下顎のタッピング運動に協調した頭部運動の多点解析の試み

河野世佳, 土田幸弘, 河野正司, 荒井良明, 湊 修, 蔵本 誠, 松山剛士

新潟大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任: 河野 正司 教授)

[受付: 平成10年 7 月27日]

A preliminary study of coordinated head and mandibular tapping movements through analysis of multi-reference points

Tsuguyoshi Kohno, Yukihiro Tsuchida, Shoji Kohno, Yoshiaki Arai, Osamu Minato,

Makoto Kuramoto, Takeshi Matsuyama

Department of Removable Prosthodontics, School of Dentistry, Niigata University

(Director: Prof. Shoji Kohno)

[Received: July 27, 1998.]

Key words: jaw movement, head movement, tapping movement,
cooperative movement, multi-reference point analysis

Abstract: We have previously demonstrated that the head moves rhythmically and coordinately with the mandible during functional mandibular movements; however, in those studies we could not provide information on the movement of the head as a whole because only the mandibular and maxillary incisal points were tracked. The objective of the present study was to assess sagittal head movement through analysis of the vectors of several reference points in the head and a mandibular incisal point during open-close tapping movements of different frequency.

The same 6-degree-of-freedom measuring device employed in our previous studies was used again to analyze data from four male adults, age 26-27 years old.

Results:

- 1) During mandibular tapping movement, head reference points moved in a rotation-like movement; i.e., during opening the head moved clockwise and counter-clockwise during closing in the left side's sagittal plane.
- 2) There were no significant differences of angulation of the vectors between 1 Hz tapping movement and 3 Hz in all reference points. However, the range of motion of all reference points depended on the frequency of tapping movements in this case. The motion of the 1Hz tapping movement was larger than the 3 Hz one.
- 3) The hypothetical rotation center was located above the cervical vertebrae, and its sagittal position was dependent on each tapping movement.

抄録 我々はこれまで下顎の咀嚼運動時やタッピング運動時に頭部が下顎と協調してリズムカルに運動することを報告してきた。しかしいずれの報告も上下顎の切歯点を分析対象としたものであり、頭部全体の運動を説明するには至っていない。

そこで著者らは矢状面内におけるタッピング運動時の頭部の運動様相を把握する目的で頭部に複数の分析点を設け、それらの点の運動方向、運動距離を計測することによって、頭部運動の解析を試みた。

測定には6自由度顎運動測定装置を用い、頭部を固定することなく行った。被験者として自覚、他覚的に顎口腔系に異常を認めない26~27歳の本学男子大学院生4名を選択しタッピング運動を負荷した。

その結果を以下に示す。

1. タッピング運動の際、矢状面観で、頭部は下顎開口時に上顎切歯点の下顎切歯点と離れるよう後屈方向に、閉口時にはこれらが近づくように前屈方向にと回転運動を行っていることが明らかとなった。
2. 頻度1 Hzのタッピングでは頻度3 Hzのタッピングより各分析点の運動距離は有意に大きい、運動方向に有意差は見られなかった。
3. 頭部回転運動の中心探索の結果、タッピング運動の開口相において頭部運動の回転中心は、頸椎の上方の体軸上に分布しており、この位置はタッピング頻度と関係のあることが示唆された。

I. 緒 言

顎運動は下顎の運動とこれに伴う頭部の協調運動によって行われている¹⁾といわれているが、これまで実証的な報告はなかった。そこで我々は、上顎および下顎任意点の運動をそれぞれ6自由度で解析する手法を開発し、下顎機能運動時における頭部の協調運動の存在を明らかにしてきた²⁻⁴⁾。また、顎機能障害症例では頭部の協調運動が正常者と異なる様相を示し、頭部運動が下顎の機能運動の円滑な遂行に欠かせない随伴運動である⁵⁾と考えられるようになってきた。

しかし、これまでの頭部運動に関する報告は、上顎切歯点のみを対象としたものであり、頭部全体の運動を把握するためには、複数点についての解析が不可欠である。

そこで今回、頭部矢状面上の多点解析を新たに行うことによって、タッピング運動時の矢状面内における頭部の動きを把握する事を目的とした測定と解析の可能性を探ることとした。

II. 研究方法

1. 被験者

顎口腔系に既往歴がなく、現在も自覚的ならびに他覚的に異常を認めず、本実験の意義を十分理解して協力を得ることのできた26~27歳の本学男子大学院生4名とした。

2. 下顎運動および頭部運動の測定法

頭部無拘束状態で6自由度顎運動測定装置（東京歯材社製 TRIMET）を使用し、下顎運動と頭部運動の同時記録を行った⁶⁾。被験者には、座位にて、頭部カンベル平面を床とほぼ水平に自力で保たせ、頻度1 Hzならびに

3 Hzのタッピング運動を10秒間負荷した。得られたデータのうち頭部運動、下顎運動とも、大地を基準とした座標系に対するデータを使用し、矢状面からの解析を行った。なお頻度の規定はメトロノームを用いた聴覚フィードバックによって行い、開口量はできる限り大きく行うよう指示した。

3. 分析方法

1) 分析点

頭部矢状面投影図上において、以下のように5つの分析点を設定した。下顎運動の分析点として下顎切歯点（I L）を、頭部運動の分析点としては、上顎切歯点（I U）とその他に新たに3つの分析点を設定した。すなわち、頭部における左側平均的顎頭点相当部を顎頭部（C）とし、Cを通りカンベル平面に対する鉛直軸上でCの90mm上方の点を頭頂部（P）、さらにこの鉛直軸に対するI Uの対称点を後頭部（O）とした（図1）。

2) 分析対象

タッピング運動の開始から10秒間の運動データのうち、下顎運動の開口量、頻度共に安定している連続した5ストロークのタッピング運動を、解析に用いた（図2）。

3) 計測方法

下顎及び頭部分析点の運動の一例を矢状面投影図にて図3に示す。図中の黒い矢印は開口運動時の、白抜きで示した矢印は閉口運動時の各分析点の運動方向を示している。各分析点が一定の方向に運動しながら、軌跡を描いていることが認められる。そこで図4のごとく開口時に見られる各分析点の運動軌跡について、運動経路と最多数点で接する直線（l）を引き、lと大地とのなす角度を運動方向（ θ ）として測定した。 θ の正負は、大地に対して水平な面を基準面とし、被験者に対する仰角を正の方向、俯角を負の方向として示した。さらにlに垂

直で軌跡の起点と交わる直線を (m), 同じく l に垂直で軌跡上の点と交わりかつ m から最も離れた直線を (n) とし, m と n の距離を運動距離 (d) とした. 以上のような方法で各分析点における運動をストロークごとに評価した. また, タッピング頻度の違いによる各分析点の

図 1 分析点

I U : 上顎切歯点 I L : 下顎切歯点
C : 顎頭部 P : 頭頂部 O : 後頭部

Fig. 1 Reference points

I U : Maxillary incisor point
I L : Mandibular incisor point
C : Condylar point P : Parietal point
O : Occipital point

図 3 各分析点の運動軌跡
(Sub.B 3Hz tapping)

Fig. 3 Movements of mandibular and head reference points

運動方向 θ , 運動距離 d の値は Student t-検定にて統計処理を行った.

図 2 分析対象

タッピング運動上下顎切歯点時系列データ中で, 斜線部を分析対象とした (Sub.B 3Hz tapping)

Fig. 2

Sample traces of the maxillary and mandibular incisor points' tracking. The upper trace shows the vertical and antero-posterior components of the maxillary incisor's movement; the lower trace shows the vertical component of the mandibular incisor point. The five strokes within the shaded area were selected for analysis.

図 4 運動軌跡の計測部位

d : 分析点の運動距離

θ : 運動方向

● : 開口相 ○ : 閉口相

Fig. 4

Analysis of the vector of each reference point

d : reference points' range of motion

θ : angle of trajectory

● : opening phase ○ : closing phase

Ⅲ. 結 果

1. 上顎切歯点 I U と下顎切歯点 I L の関係

1) 運動方向 θ について

I U の運動方向 θ は被験者 4 人のそれぞれのタッピング運動における平均値では 46~66 度の範囲にあり, 開口時に前上方に運動していることがわかる. また, タッピング頻度ごとに 4 人の被験者の平均値をみると頻度 1 Hz では 59.4 度, 3 Hz で 55.3 度と大きな違いはなかった. しかし各タッピングにおいて運動方向 θ の標準偏差を見ると, 1 Hz では 4.3~18.7, 3 Hz では 1.6~11.1 の範囲に

表 1 各分析点におけるタッピング頻度別の運動方向「 θ 」

Table 1 Direction of reference points in each subject, according to tapping frequency

		タッピング頻度 1Hz					タッピング頻度 3Hz				
		IL	IU	C	P	O	IL	IU	C	P	O
Sub.A	mean	-93	64	12	187	-50	-92	57	-16	200	-64
	SD	0.9	5.0	5.6	3.8	9.2	1.6	7.0	7.1	6.1	8.7
Sub.B	mean	-93	66	30	167	-69	-96	65	29	160	-48
	SD	1.6	4.3	10.5	6.4	6.5	1.5	1.6	5.4	8.9	5.2
Sub.C	mean	-102	57	32	140	-30	-95	53	19	153	-38
	SD	3.1	18.7	42.7	71.5	15.1	2.1	2.5	8.8	18.8	11.6
Sub.D	mean	-91	50	21	177	-39	-96	46	17	99	-34
	SD	4.2	8.8	12.8	5.6	4.0	1.8	11.1	11.0	91.8	22.2
mean		-95.0	59.4	24.0	167.6	-46.8	-94.5	55.3	12.3	153.0	-46.2
SD		5.1	11.9	22.7	37.7	17.3	2.2	9.3	19.1	56.8	17.1

単位: 度

表 2 各分析点におけるタッピング頻度別の運動距離「 d 」

Table 2 Amplitude range of motion of reference points in each subject, according to tapping frequency

		タッピング頻度 1Hz					タッピング頻度 3Hz				
		IL	IU	C	P	O	IL	IU	C	P	O
Sub.A	mean	37.1	8.7	2.2	6.3	7.7	22.9	2.3	1.0	1.3	2.6
	SD	0.7	1.1	1.1	2.1	1.2	1.7	0.3	0.4	0.5	0.3
Sub.B	mean	35.6	5.9	1.1	4.5	4.5	29.7	5.2	2.2	2.3	4.4
	SD	1.1	0.7	0.7	1.3	0.6	1.8	0.7	0.5	0.5	0.4
Sub.C	mean	52.8	9.2	5.2	4.7	7.3	21.6	2.1	0.9	0.8	1.4
	SD	3.6	2.9	3.0	1.4	3.6	2.1	0.6	0.2	0.3	0.4
Sub.D	mean	26.6	7.0	2.7	2.4	5.9	14.2	1.0	0.7	0.5	1.0
	SD	2.1	2.1	0.8	1.3	1.6	1.5	0.3	0.4	0.4	0.4
mean		38.0	7.7	2.8	4.5	6.4	22.1*	2.7*	1.2*	1.2*	2.3*
SD		9.9	2.2	2.2	2.0	2.3	5.9	1.7	0.7	0.8	1.5

*significantly different from 1Hz, $p < 0.001$ 単位: mm

あり, タッピングの頻度が高くなると運動方向のばらつきは減少してくることがうかがえる.

I L の運動方向 θ に注目してみると, θ の範囲は平均で -91~-102 度となり, 開口時にはほぼ鉛直下方に運動していることがわかる. また, タッピングの頻度別に比較しても運動方向 θ に違いは見られなかった. 標準偏差も 0.9~4.2 と I U に比較して小さくなっており, 下顎運動の方が頭部の運動よりもばらつきが少ないことがわかる. さらに標準偏差をタッピング頻度別に比較すると I U と同様に 3 Hz のタッピングの方が値が小さく, 運動方向のばらつきが小さいことが明らかとなった (表 1).

次に, 描かれた運動軌跡から閉口時の運動様相を観察した. 開口運動時に I U が前上方, I L が下方へと, 互いに離れる方向へと運動を行っていたのに対し, 閉口時の I U は閉口開始点から後下方へ, I L は上方へと, 互いに近づく方向へと運動しているのが観察された. つまり閉口時には, I U, I L 共に閉口時とは運動方向を逆転しながら, 開口運動開始点の近傍へ戻る運動を行っていることが示された (図 5).

2) 運動距離 d について

タッピング頻度 1 Hz で I L の値は平均 38.0 mm であるのに対し I U では平均 7.7 mm となり, I U は I L の約 20% の運動距離となった. 同様にタッピング頻度 3 Hz では運動距離 d は I L で平均 22.1 mm, I U で平均 2.7 mm となり, I U の運動距離は I L の約 12% となった. このように, タッピング頻度が高くなると, 頭部の運動距離は下顎運動に比較して相対的に小さくなることが示

図 5 分析点の運動軌跡の一例 (Sub.B 1Hz tapping)

Fig. 5 Sample trace of reference points' movement

図6 開閉口運動時の頭部分析点及び下顎切歯点運動経路の模式図
a) 開口時 b) 閉口時

Fig. 6 Direction of reference head points and mandibular incisal point
a) opening phase; b) closing phase

された(表2)。

2. 頭部分析点の運動

1) 運動方向 θ について

開口時の頭部分析点について計測すると、Cでは運動方向 θ の平均が $-16 \sim 32$ 度と前下方から前上方に向かって運動していることがわかる。同様にPでは一例を除いて平均で $140 \sim 200$ 度とやや広範囲ではあるが、概ね後方に向かって運動していた。さらにOでは平均 $-30 \sim -69$ 度となり、前下方に運動していることが示された。また、タッピング頻度別に各分析点の運動方向 θ を比較すると、全被験者の運動方向 θ は Student t-検定にて有意差を認めなかった(表1)。

閉口時におけるC、P、Oの運動方向はIU、ILと同様に開口時とは運動方向を逆転して開口運動開始点の近傍へ戻る運動を行っていることが示された(図5)。

2) 運動距離dについて

頻度1 Hzのタッピング運動でCが平均2.8mm、Pが平均4.5mm、Oが平均6.4mm、IUが平均7.7mmとなりCが最も小さく、次いでP、Oの順に大きくなっておりIUが最大となった。また頻度3 Hzのタッピング運動時にはC、Pが最小値を示し、O、IUの順に大きな値を示した。タッピング頻度別に各分析点の運動距離dを比較すると、全被験者の運動距離dは Student t-検定にて危険率0.1%で1 Hzの方が有意に大きいことが示された(表2)。

3. 頭部全体としての動き

頭部分析点の運動経路の測定結果から、IU、C、P、Oの4点では左側矢状面から観察すると、開口時には時計回りの、また閉口時には反時計回りの運動を行っていることが示された(図6)。また、Cでは4つの頭部任意点の中で最小の運動距離を示すことが明らかとなった。これらの現象から考えると頭部の運動はCの近傍に中心を持つ回転様運動を行っていることが示唆されてくる。

IV. 考 察

1. 研究方法について

タッピング運動を負荷した頭位はカンベル平面を水平とした頭位である。この頭位においては下顎のタッピング運動経路が他の頭位に比較して安定していることが知られている⁷⁾ このことより今回はカンベル平面を水平とする頭位で運動を記録した。この他の頭位におけるタッピング運動に関しては、今後の検討課題となっている。

下顎のタッピング運動は若干の側方偏位を含んでいる。しかし顎口腔系に異常を認めない健常者では、開口量約20mmのタッピング運動における上顎切歯点の側方偏位量は、開口量の1.5~2.7%と非常に小さい^{3, 4)}。従って、矢状面からの二次元的な解析を行うことで頭部運動の様相が十分把握できると判断した。また、各分析点の運動経路を矢状面から観察すると、開口路では図5に示すごとく滑らかで直線的な軌跡を描いていることか

図7 各分析点における運動方向 θ の平均、標準偏差

Fig. 7 Mean and standard deviation of direction in each reference point. Solid arrow: mean; Shaded area: standard deviation

ら、この運動経路について運動方向 θ 、運動距離 d を計測することで各分析点の開口時及び閉口時の運動様相を把握することとした(図4)。

2. 実験結果について

1) 運動方向 θ について

タッピング頻度別に各分析点の運動方向を比較したところ有意差を認めなかった(表1)。そこで、各分析点ごとに、計測した全ての運動における運動方向 θ の平均値と標準偏差を表3、図7に示す。図7に示した各分析点の矢印は運動方向 θ の平均を、斜線で示した範囲はその $\pm 1SD$ の範囲を示す。このことより、頭部はタッピングの頻度が1 Hzあるいは3 Hzにかかわらず回転様の運動をしていることがわかる。

2) 運動距離 d について

タッピング頻度別の運動距離 d は全ての分析点において全被験者の値で1 Hzが3 Hzより有意に大きかった。しかし、被験者別に、タッピング頻度別の各分析点の運動距離を比較すると、その比はほぼ等倍から7倍までとさまざまで、特に被験者BのCでは、他の部位とは異なり頻度3 Hzの方が運動距離が大きくなる(表2)。このように頭部分析点の運動距離 d はタッピング頻度の違いによる値の変化に明確な規則をもたず、今回の結果からは不明な点が多かった。このことを明らかにするためには、今後さらなる検討が必要である。

3. 頭部回転中心の検索試行

表3 各分析点における運動方向 θ の平均、標準偏差

Table 3 Mean and standard deviation of direction in each reference point

	IL	IU	C	P	O
mean	-94.7	57.3	18.1	160.3	-46.5
SD	3.9	10.7	21.5	48.2	17.0

単位: 度

今回の結果より、頭部が左側面観で開口時に時計回りの運動を、閉口時に反時計回りの運動を行っている事が明らかとなった。この運動の様相からタッピング運動時の頭部運動は、回転運動であることが予測される。そこでこの運動に回転中心が存在するかどうかについて、4名の被験者から2名を無作為に選択し、探索を行った。

1) 方法

タッピング運動において開口時の頭部運動を多点において観察したところ、Cは運動方向がほぼ前方であり、運動距離も短い。一方、頭部の前方点であるIUの軌跡は下方から上方へ移動、頭部後方の点では上方から下方へ移動する軌跡として描かれ、また頭部の上方点では前方から後方へ移動していることが明らかとなった。この結果から、開口時の頭部運動は、Cのやや上方に中心が存在する回転運動であると推測できる。

そこで、頭部運動の矢状面投影図上において、Cの上方10mmの点を中心に10mm間隔の格子状に30点以上の任意点を設定し、各点の運動軌跡を描記した。描かれた軌跡のうち最も移動距離が少ない点を中心に、さらに細かく最小2.5mm間隔に格子状の任意点を設定し、任意点の移動距離が、前後、上下的に最も短く、さらにその前後、上下で描かれる軌跡が互いに逆向きとなる点を探索して、その点を頭部の回転運動中心として求めた。

このようにして求めた頭部回転中心を側貌X線規格写真をもとに作成した頭部の矢状面図上に重ね合わせて表示した。

2) 結果

回転運動中心付近の任意点における開口時の運動軌跡を描いた例を図8に示す。黒い矢印で示した点は図中で最も移動距離が少なく、その外方にある点は同心円上の軌跡を描いている。さらに、その矢印で示した点を挟んで、前後、上下では白い矢印で示すごとく軌跡の運動方向が逆転しており、またその軌跡の移動距離は外方に向かうほど増加している。このことから開口運動時に頭部は黒い矢印で示した点を中心に回転運動を行っている

図8 回転中心の探索

Fig. 8 Determination of the rotation center

図9 回転中心の存在位置

a) 被験者A b) 被験者B

○ : 1 Hz □ : 3 Hz

Fig. 9 Position of rotation center

a) Sub.A b) Sub.B

○ : 1 Hz □ : 3 Hz

いえる。

頭部回転運動の中心位置は、両被験者とも各ストロークにおいて必ずしも一致しないが、前後的に大きく変化することなく、頸椎の上方の体軸上に分布していることが認められた。

また、被験者Aでは回転中心の位置は1 Hzのタッピングの方が3 Hzのタッピングよりも後方、下方に多く存在する傾向が認められ、さらに被験者Bでは被験者Aよりも明確に3 Hzの回転中心が上方、1 Hzの回転中心が

下方と、分布領域が異なることが示された。

このことは、タッピング頻度の違いが、頭部回転運動の中心位置に関係していることを示唆しており、さらに各分析点の運動距離dが異なるタッピング頻度において不規則な変化をする原因の一つであると考えられる（図9）。この点については、タッピング運動の負荷条件を多方面から考慮して、さらなる詳細な検討が必要と考えている。

V. 結 論

1. タッピング運動の際、矢状面観で、頭部は下顎開口時に上顎切歯点の下顎切歯点と離れるよう後屈方向に、閉口時にはこれらが近づくように前屈方向にと回転運動を行っていることが明らかとなった。
2. 頻度 1 Hz のタッピングでは頻度 3 Hz のタッピングより各分析点の運動距離は有意に大きい、運動方向に有意差は見られなかった。
3. 頭部回転運動の中心探索の結果、タッピング運動の開口相において頭部運動の回転中心は、頸椎の上方の体軸上に分布しており、この位置はタッピング頻度と関係のあることが示唆された。

文 献

- 1) Lund, J.P. and Enomoto, S.: The generation of mastication by the mammalian central nervous system, edited by Cohen, A.H., Rossignol, S. and Grillner, S., Neural control of rhythmic movements in vertebrates, 41-72, Wiley Interscience, New York, 1988.
- 2) 荒井良明, 松山剛士, 河野正司ほか: 咀嚼時に観察される上顎の協調運動記録の試み, 顎機能誌, 1: 183-188, 1994.
- 3) 松山剛士, 河野正司, 荒井良明ほか: 咀嚼時に観察される下顎運動と協調した頭部運動, 顎機能誌, 2: 159-165, 1996.
- 4) 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.
- 5) 大竹博之, 河野正司, 松山剛士ほか: 顎機能障害症例に見られる下顎タッピング運動時の頭部運動, 顎機能誌, 3: 131-138, 1997.
- 6) 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, MBE92-96: 81-88, 1992.
- 7) 池田圭介, 河野正司, 土田幸弘ほか: 顎頭安定性の立場からみたタッピング運動による水平的下顎位の検索, 補綴誌, 40: 964-971, 1996.