原 著 論 文

タッピング運動時に観察される頭部矢状面内協調運動

蔵本 誠 松山 剛士 河野 正司 河野 世佳

The Head Movement Cooperated with Mandibular Tapping Movement in Sagittal Plane

Makoto Kuramoto, Takeshi Matsuyama, Shoji Kohno and Tsuguyoshi Kohno

Abstract : In a previous study, it was confirmed that the head moves rhythmically and coordinately with jaw tapping movements. However, this report only referred to the vertical movements of the upper incisal point as mandibular movement. If the head moves in order to maintain balance during jaw functional movement as reported, it is expected that the upper incisal point moves not only vertically but also anteroposteriorly. The objective of the study was to assess the anteroposterior component of the head movement in order to clarify the existence of cooperated head and mandibular movement during jaw tapping. The experimental method followed in previous studies was repeated to analyze data from five young adults with the same six-degree-of-freedom measuring device.

The upper incisal points moved rhythmically anteroposteriorly, as reported for the vertical direction. The amplitude of anteroposterior motion of the upper incisal point was about 8.6% of the mandibular range of motion. The upper incisal point moved anterosuperiorly during opening and posteroinferiorly during closing. As the mandibular range of motion became greater, the amplitude of anteroposterior motion of the upper incisal point became greater. The results suggested that the vectors of head movement translation depends on the magnitude of mandibular range of motion.

Key words : jaw movement, tapping movement, head movement, cooperative movement

I. 緒 言

咀嚼運動や下顎のタッピング運動は、咀嚼筋、舌筋、口腔軟組織などの協調活動により行われるリズムカルな運動である。これらの下顎運動に同期した筋活動が咀嚼筋のみならず胸鎖乳突筋などの頭頸部の筋¹⁾にもみられている。このことから下顎運動とともに頭部もリズムカルな協調運動を行っていることが推察される^{2,3)}。

最近になってタッピング運動を対象として、下顎運動に協調した頭部運動の存在について松山⁴⁾が確認している。

その報告によると、タッピング運動時に上顎切歯点部の上下方向の運動を測定したところ、開口時には上方へ閉口時には下方へ運動する下顎の開閉運動に同期したリズムカルな運動が存在し、下顎運動時に頭部のバランスを取るための随伴運動であろうとしている。

この松山の報告では、下顎運動に随伴する頭部運動について、切歯点部の上下的な運動のみをとらえている。しかし、頭部運動が下顎運動時に頭部のバランスを取る運動であるとする、上顎切歯部は上下方向と同時に前後方向にも運動している可能性がある。

機能運動時の頭部運動を多次元で記録解析することができれば、下顎の機能運動と全身との関連を解明することにもつながり、臨床において顎口腔機能状態を多面的に評価することが可能となる。

そこで本研究では、タッピング運動時の頭部運動の前後

新潟大学歯学部歯科補綴学第一講座（主任：河野正司教授）
Department of Removable Prosthodontics, Niigata University
School of Dentistry (Chief : Prof. Shoji Kohno)
平成 11 年 2 月 1 日受付

成分に着目し、下顎に協調する頭部運動の存在を解明することを目的とし、検討を行った。

II. 研究方法

1. 被験者

自覚的、他覚的に顎口腔系に異常を認めず、顎機能障害の既往歴をもたない本学歯学部学生 5 名（男性 4 名、女性 1 名、年齢 21~26 歳、平均 25 歳）とした。

2. 顎運動測定法

顎運動の測定には、6 自由度顎運動測定装置 TRIMET^{5,6)}（東京歯材社製）を用いた。顎運動の測定は、測定標点である LED を左右側にそれぞれ 2 個ずつ、計 4 個配置したフェイスボウを被験者の上下顎に装着し、この標点の運動を、大地座標系上に配置した左右側 3 台ずつ、計 6 台の CCD カメラで記録した（図 1）。

測定カメラによって記録した上顎データから上顎切歯点の運動を算出して頭部運動として分析の対象とした。ま

図 1 Measurement of jaw movements by TRIMET
TRIMET による顎運動の測定

た、下顎の記録データから上顎の記録データを除して、頭部運動の含まれない下顎運動について、下顎切歯点を分析点として解析に用いた⁴⁾。

3. 測定条件

顎運動測定時には、被験者は頭部の拘束のない楽な姿勢で測定装置に着座し、カンベル平面を大地に対してほぼ水平に保った頭位において、表 1 に示す 1~2 Hz のタッピング運動の測定を開始した。

なお、被験者への開口量の指示に際しては、あらかじめノギスによって開口量を測定し、数回の練習を行わせた。また、頻度についてはメトロノームによる聴覚刺激を与えて、閉眼状態下にてタッピング運動を記録した。

4. 分析方法

1) 計測座標系

上下顎運動の記録は、サンプリング周波数 100 Hz にて量子化を行い、すべてをデジタルデータとして分析を行った。座標系は下顎運動は上顎座標系（x-y 座標系）を用い、頭部運動は大地座標系（X-Y 座標系）を用いた（図 2）。また、咬頭嵌合位における上下顎切歯点をそれぞれの原点とし、このとき x 軸は、カンベル平面と平行になるようにし、X 軸は大地に対し水平となるようにした。

下顎運動については、下顎切歯点の y 軸変位を開口量として測定した。上顎運動については、上顎切歯点の X 軸変位を上顎切歯部の前後の運動量として、Y 軸変位を上顎切歯部の上下の運動量として測定した。また、上顎切歯点運動を矢状面上にベクトル表示したものが X 軸となす角度を移動角度とした（図 2）。

2) 下顎運動の分析

タッピング運動時の上下顎切歯点の位置変化の時系列表示の 1 例を図 3 に示す。

下顎切歯点の垂直成分の運動について、1 ストロークご

表 1 The conditions of tapping movement, the number of tapping strokes, mean values and coefficient of variation of mandibular cycle time, maxillary cycle time, range of motion (ROM), anteroposterior motion of upper incisal point and mean value of antero-posterior motion of upper incisal point/ROM ratio, and direction of head movement

各被験者のタッピング条件、ストローク数、下顎 cycle time、上顎 cycle time、開口量、上顎切歯部の前後の運動量、上顎切歯部の前後の運動量/開口量比の平均値、および移動角度の平均値と変動係数

被験者	タッピング条件		ストローク数 上顎/下顎	下顎 cycle time		上顎 cycle time		開口量 (A)		上顎前後の運動量 (B)		B/A 平均 (%)	移動角度	
	開口量 (mm)	頻度 (Hz)		平均 (msec)	CV 値	平均 (msec)	CV 値	平均 (msec)	CV 値	平均 (mm)	CV 値		平均 (°)	CV 値
A	20	2	26/26	497	0.06	501	0.12	19.2	0.17	1.3	0.34	6.6	23.1	0.40
B	20	2	28/28	612	0.10	608	0.12	21.1	0.09	1.3	0.35	6.4	34.8	0.44
C	10	1	26/26	963	0.08	969	0.19	10.8	0.24	1.5	0.55	14.0	53.5	0.23
	20	1	37/37	940	0.09	924	0.23	19.6	0.16	1.5	0.58	7.6	53.7	0.28
	30	1	15/15	1187	0.07	1176	0.09	28.3	0.06	3.0	0.39	10.6	50.5	0.20
D	指示なし	2	61/61	470	0.13	473	0.19	3.4	0.49	0.2	0.50	5.9	56.9	0.32
E	30	2	83/83	452	0.15	451	0.11	28.5	0.10	2.4	0.47	8.5	40.3	0.34
全被験者			276/276	707	0.09	702	0.14	16.9	0.13	1.5	0.46	8.6	45.4	0.24

図 2 Analysis of the movement of maxillary and mandibular incisor points
上下顎切歯点運動の計測方法

図 3 The movements of maxillary incisor point and mandibular incisor point during tapping (Sub. E)

The upper traces show the anteroposterior and vertical component of maxillary incisor point. The lower trace shows the vertical component of mandibular incisor point
タッピング運動上下顎切歯点時間軸表示 (被験者 E)
上段は上顎切歯点前後および上下方向成分。下段は開口量を表す

とに分割して分析した。分割の方法は下顎切歯点の垂直成分座標が 10 ポイント以上連続して、下方に向かって運動する最初の点を開口相開始点とし、開口相開始点から次の開口相開始点までを 1 ストロークとした⁴⁾。このように運動データを各ストロークに分割した上で、ストローク数、各ストロークの cycle time および上下的運動量を下顎の開口量として算出した。

3) 頭部運動の分析

頭部運動についてみると、図 3 に示すごとく、下顎の開口に伴って上顎切歯点は前方へ移動し、閉口時には後方へ戻ってくる様相が観察できる。そこで下顎運動と同様に、上顎切歯点の水平成分が 10 ポイント以上連続して前方に増加する運動の、最初の点をもって前方運動開始点とし

図 4 The anteroposterior movements of the upper incisor point and the vertical movements of the lower incisor point
上顎切歯点運動前後成分および下顎切歯点運動上下成分時間軸表示

た。

上顎切歯点の前方運動開始点から次の前方運動開始点までを 1 ストロークとして、各ストロークごとに分割し、ストローク数、各ストロークの cycle time および前後の運動量と移動角度を算出した (図 4)。

本実験において分析の対象となったストローク数は、被験者 5 名における合計 276 ストロークである。

III. 結 果

頭部運動の前後成分は下顎運動と同期した運動の様相を示している。そこで両者の関係を詳細に検討し、次の結果を得た。

1. 運動の周期性について

各タッピング運動時のストローク数、cycle time の平均値、および変動係数を表 1 に示す。

図 5 The relationship between the mandibular and head cycle times in all tapping strokes
全ストロークにおける下顎 cycle time と上顎 cycle time の関係

図 6 The relationship between ROM and anteroposterior motion of the upper incisal point in all tapping strokes
全ストロークにおける開口量と上顎切歯部の前後運動量の関係

1) 下顎運動の周期性について

下顎運動の cycle time の平均値は 707 msec, 変動係数は 0.09 であった。

2) 頭部運動の周期性について

上顎切歯点運動の前後成分から求めた cycle time の平均値は 702 msec, 変動係数は 0.14 であった。下顎運動と比較して周期はほぼ同じであり, 変動係数はやや大きい値を示していた。

観察した全 276 ストロークの下顎上下成分の cycle time と上顎切歯点の前後成分の cycle time の関係を図 5 に示す。両者の間には, 相関係数 0.91 と高い相関関係が認められた。このことより, 下顎運動に同期して頭部は前後方向にもリズムをもった運動を行っていることが明らかと

図 7 The relationship between anteroposterior motion and vertical motion of the upper incisal point in all tapping strokes
全ストロークにおける上顎切歯部の前後運動量と上下運動量の関係

なった。

また, 下顎運動の cycle time と頭部運動の cycle time における変動係数を比較すると, 被験者 E の開口量が 30 mm, 頻度が 2 Hz の条件を指示した際のタッピング運動を除いて, 頭部運動 cycle time の変動係数が大きい値を示した。

2. 開口量と上顎切歯部の前後運動量の関係

各タッピング運動時に観察された下顎切歯部の上下運動量を開口量とすると, 開口量と上顎切歯部の前後運動量の平均値および変動係数, ならびに開口量に対する上顎切歯部の前後運動量の百分率の平均値を表 1 に示す。

観察された下顎の開口量は 1.0~34.2 mm, 平均 16.9 mm であった。一方, 上顎切歯部の前後運動量は 0.02~6.0 mm, 平均 1.5 mm であった。

観察した全 276 ストロークにおける開口量と上顎切歯部の前後運動量の関係を図示すると, 図 6 のごとくなる。両者の間には指数関数的な関係があり, 相関係数 0.84 の正の相関関係が認められた。すなわち, 開口量が大きくなると上顎切歯部の前後方向の運動量は大きくなる傾向があり, 特に開口量の増大につれて指数関数的に増加することが明らかとなった。

3. 上顎切歯部の前後運動量と上顎切歯部の上下運動量の関係

観察した全 276 ストロークの上顎切歯部の前後運動量と上顎切歯部の上下運動量の関係を図 7 に示す。両者の間には, 相関係数 0.73 の正の相関関係が認められた。

すなわち, タッピング運動時に随伴する上顎運動は, 切

図 8 The relationship between direction of head movement and anteroposterior motion of upper incisal point in all tapping strokes
全ストロークにおける移動角度と上顎切歯部の前後の運動量との関係

図 9 The relationship between ROM and direction of head movement in all tapping strokes
全ストロークにおける開口量と移動角度との関係

歯部の上下的運動量の増加とともに前後の運動量も増大する傾向にあった。

4. 上顎切歯部の前後の運動量と移動角度の関係

上顎切歯部運動の水平面に対する移動角度を、各ストロークについて図 2 に示すごとく求めた。移動角度は $3.8 \sim 87.1^\circ$ 、平均 45.4° であり (表 1)、観察された全ストロークについて上顎切歯部は前上方に運動していることがわかった。

また、上顎切歯部の前後の運動量と上顎切歯部の移動角度の関係についてみると、図 8 のごとくになった。すなわち、上顎切歯部の前後の運動量が増大すると移動角度は小さくなり、上顎切歯部の前後の運動量が小さくなると、移動角度は増大する傾向があった。さらに、上顎切歯部の前

図 10 The relationship between ROM and motion of the upper incisal point in all tapping strokes
全ストロークにおける開口量と上顎切歯部の移動距離との関係

後の運動量が小さな値では移動角度のばらつきが大きく、上顎切歯部の前後の運動量が大きくなるにつれて移動角度のばらつきが小さくなり、移動角度は 40° 弱になっていた。

5. 開口量と上顎切歯部の移動角度の関係

開口量と上顎切歯部の移動角度の関係を図 9 に示す。開口量が増大すると頭部の移動角度は減少する傾向があり、頭部の移動角度は水平方向へ傾いてきていた。

6. 開口量と上顎切歯部の移動距離の関係

上顎切歯点の前後の運動量が最大となった時点の上顎切歯点の矢状面内運動量を移動距離として求め、開口量との関係を図 10 に示す。両者の間には指数関数的な関係があり、相関係数 0.84 の正の相関関係がみられた。

この結果から、開口量が増大すると、上顎切歯点の移動距離は指数関数的に増加する傾向のあることが明らかとなった。

IV. 考 察

1. 実験方法について

顎運動は姿勢や頭位の変化により影響を受けることが知られている⁷⁻¹⁰⁾。また、頭位の変化によって咀嚼筋の活動量も変化することが報告¹¹⁾されており、さらに頭部の後屈により最大開口量も大きく増大する^{12,13)}など、顎口腔系の種々な機能は頭位の影響を受けている。このため、顎運動の測定において被験者への拘束が可及的にないことが望ましい。

本研究においては、頭部および下顎を一切拘束せず、また上下顎歯列間に介入する装置も存在しない無接触な状態

で、より生理的な顎運動を測定することが可能なシステムといえる。

また、上顎切歯部の運動様相を詳細に把握し、メカニズムを解明するためには上顎切歯部を立体としてとらえることが必要と考えられるが、今回はタッピング運動という矢状面内において行われる運動を対象として、そのリズム性を解明する目的から、切歯点のみの矢状面上での観察を行った。

2. 実験結果について

1) 周期性について

種々の条件においてタッピング運動を行わせたところ、上顎切歯部の前後運動量の cycle time は下顎上下の運動量の cycle time に応じて変化し、上顎切歯部の前後運動の cycle time と相関係数 0.91 の関係にあった。このことから下顎運動に対して、上顎切歯部の前後運動には協調性をもったリズム性が存在することが示された (図 5)。

しかし、上顎運動および下顎運動それぞれの cycle time の変動係数をみると、下顎運動の 0.09 に対して上顎切歯部の変動係数は 0.14 と大きな値を示した。すなわち、上顎の前後方向の周期性が下顎運動の周期性より劣る結果となったが、これは松山⁹⁾が記しているごとく、下顎運動が指示条件に従って能動的に遂行されるのに対して、頭部運動は下顎運動に随伴するものであることから、指示条件の変化の影響を強く受けて、cycle time の変動がやや大きく現れたと考えられる。

また、この上顎切歯部における運動の前後方向の値は、松山の報告⁹⁾した上下方向の変動係数 0.12 よりも大きい値である。この結果は、下顎運動に随伴する上顎切歯部の前後方向への運動の onset と offset が、上下方向の運動のそれよりも、下顎運動のストロークとの周期性にやや劣ることを示している。

2) 上顎切歯部の運動方向について

下顎の運動方向と上顎切歯部の矢状面における運動方向の関係を観察すると、下顎の開口時に上顎切歯部は前上方へ、閉口時には後下方へと明確な動きを示していた。このことは、下顎運動機能をより円滑に行うために、頭頸部全体の平衡を保ち頭部の姿勢を制御する働きの運動としてこの頭部運動が存在しており、またその運動が回転様の運動である可能性を示唆している。

3) 開口量と上顎切歯部の前後運動量との関係

個々のストロークにおいて開口量と上顎切歯部の前後運動量の相関関係を検討した。その結果図 6 のごとく、下顎上下の運動量の増加に伴い、上顎切歯部の前後運動量が指数関数的に急速に増加し、上顎切歯部の前後運動量が下顎上下の運動量に大きく影響を受けていることを示すものである。

4) 上顎切歯部の前後運動量と上下運動量の関係

前項と同様に、個々のストロークにおいて上顎切歯部の前後運動量と上下運動量の相関関係を検討したところ、両者の間には正の一次相関が認められた (図 7)。つまり、上顎切歯部の上下運動量が増加するにつれて前後運動量も増加しており、上顎切歯部の前後運動量が小さな値ではばらつきが少なく、中程度の値ではばらつきが大きい、大きな値ではまたばらつきが小さくなっている。

5) 上顎切歯部の前後運動量と移動角度の関係

上顎切歯部運動の前後成分の値が増大すると、移動角度は小さくなり、上顎切歯部運動の前後成分の値が小さくなると移動角度が増大する傾向がみられた (図 8)。また、上顎切歯部運動の前後および垂直成分の値が小さいときは上顎切歯部移動角度のばらつきが大きく、上顎切歯部前後および上下の運動量が大きくなると上顎切歯部の移動角度のばらつきは小さくなっている。

3. 上顎切歯部にみられた運動の意義

カンペル平面を基準として測定した下顎切歯部の上下運動量は、ほぼ開口量を表していると考えることができる。そこで上顎切歯部の運動と開口量との関係を考えると、図 6 および図 10 に示すごとく開口量が増大すると、上顎の前後的な運動量および移動距離は大きくなる傾向を示す。

また、この上顎の前後的な運動の cycle time は下顎運動のそれと高い相関を示している。

これらの 2 点から考えると、開口時に上顎切歯部が前上方に運動し、閉口時に後下方に戻るというこの頭部運動は下顎のタッピング運動に付随する協調運動といえる。これは重心移動や姿勢変化に対抗する働きをもち、下顎運動を円滑に遂行するための補助的運動と考えられる。

このような身体の平衡を保つためのリズム性をもった運動は、歩行運動における上肢の運動にみられる。左右側の下肢の運動に対して、左右側の上肢が相互的に運動して身体平衡を保つこの運動は姿勢制御中枢の制御を受けていることが知られている¹⁴⁾。

下顎の機能運動時に協調した頭部運動がみられる現象は、Igarashi¹⁵⁾がウサギにおいて観察し、その機構について神経生理学的な検索を行っている。それによるとヒトと同様に開口時には頭部が上方へ、閉口時には下方へのリズムカルな運動が認められる。しかし、この運動は、歯根膜や筋の受容器といった末梢の受容器の制御を大きく受けているが、中枢性の制御の存在については可能性はあるものの未だ確証は得られていない。

さらにまた、開口量が増加すると、図 9 のごとく上顎切歯部の前上方への移動角度は小さくなる傾向を示している。この結果は、下顎運動に随伴する頭部運動は回転様の

運動として行われている可能性を示唆するものである。

V. 結 論

5名の被験者に対し、頻度と開口量による種々のタッピング条件を負荷し、上顎切歯部運動を記録した。この運動の前後成分に対し、時間的要素および運動量の要素から解析を行い、以下の結論を得た。

1. タッピング運動中、上顎切歯部の矢状面における前後の運動成分は、上下の運動成分と同様に、下顎運動と同じ周期でリズムカルに運動していた。

2. 上顎切歯部の矢状面における前後の運動量は開口量に比例し、平均で開口量の8.6%の運動量を示した。

3. タッピング運動時は、上顎切歯部は下顎の開口に対して前上方に運動し、閉口に対しては後下方に運動し、頭部は回転様の運動をしている可能性が示唆された。

4. 開口量が増大すると上顎切歯部運動は増大し、上顎切歯部運動の移動方向も変化することが認められた。このことより、開口量の変化によって頭部の運動様相が変化することが考えられた。

文 献

- 河野正司, 吉田恵一, 小林 博ほか. 咬合機能時にみられる胸鎖乳突筋の活動様相. 補綴誌 31: 764-769, 1987.
- Lund JP, Enomoto S. The Generation of Mastication by the Mammalian Central Nervous System. In: Cohen AH, Rosignol S, Grillner S, editors, Neural Control of Rhythmic Movements in Vertebrates 41-72, New York: Wiley Interscience, 1988.
- Eriksson P-O, Zafar H, Nordh E. Concomitant mandibular and head-neck movements during jaw opening-closing in man. J Oral Rehabil 25: 859-870, 1998.
- 松山剛士. タッピング運動時に観察される頭部の協調運動. 補綴誌 40: 535-543, 1996.
- 黒川昌彦, 林 豊彦, 宮川道夫ほか. 1次元 CCD カメラを用いた顎運動測定装置 (JKN-1) の測定精度. 信学技報 MBE 92-96, 1992.
- Hayashi T, Kurokawa M, Miyakawa M et al. A high-resolution line sensor-based photostereometric system for measuring jaw movements in 6 degree of freedom. Frontiers Med Biol Enging 6: 171-186, 1994.
- Mohl ND. The Role of Head Posture in Mandibular Function. In: Solberg WK, Clark GT, editors, Abnormal Jaw Mechanics, Diagnosis and Treatment 97-111, Chicago: Quintessence Publishing, 1984.
- Naeiji M, Honee GLJM. The reproducibility of movement parameters of the empty open-close-clench cycle in man and their dependency on the frequency of movements. J Oral Rehabil 6: 405-415, 1979.
- 小室 智. 頭部の側屈が下顎運動に及ぼす影響について. 歯科医学 43: 359-385, 1980.
- Winnberg A, Pancherz H, Westesson P. Head posture and hyo-mandibular function in man. A synchronized electromyographic and videofluorographic study of the open-close-clench cycle. Am J Orthod Dentofacial Orthop 94: 393-404, 1988.
- 土田幸弘. 頭位の変化が咀嚼筋の随意収縮活動に及ぼす影響について. 補綴誌 35: 89-102, 1991.
- 蔵本 誠, 河野正司, 石岡 克. 体位および頭位が開口量の測定に及ぼす影響について. 顎機能 9: 149-156, 1991.
- 田中みか子, 蔵本 誠, 河野正司ほか. 頭部後屈により最大開口量と顎二腹筋活動量は増加する. 補綴誌 39: 729-736, 1995.
- 中村隆一, 斎藤 宏. 基礎運動学. 310-336, 東京: 医歯薬出版, 1987.
- Igarashi N, Yamamura K, Yamada Y et al. Head movements and neck muscle activities associated with the jaw movement during mastication in the rabbit. Brain Res. 1999. (投稿中)

著者連絡先: 蔵本 誠

〒951-8514 新潟県新潟市学校町通 2-5274

TEL 025-227-2891

FAX 025-229-3454