)$ の各成分を r と θ のベクトル成分 (B_r , B_θ) で表すとコイルから離れた場合、少なくともコイル半径の4倍以上離れた場所では近似式

$$\left. \begin{aligned} B_r &\doteq (\mu_0 \times I\pi a^2 \times \cos\theta) / 2\pi \times r^3 \\ B_\theta &\doteq (\mu_0 \times I\pi a^2 \times \sin\theta) / 4\pi \times r^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ②$$

で表すことができる⁴⁾ (図2)。

開発した測定器は一次コイルで磁場を発生させ、磁場内においた二次コイルでこの磁束密度を検出するという測定方式を採用した。

2) データ処理

一次コイルに24bit D/A 変換器 (Thinknet 社製 DF-3421Da) で生成した駆動周波数7200, 8000, 8800 Hz の正弦波電流を流し磁気空間を形成する。その磁気空間内に二次コイルを置くことで誘導起電力を発生させ、その位置での磁場の強さを検出する。二次コイルの出力信号を24bit A/D 変換器 (Thinknet 社製 DF-3422) を用いて

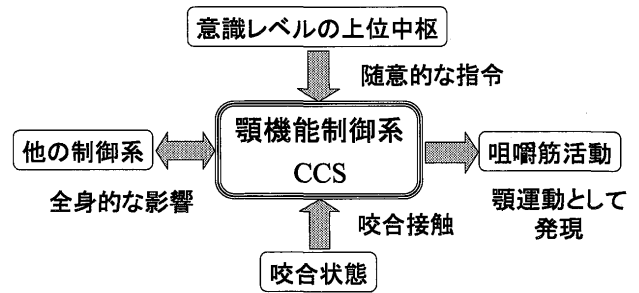


図1 顎機能制御系

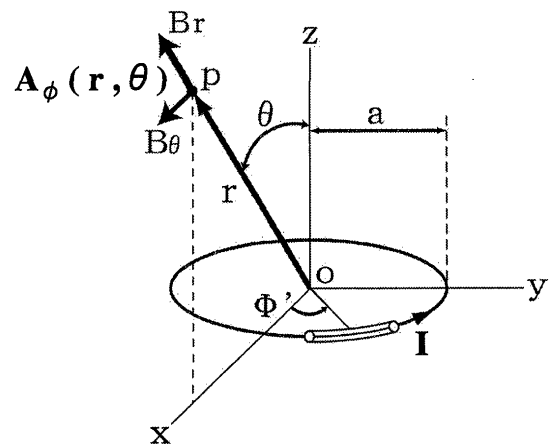


図2 コイルの作る磁場

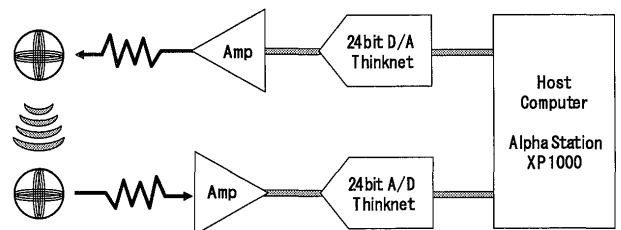
a : コイル半径, I : 電流

r : 原点Oと点Pとの距離

$A_\phi(r, \theta)$: 点Pにおける磁束密度

B_r : $A_\phi(r, \theta)$ の r 成分, B_θ : $A_\phi(r, \theta)$ の θ 成分

1次コイル : 駆動周波数7200, 8000, 8800Hzの正弦波電流



2次コイル : 9個の磁場データ

図3 ブロックダイアグラム

サンプリング102.4 kHzでデジタル化し、ワークステーション (AlphaStation XP1000) に収集後データ処理を行った (図3)。まず、1024ポイント毎にFFT処理し、9個の磁場データを算出し、近似式②を用いて1次近似値 (X' , Y' , Z') を求める。さらに楕円積分を用いた式①を利用して2次近似値 (X , Y , Z) を求め、二次コイルの置かれた座標とする。また、基準とする顎位での磁場をもとに各顎位での磁場からそれぞれ方向余弦を求

め、二次コイルの位置を6自由度で算出することができる(図4)。

3) 口腔内センサ

口腔内センサの一次コイルにはインダクタンスが0.15 mH(東光社製 D31FU 888FU-151M)、二次コイルには28 mH(KOA社製 KE4513CTE283M)の既製コイルを使用した。XYZそれぞれ二個のコイルを直列につなぎ、三軸を向くように製作した。仕上がり寸法は9.5 mm × 9.5 mm × 7.0 mmの直方体で、重さは約1.5gであった(図5)。

4) 基準座標系

本測定器の座標系は、一次コイルの中心を原点とし、前後方向をX軸、左右方向をY軸、上下方向をZ軸とし、前方、左方、上方を正とする右手座標系とした。顎運動解析では、生体標点測定針を用いて上顎切歯点、左右第一大臼歯点の座標の測定を行い、三点を結ぶ三角形の重心を原点とし、原点と切歯点を結んだ線をX軸、原点を通る法線をZ軸、両線の垂線をY軸とする生体咬合平面座標系⁵⁾を採用した。

5) 精度検定

一次コイルの中心を原点として大地に固定し、二次コイルを三軸ステージ(ピーアイ・ポリテック社製 M-531・5S)に設置して本測定器の精度検定を行った。

一次コイルと二次コイルを最も近接した位置 $X = -10$ mm, $Y = 10$ mm, $Z = -10$ mm に置き、X軸方向は $-10 \sim -50$ mm, Y軸方向は $10 \sim 50$ mm, Z軸方向は $-10 \sim -60$ mm の範囲を各軸10 mm 間隔に計150点での1秒間のデータを収集した。なお、顎運動のサンプリング周波数は100 Hzとした。連続する100個のデータから標準偏差を求め各点での測定精度とした。

2. 顎運動測定

1) 被験者

被験者は顎口腔機能に異常のない38歳男性とした。なお、被験者には事前に本研究の趣旨を説明し同意を得たのち、測定を行った。

2) 測定項目

測定項目は各種限界運動の他、口腔内センサを用いたシステムの有用性を評価するために、下記に示すような従来の測定器では測定が困難あるいは不可能であった姿勢についても運動測定を行った。

- ①各種限界運動：
 - ┌ 矢状面内限界運動
 - └ 左右側方限界運動
- ②睡眠時顎運動
- ③下顎安静位を指示したときの顎位
- ④タッピング時顎運動(座位、仰臥位および咬合紙を介在させたときの影響)

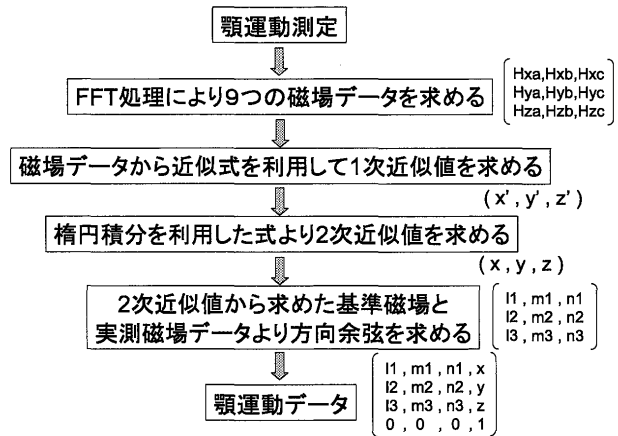


図4 データ処理

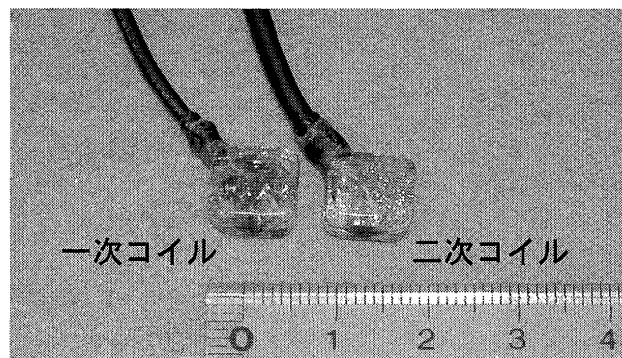


図5 口腔内三軸コイルセンサ

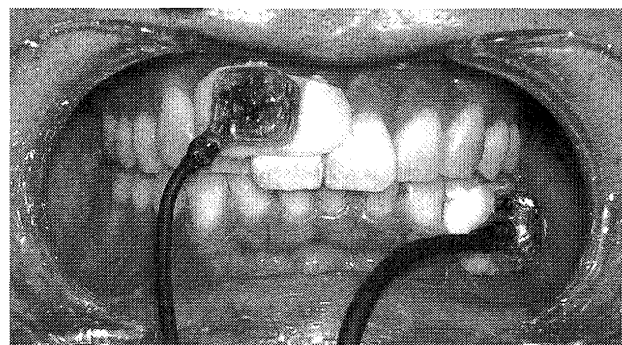


図6 口腔内センサの装着状態

- ⑤頬杖時の顎位
- ⑥片肘で横たわった時の顎位
- ⑦うつ伏せでオトガイをレストにした時の顎位
- ⑧うつぶせ寝時の顎位
- ⑨大あくび時の顎運動

口腔内センサは一次コイルを上顎右側中切歯付近に、二次コイルを下顎左側第一小臼歯、第二小臼歯間にレジン製シーネを介してシアノアクリレート系接着剤で固定した(図6)。

また、これらの測定は右側咬筋表面筋電図との同時測定を行った。不関電極を耳垂に貼付し、咬筋は筋線維

の走行に平行に電極間距離が 20 mm となるよう貼付し、双極誘導により測定した。

得られた筋電図は原波形を時定数 60 msec で実効値 (root mean square : RMS) に変換後、被験者の最大咬みしめ時に対する筋活動の比率 (percent maximal voluntary contraction : % MVC) を求めた。

Ⅲ. 結 果

1. 精度検定

精度検定の結果を図 7 に示す。縦軸は各軸方向でのデータのばらつき、すなわち 100 個の連続データから求めた標準偏差で横軸は一次コイルと二次コイルの距離を表している。

各軸方向とも、1 次コイルと 2 次コイルの距離が近接するほど位置分解能が優れていた。1 次コイルと 2 次コイルがもっとも近接する点でのコイル間距離は約 20 mm で、位置分解能は X, Y, Z ともに約 2 μm であった。

顎運動測定時の 1 次コイルと 2 次コイルの距離が 30 mm 以内では 10 μm 以下、50 mm 以内では約 100 μm 以下の位置分解能が得られることがわかった。

2. 顎運動測定

1) 各種限界運動

口腔内センサを用いて下顎限界運動が測定できたが、精度検定の結果にもあったように、最大開口位付近のようにセンサ間距離が大きくなると、精度不足により顎運動軌跡が滑らかでなくなる。今回の測定では咬頭嵌合位でのセンサ間距離は約 40 mm と小さいため滑らかな顎運動軌跡が得られた (図 8)。

2) 睡眠時顎運動

今回は脳波、心電図、眼振などの測定を行っていないため、睡眠判定は術者の観察で行い、睡眠と判定した後 10 分おきに 10 秒間のデータを 7 回採取した。

図 9 に 1 例を示す。切歯点での下顎位を筋電図と併せて表示した。被験者は仰臥位で下顎はわずかに後方へ、左右方向への変位はほとんど無く開口状態であった (図 9)。

その他の結果もほぼ同じ様相を示したが下顎運動を伴う測定データも得られた (図 10, 11)。このとき、被験者はやや左方へ前屈した状態であり、下顎位は右側前方開口位から右側方滑走経路に沿って開口する運動や経路上を往復するような運動を行っていた。

3) 下顎安静位での顎位

被験者を正面座位でリラックスした状態にし、測定の開始を伝えることなく 10 秒間のデータを 5 回測定した。安静時の下顎位は X, Y 軸方向、つまり前後方向、左右方向にほとんど変化なく、Z 軸のみ負への変化、すなわち開口状態であった (図 12)。切歯点では 2.51 mm、左

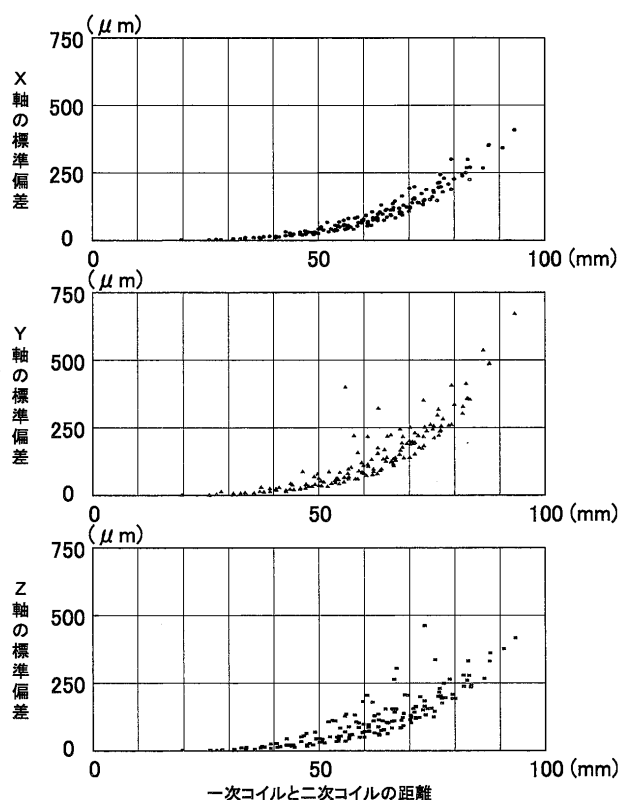


図 7 精度検定

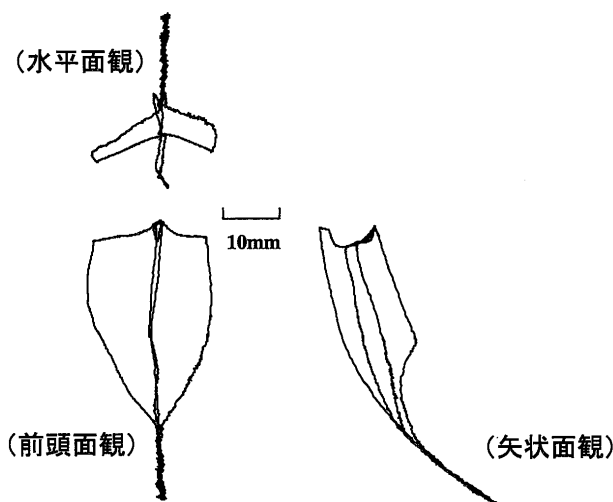


図 8 切歯点での運動軌跡

右第一大臼歯点では 1.61~1.92 mm 下方へ移動しており、咬頭嵌合位からの距離もほぼ同じ値であった (表 1)。

4) タッピング時顎運動 (座位、仰臥位および咬合紙を介在させたときの影響)

咬合紙を介在させない時のタッピング経路は座位に比べて仰臥位の方が下顎の運動範囲が広がった (図 13, 14)。

咬合紙を介在させた時のタッピング運動では、座位と

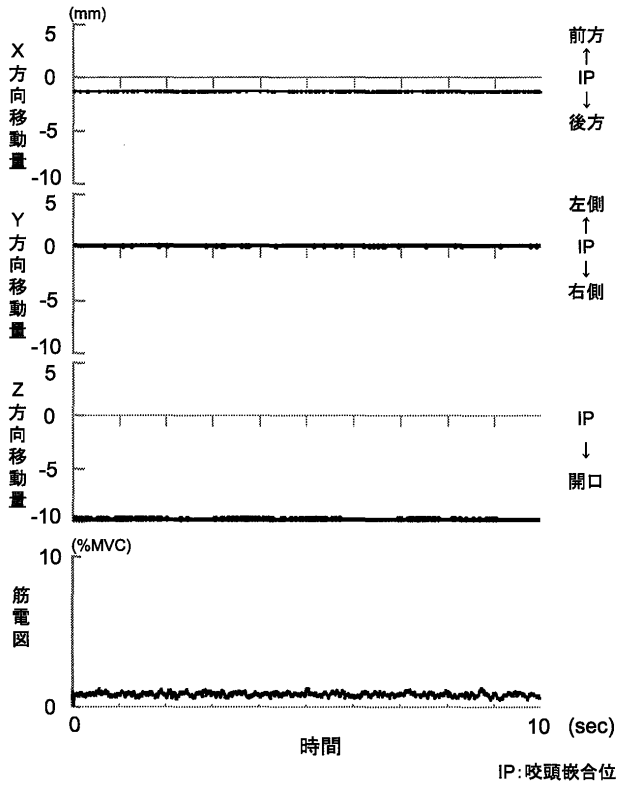


図9 睡眠中の下顎位 (切歯点) と右側咬筋筋活動

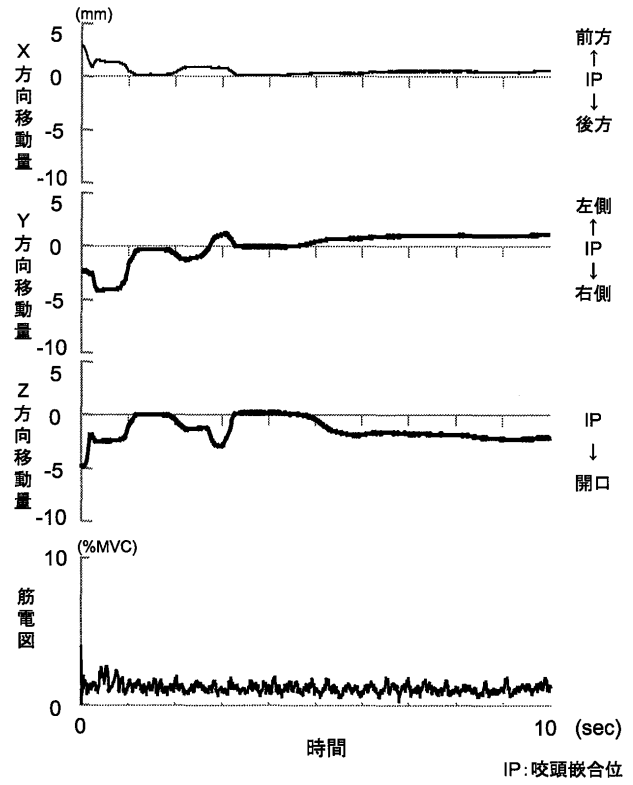


図10 下顎の運動を伴った睡眠中の下顎位 (切歯点) と右側咬筋筋活動

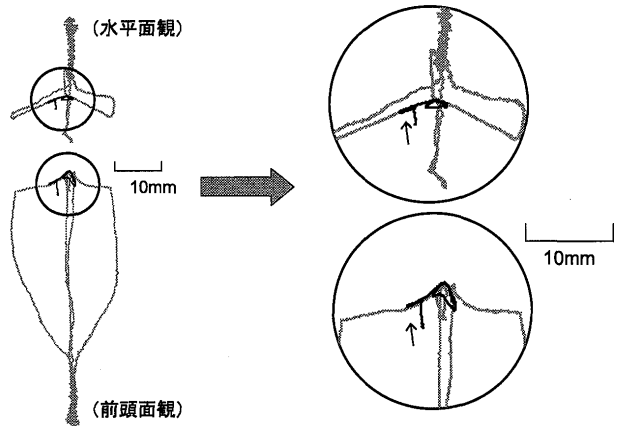


図11 下顎の運動を伴った睡眠中の下顎位と筋活動 (切歯点)

表1 安静位と咬頭嵌合位の差

	X	Y	Z	距離
切歯点	-0.10	-0.07	-2.51	2.52
左側第一大臼歯	-0.10	-0.08	-1.92	1.92
右側第一大臼歯	-0.08	-0.08	-1.61	1.62

(mm)

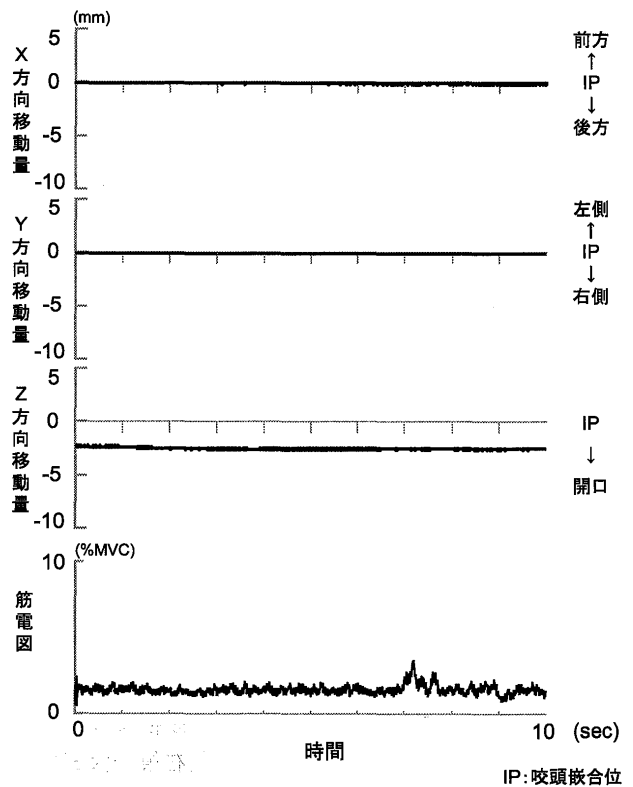


図12 安静時の下顎位 (切歯点) と右側咬筋筋活動

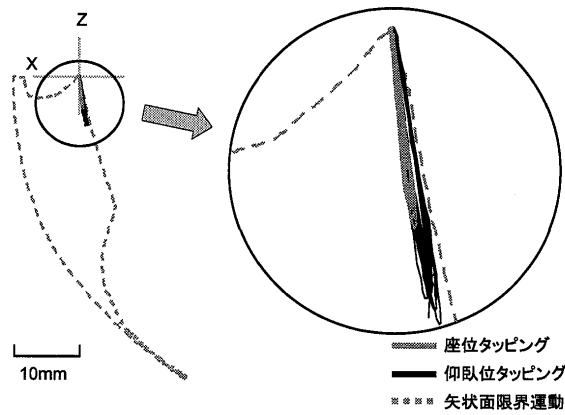


図13 座位, 仰臥位でのタッピング時の下顎運動 (切歯点) - 咬合紙を介在させない時

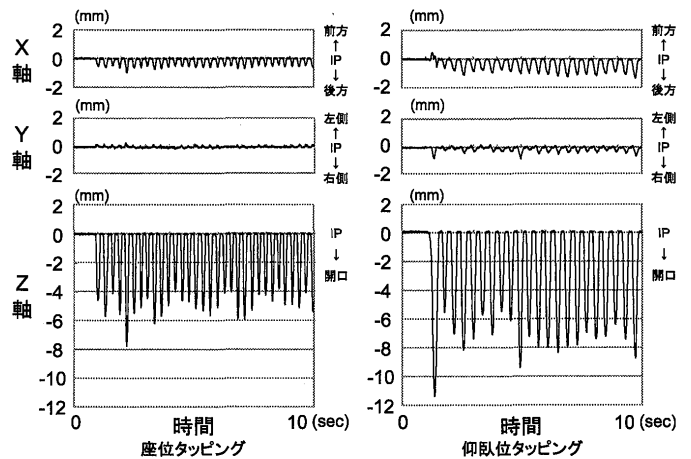


図14 座位, 仰臥位でのタッピング時の下顎運動 (切歯点) - 咬合紙を介在させない時

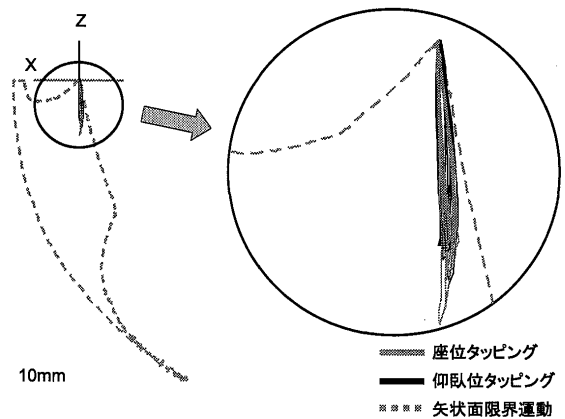


図15 座位, 仰臥位でのタッピング時の下顎運動 (切歯点) - 咬合紙を介在させた時

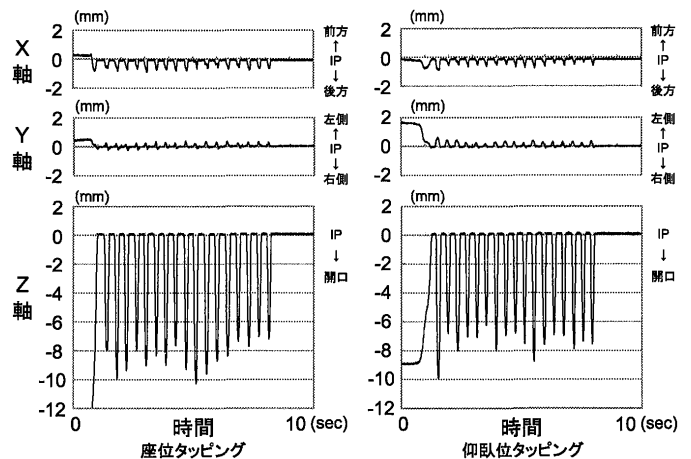


図16 座位, 仰臥位でのタッピング時の下顎運動 (切歯点) - 咬合紙を介在させた時

仰臥位では運動範囲に特に差はなく類似した経路をとった (図15, 16)。

5) 頬杖時の下顎位

頬杖をついたとき, 下顎は開口方向に切歯点で1.39~1.83 mm, 左右第一大臼歯点で0.95~1.42 mm 移動し, 頬杖をついた側と反対側に切歯点では0.85~1.37 mm, 左右第一大臼歯点では0.82~1.20 mm それぞれ変位した (図17, 表2)。

6) 片肘をついて横たわった時の下顎位

片肘をついて横たわった姿勢では, 頬杖よりも開口量が大きく切歯点で2.44~3.74 mm, 左右第一大臼歯点で1.41~3.11 mm 開口していた。左右への変位量も同様に大きくなっており, 切歯点で2.80~3.51 mm, 左右第一大臼歯点で2.41~2.79 mm それぞれ変位していた (図18, 表3)。

7) うつ伏せでオトガイをレストにした時の下顎位

うつ伏せでオトガイをレストにした姿勢では, 頬杖や片肘で横たわったときに比べると開口量も左右方向への変位量も少なく, 切歯点, 左右第一大臼歯点で1.07~1.69 mm 開口しており, 0.44~0.82 mm 後方変位していた (図19, 表4)。

8) うつぶせ寝時の下顎位

うつぶせ寝姿勢では, 切歯点で約2.57~2.63 mm 開口し, 右向き寝の時は, まくらなどで顔が左から押されるため下顎は右側に約6.61 mm 変位しており, 反対に左向き寝の時は右から押されるので, 左側に約 5.95 mm 変位していた (図20, 表5)。

9) 大あくび時の顎運動

大あくびをした時の矢状面観と, その時の開口量を時系列で表したグラフを図21, 22に示す。開口時は最大開

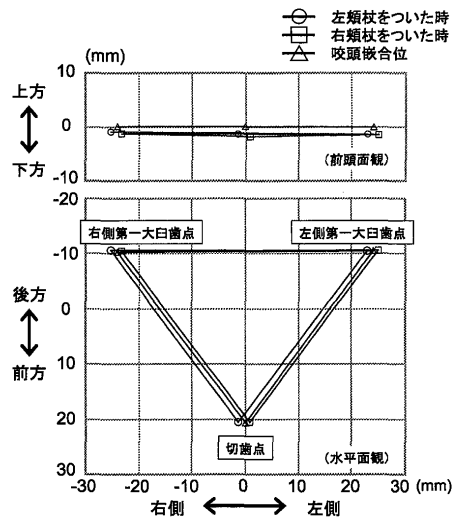


図17 頬杖時の下顎の変位

表2 頬杖時の下顎位と咬頭嵌合位の差

	左頬杖			右頬杖		
	X	Y	Z	X	Y	Z
切歯点	-0.15	-1.37	-1.39	-0.17	0.85	-1.83
左側第一大臼歯	-0.02	-1.20	-1.28	-0.19	0.82	-1.42
右側第一大臼歯	-0.28	-1.20	-0.95	-0.15	0.82	-1.27

(mm)

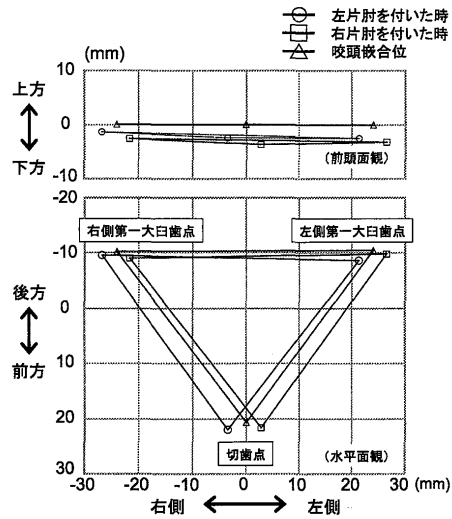


図18 片肘をついて横たわった時の下顎の変位

表3 片肘をついて横たわった時の下顎位と咬頭嵌合位の差

	左肘をついた時			右肘をついた時		
	X	Y	Z	X	Y	Z
切歯点	1.22	-3.51	-2.44	0.88	2.80	-3.74
左側第一大臼歯	1.79	-2.79	-2.44	0.59	2.41	-3.11
右側第一大臼歯	0.68	-2.77	-1.41	1.20	2.42	-2.61

(mm)

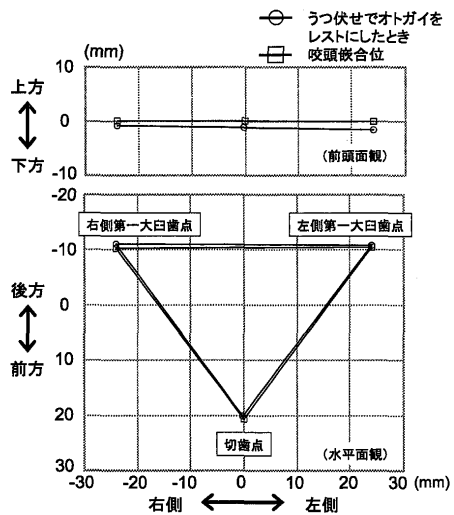


図19 うつ伏せでオトガイをレストにした時の下顎の変位

表4 うつ伏せでオトガイをレストにした時の下顎位と咬頭嵌合位の差

	X	Y	Z
切歯点	-0.63	-0.34	-1.49
左側第一大臼歯	-0.44	-0.10	-1.69
右側第一大臼歯	-0.82	-0.09	-1.07

(mm)

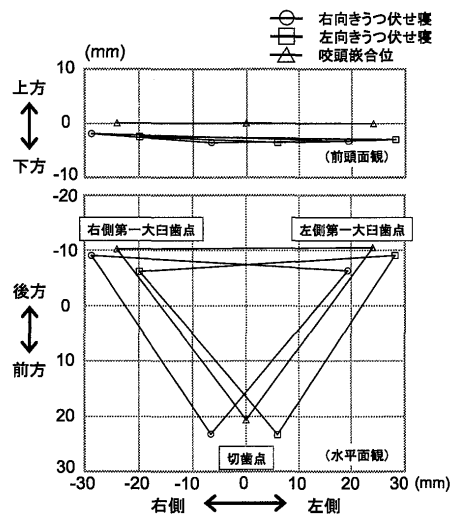


図20 うつ伏せ寝時の下顎の変位

表5 うつぶせ寝時の下顎位と咬頭嵌合位の差

	右向き寝			左向き寝		
	X	Y	Z	X	Y	Z
切歯点	2.57	-6.61	-3.61	2.63	5.95	-3.58
左側第一大臼歯	4.09	-4.78	-3.23	1.29	4.11	-2.89
右側第一大臼歯	1.20	-4.68	-1.97	4.09	4.20	-2.43

(mm)

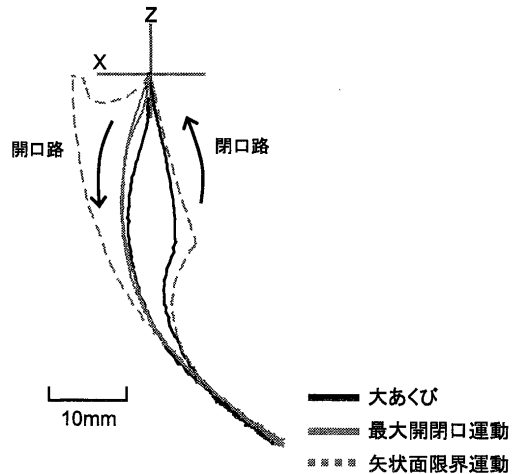


図21 大あくび時の下顎運動

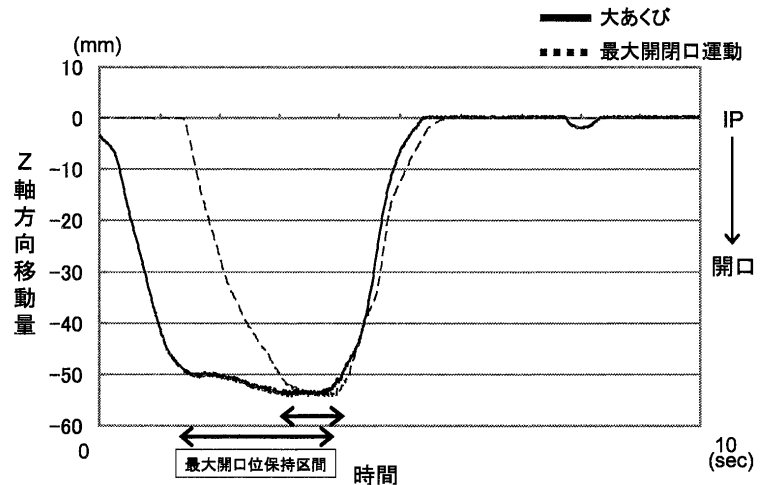


図22 大あくび時の下顎運動

閉口運動の経路に沿って動き、閉口時は後方へ引き、矢状面内限界運動路に近い動きをしていた。また、上下的变化は、図22に示すように下顎が最大開口位をとる時間が長かった。

IV. 考 察

1. 測定器

測定器の精度検定では、コイル間距離が小さいほど位置分解能が良いという結果になった。これはコイル間距離が近いと、一次コイルから発生する磁場が強いため、S/N比が良く、一方コイル間距離が遠いと磁場が弱くなるためS/N比が悪くなり、精度低下が生じるためである。口腔内センサの設置位置は、精度検定の結果よりセンサ間距離が近くになるよう設置するのが好ましいが、測定原理によると近似式はコイル半径の4倍以上離れた点で成立し、また被験者の生理的運動を可及的に阻害することのない位置が望ましいので、このことを考慮して図6に示すように設置した。

磁場の強さはコイル間距離の3乗に反比例するため、コイル間距離の近い咬頭嵌合位付近では滑らかな顎運動軌跡が得られるが、最大開口位付近では精度不足のため滑らかな軌跡が得られなかった。本測定器は最大開口位付近での測定には不向きであるが、咬頭嵌合位付近での測定には適していると考えられる。

下顎運動解析点のひとつである運動論的顎頭点⁵⁾は矢状面内限界運動、左右側方限界運動から求めるが、今回の測定では最大開口位付近の精度不良のため、運動論的顎頭点を求めることができなかった。このため解析点としては切歯点と左右第一大臼歯点とした。顎頭点の運動解析を行うために最大開口位付近のデータも精度良く測定ができるようにしなければならない。具体的には一次コイルに流す電流量を増やすことや二次コイルの巻数を増やすことなどで対応できると考えている。

2. 顎運動測定

睡眠時の顎位や顎運動測定に関してはこれまでもいくつかの報告がある。山下ら⁶⁾はスイッチを用いて咬合接触を測定し、赤松ら⁷⁾はスイッチを用いて側方位の測定を行った。

2次元的な測定としては、湯上ら⁸⁾のマイクロフォトセンサーを用いた下顎変位測定と当教室の大倉ら⁹⁾のホール素子を応用した顎変位計による下顎変位測定がある。これらはいずれも口腔内センサを用いていた。

3自由度測定としては雨森ら¹⁰⁾の光学式顎運動測定器を用いた報告がある。6自由度測定は、当教室の重本ら¹¹⁾が磁気位相空間を利用して測定を行ったものがある。これらは口腔外センサを使用していた。これまで口腔内センサを用いて6自由度測定を行った報告はなく、本測定器による測定が最初である。センサを口腔内で装着できることで姿勢を制限することなく睡眠中の運動を測定できた。睡眠時ブラキシズムは顎機能障害の初発因子、あるいは増悪因子であるとされているが、このメカニズムについてはまだ明らかにされていない。今回開発した測定器を用いることで睡眠時ブラキシズムと顎機能障害の関係の明らかになるものと期待できる。

ただし、今回睡眠判定を被験者の申告と術者の観察により行ったため、脳波、心電図などを用いて睡眠判定を行う必要がある。また測定時間もハードディスク容量の制限により10秒間のデータを間欠的に測定するという方式を用いたので、長時間測定に対応できるシステムの構築が必要である。

下顎安静位では、歯の接触が認められず、安静空隙¹²⁾が存在する。安静空隙は中切歯間で三浦¹³⁾は平均3.56 mm、川添¹⁴⁾は平均1.34 mmであると報告している。

タッピングは日常臨床において咬合調整を行う際、座位もしくは仰臥位で行う。咬合紙を介在させない時のタッピング運動では、座位に比べて仰臥位のタッピング

経路はXYZそれぞれ広い運動範囲をとった。仰臥位では重力の影響で後方に広がったことが推測される。

また、全顎の咬合紙を介在させた時は座位、仰臥位でタッピング経路は類似しており、咬合紙を噛もうという意識が働き、本被験者では体位に関係なく同様の運動ができたことと推測される。しかし、日常臨床に於いて咬合紙(全顎、片顎)の種類や体位によってタッピング位置が変化する症例に遭遇することがあり、咬合調整の最適な体位や咬合紙の種類などについては、今後検討したい。

うつ伏せ寝、頬杖、片肘で横たわる、うつ伏せ寝でオトガイをレストにした姿勢、大あくびは顎関節症と関連のある習癖や日常生活動作とされている¹⁵⁾。日常生活動作の中でこれら習癖時の顎位を測定することは、従来の測定器では困難であったり不可能であったが、今回開発した測定器では可能であった。それぞれの測定結果より、手や枕などで下顎への力の加わり方が変わると下顎の動く方向や移動量が異なった。また、大あくびは関節部の過度の伸展によって微少な外傷を与えると考えられているが、今回の測定でも大あくびでは下顎が最大開口位をとる時間が長くなり顎関節への負荷が大きくなると思われる。

先にも述べたように現状では測定器の精度不足のため顎頭点での解析は行えていないが切歯点と左右第一大臼歯点の移動量によって顎関節への負担も推測できる。また、本測定器が従来の測定器では測定が困難である姿勢でも測定が可能であることが示された。

V. 総括

1. 一对の三軸コイルを用いた測定システムを改良し、口腔内センサを開発することで、より生理的条件下での顎運動測定が可能となった。
2. 睡眠中など従来の測定器では測定が難しい姿勢での顎運動測定が可能であることが示された。

今後の展望としては、最大開口位付近での精度を向上させ顎頭点での解析を可能にし、睡眠中のブラキシズムや顎関節症に関連のある動作について測定を行い動態解析に努めたい。さらに、電子回路部を小型化し、携帯型6自由度顎運動測定器の開発へと発展させたい。

謝辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご高聞を賜りました咬合管理学分野坂東永一教授に深甚なる謝意を表します。また、ご教示とご助言を賜りました口腔顎顔面補綴学分野市川哲雄教授、ならびに小児口腔健康科学分野西野瑞穂教授に感謝の意を表します。さらに本研究にご協力いただきました重本修何助手はじめ咬合管理学分野の教室員の方がたに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 坂東永一：“顎機能制御系”。臨床咬合学辞典。長谷

- 川成男, 坂東永一監修. 第1版. 東京, 医歯薬出版, 1997, 101-102.
- 2) 大久保由紀子: 咬合接触の3次元解析システムの開発. 補綴誌36, 53-63 (1992)
- 3) 川口貴穂: 一对の三軸コイルでセンサを構成した6自由度顎運動測定器. 四国歯誌16, 33-42 (2003)
- 4) Jackson J D 著, 西田稔 訳: Classical Electrodynamics 3rd ed (電磁気学(上)原書第3版). 京都, 吉岡書店, 2002, 253-256.
- 5) 鈴木 温: デジタル方式下顎運動測定器による下顎限界運動の6自由度解析. 補綴誌31, 712-725 (1987)
- 6) 山下秀一郎: 咬合高径の変更に伴う歯牙接触の径時的变化に関する研究. 口病誌55, 27-52 (1988)
- 7) Akamatsu Y, Minagi S and Sato T: A new method for recording mandibular position during nocturnal bruxism. J Oral Rehabil 23, 627-631 (1996)
- 8) 湯上 圭: 歯牙接触における筋活動の径時的变化に関する研究—第1報—マイクロフォトセンサーを用いた歯牙接触検出装置. 補綴誌38, 1045-1054 (1994)
- 9) 大倉一夫: マルチテレメータシステムを用いた睡眠時ブラキシズムの測定と解析. 補綴誌41, 292-301 (1997)
- 10) Amemori Y, Yamashita S, AI M, Shinoda H, Sato M: Influence of nocturnal bruxism on the stomatognathic system. Part I: a new device for measuring mandibular movements during sleep. J Oral Rehabil 28, 943-949 (2001)
- 11) 重本修何, 坂東永一: ブラキシズム解析用顎運動測定器の開発. 補綴誌40, 379-389 (1996)
- 12) 近藤宏治: “下顎安静位, 安静空隙”. 臨床咬合学辞典. 長谷川成男, 坂東永一監修. 第1版. 東京, 医歯薬出版, 1997, 295-297.
- 13) 三浦不二夫: 筋電図法による咀嚼筋の活動様式に関する研究(特に咬筋, 側頭筋, 顎二腹筋について). 口病誌23, 291-320 (1956)
- 14) 川添堯彬: 下顎安静位の運動学的研究. 歯科医学 35, 474-507 (1972)
- 15) 波多野泰夫: “4. 顎関節症と日常生活習癖”. 顎関節症. 日本顎関節学会編. 第1版. 京都, 永末書店, 2003, 317-323.