原 著 論 文

下顎タッピング運動時の頭部平衡運動の存在について

河野 世佳 河野 正司

Functionally Balanced Head Motion during Mandibular Tapping Movements

Tsuguyoshi Kohno and Shoji Kohno

Abstract : We have previously demonstrated that, during jaw open-close movements, there is a functional-rhythmical coupling between the head and the mandible, and that the head undergoes a rotation-like movement whose center of rotation (CR) is located inside the head. We believe that such concomitant motion occurs to balance the head during jaw movement. This study was made to confirm this theory, and to verify the CR's location and functional purpose. The same 6-degree-of-freedom motion measuring device and analyzing method from our prior studies was used in 11 healthy subjects, but in some of them, a controlled external force was applied to the head during jaw movements, to induce resistance and changes in head motion. In the subjects without loads, there was a high incidence of concomitant head and jaw movements. This was in contrast to the subjects with loads applied, i.e., the incidence decreased, but the CR kept the location inside the head. Yet, the vertical location of the CR relative to the cervical spine was similar in all subjects. We concluded that concomitant head and jaw movement is influenced by the vertical shift of the CR, and that it serves to balance the head in relation to the body.

Key words : jaw movement, head movement, cooperative movement, center of rotation, external force

I. 緒 言

近年、頸筋を代表する胸鎖乳突筋に、咀嚼や噛みしめといった顎機能に同期した筋活動の存在することが報告され^{1,2)}、下顎運動や咬合などと頸筋の機能との関連性に注目が集まっている。これまでに、咀嚼、開閉口などの下顎の機能運動は、咀嚼筋や舌筋、口腔軟組織の協調した活動によって遂行されていることは述べられており^{3,4)}、さらに顎機能と身体全体とのかわりについて関心が高まってきている。

下顎の機能運動時に胸鎖乳突筋の協調活動がみられ

ることから、下顎運動時に上顎、つまり頭部も協調運動をしていることが推測できる。近年、測定器の新たな開発によって、被験者の頭部を無拘束状態で測定することが可能となり^{5,6)}、頭部運動の存在と様相が徐々に明らかになってきた^{5~8)}。さらに著者らは、下顎タッピング運動時に観察される頭部運動が、頭部内に中心をもつ回転様の運動であることを解析している⁹⁾。

このような下顎の機能運動時に観察される頭部運動の存在が、いかなる機能的意義をもつものかは興味のあるところである。この点について松山⁶⁾は、下顎運動時の頭蓋全体のバランスをとるために存在するものと推測している。

また、このような下顎運動に同期した頭部運動はウサギでも観察されることから、五十嵐ら¹⁰⁾は電気生理学的手法により、咀嚼運動時に観察される頭部運動の

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, Faculty of Dentistry,
Niigata University (Chief: Prof. Shoji Kohno)

平成 12 年 4 月 1 日受付

制御機構の解析を試みている。それによると、このときに観察される頸部筋の活動は、中枢性制御の可能性を否定はできないものの、主として口腔領域の感覚情報によって反射性に誘発されているものであるとしている。

さらにまた、顎機能障害症例や顎関節症患者を対象とした調査によると、下顎運動に附随する頭部運動が正常者と異なり、頭部運動に乱れが観察され、出現率が低下するという興味ある知見が得られてきている^{11,12)}。したがって、機能時の頭部運動の様相を追求し、下顎機能運動とほかの身体機能との関連性を明らかにすることができれば、臨床的に顎口腔機能状態を評価する新たな手法の開発にもつながる可能性がある。この点からの頭部運動の機能的意義を明らかにすることが求められている。

上述したこれまで報告されている研究結果から考えると、下顎の機能運動に随伴して観察される頭部運動は、下顎運動に伴う頭部の重心変化に対抗する運動であることが考えられるが、未だ不明の点が多い。

そこで本研究では、顎運動に随伴する頭部運動の機能的意義を明らかにすることを目的として、頭部に錘負荷という外乱を加え、頭部の重心を変化させた状態下において下顎運動に随伴する頭部運動を観察することによって、さらに頭部運動の機能的意義を明らかにすることを試みた。

II. 研究方法

下顎タッピング運動時にみられる頭部運動が、頭部の姿勢バランス保持のために存在すると考えると、バランスを崩す外乱が存在した場合には、それに対抗する運動の存在が予想される。そこで著者らは以下に示すごとく、条件が異なる3種類の実験を行い、下顎タッピング運動時に頭部の姿勢バランスを保持するための運動が存在するか否かを検索を行った(表1)。

実験1: タッピング頻度一定の条件下で、下顎開口量に変化したときに頭部運動へ働く影響を検討する。

実験2: 開口量を可及的に大きく保ち、タッピング頻度の変化が頭部運動へ及ぼす影響を検討する。

実験3: 頭部に外乱として錘負荷を加え、頭部重心の変化が頭部運動へ与える影響を検討する。

表1 The conditions of tapping movement in each experiment
各実験に負荷したタッピング条件

	被験者	タッピング頻度	指示開口量
実験1	A, B, C, D, E	1.3 Hz	15mm, 30mm, 最大開口
実験2	F, G, H, I	1, 2, 3 Hz	最大開口
実験3	E, J, K	2 Hz	最大開口

1. 被験者

顎口腔系に自覚的、ならびに他覚的に異常を認めず、顎口腔領域や頭頸部に機能障害の既往歴がなく、本実験の意義を十分理解して協力を得ることのできた者を選択した。実験1では5名(男性, 25~31歳)、実験2では4名(男性, 26~27歳)、実験3では3名(男性1名, 女性2名, 23~29歳)を対象とした(表1)。

2. 測定方法および被験運動

下顎運動と頭部運動の測定装置には、6自由度顎運動測定装置 TRIMET^{13,14)}(東京歯材社製)を使用した。被験者は座位で、運動測定用の軽量フェイスボウのみを上下歯列弓に取り付け、頭部拘束の一切ない状態下で実験を行った。

被験運動は下顎タッピング運動を対象として、それぞれの運動を20秒間ずつ行わせた。計測時の被験者の頭位は、タッピング運動開始時に頭部のカンペル平面が床と水平になるように定位させて、開眼状態を保ち、視線は4メートル先に設置した被験者の目の高さに等しい印に向けさせた。タッピング頻度と開口量の規定は、計測に先立ってメトロノームによる聴覚刺激と、術者の開口量指示のもとで試技を数回行うにとどめて、測定中には聴覚刺激や開口量指示は与えなかった。

1) 実験1

下顎開口量の違いが頭部運動に働く影響を追求することを目的として、タッピング頻度を1.3 Hzに保つよう指示し、開口量を15 mm, 30 mm および最大開口量の3種類に規定した下顎タッピング運動を記録した。

2) 実験2

タッピング頻度の変化が頭部運動に及ぼす影響を追求する目的で、可及的に大きな開口量を保ちながら、1, 2, 3 Hzの3種類のタッピング頻度を設定して、

図 1 Position of loading external force
Load external force on front, top and back of the head
頭部への外乱の負荷
前頭部、頭頂部、後頭部に外乱を負荷した

図 2 Reference point of mandibular, and head movement

L : Lower incisor point, U : Upper incisor point,
C : Condylar point, P : Parietal point, O : Occipital point

下顎運動分析点, および頭部運動分析点

L : 下顎切歯点, U : 上顎切歯点, C : 顎頭点,
P : 頭頂点, O : 後頭点

下顎タッピング運動を記録した。

3) 実験 3

頭部に錘負荷の外乱を加えた状態で下顎タッピング運動を行わせた。錘は頭部にゴムバンドと粘着テープを用いて、下顎運動の妨げにならないよう強固に固定した。錘負荷を加えた部位は前頭部、頭頂部、後頭部の3カ所とした。使用した錘負荷は、頭部と密着できるように小袋に入れた石膏 1.5 kg とした (図 1)。

3. 分析方法

1) 頭部運動出現率について

測定を行った 20 秒間のタッピング運動を対象に、大竹らの頭部運動の分析方法¹¹⁾に従って頭部運動を単峰性、多峰性、無峰性の3種類に分類した。そのうち単峰性の頭部運動が現れたものに関して頭部運動が存在すると判断した。

図 3 Sample traces of head and mandibular reference points
The shaded area was selected for analysis

頭部運動および下顎運動の時系列表示

中央に示す5ストロークを解析に用い、上顎切歯点 (U)、下顎切歯点 (L) では上下方向の、顎頭点 (C) では前後方向の移動量を示す

2) 頭部回転運動について

(1) 分析点

下顎の運動は下顎切歯点 (L) を分析点とし、カンペル平面を水平面とする座標系に対する矢状面内運動として記録した。

頭部の運動は矢状面内の二次元解析とし、頭部矢状面投影図上に以下に示す4つの分析点を設定し、大地を水平面とした座標系に対する記録を行った。すなわち、上顎切歯点 (U)、顎頭点 (C) : 皮膚上の左側平均的顎頭点部、頭頂点 (P) : C より 90 mm 上方点、後頭点 (O) : C-P を結んだ線に対する U の対称点、である (図 2)。

(2) 分析対象

測定した 20 秒の連続タッピング運動のうち、指示した開口量に近い連続した5ストロークを選んだ。その5ストロークのタッピング運動を、次に示す方法により1ストロークごとに分割して、各ストロークごとに次項にあげる計測を行った。すなわち、下顎運動の垂直成分が10ポイント (0.1秒間に相当) 以上連続して減少しはじめる最初の点を下顎運動開始点とし、その次の下顎運動開始点までを1ストロークのタッピング運動とした。さらに、下顎運動垂直成分の値が最も小さくなった点を開口運動終了点とし、下顎運動開始点より、開口運動終了点までを開口相、その後次の下顎運動開始点までを閉口相とした (図 3)。

図 4 Sample analysis of the reference points

Black trace represent opening phase, gray is closing

Analysis of the distance d and the angle θ The mark $\oplus$, $\ominus$ indicates the angle

頭部分析点の計測例

黒い軌跡は開口相，灰色は閉口相を示す

開口時の移動距離 d と移動方向 θ を計測した 図中 $\oplus$, $\ominus$ は θ の正負を示す

図 5 Determination of rotation center

頭部運動最小移動点の探索法

(3) 移動距離，移動方向の測定

1 ストロークのタッピング運動開口相のうち，各ストローク開始時点を実点とし，そのときの大地を水平軸とする座標系において，運動開始点より最も離れた点までの運動距離を各頭部運動分析点の移動距離 d とした。またその点までの方向を各分析点の移動方向 θ として角度で表示した。 θ については仰角を正の方向，俯角を負の方向として示した (図 4)。

(4) 頭部運動の回転中心の探索

河野らの方法⁹⁾に従って，下顎開口時の頭部運動最小点を求め，それを頭部運動の回転中心とした。すなわち，頭部分析点のうち最も移動距離の短かった顆頭点 (C) の 10 mm 上方の点から，さらに上方へタテ 6

個×ヨコ 5 個の分析点を 10 mm 間隔で設定し運動軌跡を算出，描記する。そのうち最も上下前後的に運動距離が短かった点を中心に，さらに最小 2.5 mm 間隔で分析点を設定し，そのなかで上下前後的に運動距離の最短点を頭部最小運動点とし，頭部運動の回転中心を求めた (図 5)。各条件による回転中心座標は上下的，前後的位置を t -検定 ($p=0.05$) 用いて比較した。

頭部運動の回転中心は，大地を水平とした座標系上で求めており，この回転中心の位置を頭蓋外形上に重ね合わせるため，大地を水平とした座標系を頭部のカンベル平面を水平とした座標系に変換し，顆頭点 (C) を原点とした。

III. 結 果

1. 観察された頭部運動

下顎のタッピング運動時に観察された頭部運動の例を図6に示す。下顎の開口時に上顎切歯点(U)は前上方へ、顎頭点(C)は前方、頭頂点(P)は後方、そして後頭点(O)は前下方へ運動しており、閉口運動時にはそれぞれの分析点は開口開始点の近傍へ戻る往復運動を行っていた。この結果はこれまでわれわれが報告したもの⁹⁾と相違ない。

2. 頭部運動の出現率

種々な条件下のタッピング運動において、下顎運動に伴って現れる頭部運動の出現率について追求した。なお、頭部運動の存在の可否については、大竹ら¹¹⁾の頭部運動識別法によって判定した。

1) 指示開口量と頭部運動出現率

タッピング頻度を1.3 Hzに固定するよう指示し、開口量を3段階に変化させて、開口量の違いが頭部運動の出現率に与える影響を観察した。

その結果、測定した全347ストロークの下顎タッピング運動のうち、96.8%のストロークで頭部の協調運動がみられた。下顎タッピング運動時の開口量との

図6 Movements of mandibular and head reference points

A: The trace of reference points during 5 sequence tapping strokes

B: The trace of each tapping strokes. Black is opening phase, gray is closing

下顎タッピング運動時の頭部運動の軌跡

A: 連続した5ストロークの下顎タッピング運動時の軌跡

B: タッピング1ストロークの軌跡, 黒色の軌跡は開口時, 灰色は閉口時

表2 The conditions of tapping movement and incidence of head movement
タッピング条件と頭部運動出現率

	タッピング頻度 (Hz)	指示開口量	開口量 (mm)	外乱負荷位置	頭部運動出現率 (%)
実験1	1.3	15 mm	13.4 (1.5)	なし	95.0
		30 mm	29.9 (2.9)		97.4
		最大開口	44.9 (4.4)		98.2
実験2	1	最大開口	45.1 (9.9)	なし	96.7
	2		31.4 (6.4)		98.7
	3		24.5 (7.6)		98.3
実験3	2	最大開口	39.7 (6.3)	前頭部	97.5
			39.9 (6.3)	頭頂部	97.5
			37.9 (8.1)	後頭部	91.4

(): SD

関係をみると、指示開口量が 15 mm, 30 mm, 最大開口と増加するに伴い、頭部運動出現率はそれぞれ 95.0, 97.4, 98.2% と開口量に伴って増加した (表 2)。

2) タッピング頻度と頭部運動出現率

次に、タッピング時に最大開口を指示し、タッピング頻度を 3 段階に変化させて、頻度の違いと頭部運動出現率の関係を観察した。

その結果、被験者 4 名の全 226 ストローク中 98.2% のストロークで頭部協調運動がみられた。タッピング頻度と頭部運動出現率の関係をみると、頻度 1, 2, 3 Hz における頭部運動出現率は、それぞれ 96.7, 98.7, 98.3% となり、頻度 1 Hz における頭部運動出現率が最も低値を示した (表 2)。

3) 外乱負荷と頭部運動出現率

頭部に外乱負荷を与え、頭部の重心を変化させた状態における下顎タッピング運動時の頭部運動出現率を観察した。頭部に加えた外乱負荷の位置は、前頭部、頭頂部、後頭部の 3 カ所とした (図 1)。

頭部に加えた外乱負荷の位置を前頭部から頭頂部、後頭部へと変化させると、被験者 3 名の全 242 ストロークにおける頭部運動出現率は、それぞれ 97.5, 97.5, 91.4% となり、外乱負荷を後頭部に固定したときに頭部運動出現率が低下した (表 2)。

3. 下顎および頭部の移動距離、方向

下顎運動とこれに伴って観察される頭部運動について、上顎切歯点 (U)、顆頭点 (C)、頭頂点 (P)、および後頭点 (O) を分析点として、それぞれ矢状面内の移動距離と移動方向を求めた。

タッピング頻度を 1.3 Hz に固定し、開口量を 3 段階に変化させた場合、開口量を一定としてタッピング頻度を変化させた場合、さらに外乱負荷の位置を変化させてタッピング運動を行わせた場合の各分析点の移動距離、各分析点の移動方向を表 3 に示す。

4. 回転中心の位置

各タッピング運動時に観察できた頭部運動について、その回転中心の位置を図 7 に示すごとく、カンペル平面を水平軸とした座標系において、顆頭点 (C) を原点、前方を +x, 上方を +z として求めた。

1) 開口量変化と回転中心の位置 (表 4, 図 7)

実験 1 において、タッピング頻度を 1.3 Hz とした条件下で、3 段階の開口量を被験者に負荷した結果、求められた頭部運動の回転中心は次のごとくであった。

(1) 開口量 15 mm の場合

頭部運動回転中心について、5 名の被験者の平均値と標準偏差を求めると、顆頭点 (C) の後方の 6.1 (± 16.5) mm, 上方の 33.9 (± 45.7) mm に存在した。

また、頭部回転中心の分布範囲を標準偏差を用いて比較すると、上下方向 (z) では ± 45.7 mm となっており、前後方向に比較して 2.8 倍のばらつきをみせていた。

(2) 開口量 30 mm の場合

頭部回転中心は、5 名の被験者において顆頭点 (C) の後方に平均 11.5 (± 14.0) mm, 上方に平均 37.5 (± 33.2) mm に存在した。

また、頭部回転中心の分布範囲は上下方向では前後方向の 2.4 倍となっていた。

(3) 最大開口の場合

最大開口では後方に平均 11.1 (± 11.5) mm, 上方に平均 53.6 (± 50.0) mm と顆頭点 (C) の後上方に観察された。

頭部回転中心のばらつきを標準偏差によって比較すると、上下方向が前後方向の 4.3 倍となっており、上下方向に広範囲にばらつくことが明らかとなった。

以上のように、タッピング運動の条件が変わると、求まる回転中心の位置も変化した。しかし、それぞれの条件における回転中心の座標の違いは、t-検定にて上下方向、前後方向とも有意差がみられなかった。

2) タッピング頻度と回転中心の位置 (表 4, 図 7)

次に、タッピング時の開口量を最大と指示し、タッピング頻度を 3 段階に変化させて、そのときの頭部回転中心の位置を求めた。

(1) 頻度 1 Hz の場合

頭部回転中心の位置は被験者 4 名の平均でみると、顆頭点 (C) の後方に 12.4 (± 10.6) mm, 上方に 31.9 (± 28.8) mm のところに認められた。頭部回転中心のばらつきに着目してみると、上下方向が前後方向の 2.7 倍を示した。

表 3 Range of motion and direction in each reference points, according to the conditions of tapping movement

タッピング条件と各分析点の移動距離, 移動方向

	指示開口量	頻度	外乱負荷位置	分析点	移動距離 (d) mm (SD)	移動方向 (θ) degree (SD)
実験 1	15 mm	1.3 Hz	なし	U	1.0 (0.3)	57 (15.0)
				C	0.5 (0.3)	-3 (45.2)
				P	0.7 (0.4)	89 (128.9)
				O	1.0 (0.3)	-38 (20.3)
	30 mm	1.3 Hz	なし	U	2.6 (1.1)	57 (9.6)
				C	1.1 (0.6)	27 (40.6)
				P	1.4 (0.8)	185 (14.8)
				O	2.4 (1.0)	-34 (15.0)
	最大開口	1.3 Hz	なし	U	4.6 (1.7)	53 (16.0)
				C	2.1 (1.2)	19 (35.9)
				P	1.9 (1.3)	182 (19.4)
				O	4.5 (1.4)	-32 (11.8)
実験 2	最大開口	1 Hz	なし	U	7.9 (2.1)	64 (15.0)
				C	2.6 (2.2)	41 (41.2)
				P	4.2 (2.0)	155 (53.6)
				O	6.0 (2.0)	-51 (18.5)
	最大開口	2 Hz	なし	U	3.7 (2.7)	57 (15.7)
				C	1.8 (1.5)	14 (11.4)
				P	1.7 (0.9)	161 (40.4)
				O	2.8 (1.7)	-50 (18.5)
	最大開口	3 Hz	なし	U	2.6 (1.7)	52 (16.8)
				C	1.1 (0.7)	25 (42.3)
				P	1.2 (0.8)	153 (58.0)
				O	2.3 (1.5)	-45 (16.3)
実験 3	最大開口	2 Hz	前頭部	U	3.8 (2.9)	47 (23.8)
				C	2.0 (1.4)	1 (7.6)
				P	1.2 (1.0)	142 (81.5)
				O	3.6 (3.0)	-28 (36.3)
	最大開口	2 Hz	頭頂部	U	5.4 (5.9)	41 (10.7)
				C	2.9 (3.3)	2 (10.7)
				P	1.4 (1.3)	178 (17.4)
				O	5.5 (6.2)	-46 (18.4)
	最大開口	2 Hz	後頭部	U	5.5 (6.5)	58 (35.0)
				C	1.7 (1.8)	36 (70.3)
				P	3.6 (4.4)	155 (56.4)
				O	5.8 (7.3)	-26 (79.4)

U：上顎切歯点, C：顎頭点, P：頭頂点, O：後頭点

(2) 頻度 2 Hz の場合

頻度 2 Hz においても後方に 14.2 (±10.2) mm, 上方に 44.5 (±39.8) mm にあり, 回転中心のばらつきは上下方向が前後方向の 3.9 倍を示していた。

(3) 頻度 3 Hz の場合

頻度 3 Hz では後方に平均 9.1 (±10.7) mm, 上方に平均 41.3 (±22.9) mm となり, 頭部回転中心の平均値は顎頭点 (C) の後上方にあった。また頭部

回転中心の上下方向のばらつきは前後方向の 2.1 倍であった。

タッピング頻度の変化によって, 求まる回転中心の位置も変化した。しかし, それぞれの条件における回転中心の座標の違いは, t-検定にて上下方向, 前後方向とも有意差がみられなかったが, 開口量を変化させたときと同様に頭部回転中心は前後方向より上下方向にばらついていた。

表 4 Coordinates of head rotation center, according to the conditions of tapping movement
タッピング条件と頭部回転中心座標

被験者				A	B	C	D	E	mean		
	指示開口量	頻度	外乱負荷	座標							
実験 1	15 mm	1.3 Hz	なし	x	5.1(9.7)	-5.1(15.4)	-14.4(12.8)	-26.0(8.0)	10.0(0.2)	-6.1(16.5)	
				z	19.9(44.8)	40.1(38.5)	29.2(60.7)	80.6(28.4)	-0.4(5.0)	33.9(45.7)	
	30 mm			x	2.5(6.8)	-12.1(3.4)	-23.0(6.8)	-27.1(7.0)	2.3(8.0)	-11.5(14.0)	
				z	13.3(18.7)	39.3(36.3)	49.3(14.7)	77.9(15.3)	7.9(21.8)	37.5(33.2)	
	最大開口			x	5.2(5.2)	-9.5(12.3)	-14.3(4.1)	-16.4(5.1)	-20.4(8.7)	-11.1(11.5)	
				z	69.0(77.2)	53.8(39.4)	38.8(27.4)	12.8(43.9)	93.7(13.2)	53.6(50.0)	
被験者				F	G	H	I				
実験 2	最大開口	なし	1 Hz	x	-4.8(2.2)	-14.2(2.5)	-12.3(18.8)	-18.3(7.3)		-12.4(10.6)	
				z	28.4(22.0)	10.2(8.2)	53.9(44.6)	35.3(12.6)		31.9(28.8)	
				2 Hz	x	-6.7(4.5)	-10.3(4.2)	-23.2(14.7)	-16.7(6.0)		-14.2(10.2)
					z	7.5(23.8)	64.1(42.2)	74.6(15.7)	31.8(37.7)		44.5(39.8)
				3 Hz	x	5.4(4.5)	-6.6(1.6)	-20.4(5.3)	-14.6(4.7)		-9.1(10.7)
					z	41.1(22.6)	50.9(10.8)	50.2(13.7)	22.8(32.1)		41.3(22.9)
被験者				E	J	K					
実験 3	最大開口	2 Hz	前頭部	x	-0.2(3.1)	-5.8(5.5)	-4.8(7.0)			-3.4(5.6)	
				z	65.9(19.1)	47.1(93.8)	77.2(43.4)			64.6(53.7)	
			頭頂部	x	1.3(0.4)	-14.0(9.3)	-0.3(6.3)			-3.6(8.9)	
				z	76.0(21.9)	66.0(44.0)	45.0(37.3)			62.1(34.8)	
			後頭部	x	0.8(0.6)	-25.4(8.8)	-14.1(9.7)			-12.9(13.1)	
				z	39.9(28.2)	61.0(26.2)	-3.5(22.7)			32.5(36.6)	

+x: 前, +z: 上
mm (SD)

3) 外乱負荷の位置と回転中心の位置 (表 4, 図 7)
実験 3 では, 頭部の重心を変化させるため, 頭部に外乱負荷を加えた。

(1) 前頭部に外乱を加えた場合

頭部運動回転中心は, 3 名の被験者の平均値と標準偏差で表すと, 顎頭点 (C) の後方平均 3.4 (±5.6) mm, 上方平均 64.6 (±53.7) mm のところに位置した。そのときの頭部回転中心のばらつきは上下方向が前後方向の 9.6 倍となり, 上下方向へ広く分布していることがわかる。

(2) 頭頂部に外乱を加えた場合

頭部回転中心の位置は, 顎頭点 (C) の後方に平均 3.6 (±8.9) mm, 上方に平均 62.1 (±34.8) mm となった。また, 上下方向のばらつきが前後方向の 3.9 倍となった。

以上のことより前頭部負荷, 頭頂部負荷の場合, 頭部回転中心の位置は顎頭点 (C) の後上方にあることは実験 1, 2 の結果と同様であった。しかし, それらはともに実験 1, 2 でみられたものよりも上方にあり, 外乱によって生じた頭部重心の変化によって, 頭部回

転中心の上方偏位が引き起こされたと考えられる。

(3) 後頭部に外乱を加えた場合

頭部回転中心の上下的位置についてみると, 被験者 J では平均 61.0 (±26.2) mm となり上方へ, 被験者 K では平均 -3.5 (±22.7) mm となり, 大きく下方へと偏位していた。3 被験者の平均では顎頭点 (C) の後方平均 12.9 (±13.1) mm, 上方平均 32.5 (±36.6) mm の点を頭部運動回転中心としている。その前後方向に対する上下方向のばらつきは標準偏差で比較すると 2.8 倍となっていた。

IV. 考 察

下顎の機能運動時に観察される頭部運動は, 健常者においてはタッピング運動の 99%⁶⁾ に存在すると報告されており, またこの頭部運動の中心は頭部内である⁹⁾ということから, いかなる機能的意義をもつものかは興味のあるところである。

さらに, 顎機能障害症例や顎関節症患者を対象とした調査^{11,12)}によると, この頭部運動は複雑な様相を示

図 7 The location of the center of rotational head movement

A : Exp.1 changed mandibular range of motion

B : Exp.2 changed the tapping frequency

C : Exp.3 load the external force during tapping movement

カンペル平面を水平、顎頭点を原点とした座標系における頭部回転中心の位置

ストロークごとに求めた回転中心を矢状面投影図として示した

A : 実験 1 における結果 開口量を 3 種類に変化させた場合

B : 実験 2 における結果 タッピング頻度を 3 種類に変化させた場合

C : 実験 3 における結果 頭部に外乱負荷をした状態でタッピング運動を行わせた場合

し、健常者に観察されるような単峰性の頭部運動の出現率は 79%¹¹⁾, 81%¹²⁾ と低値になることが報告されている。

タッピング運動時の頭部運動を初めて解析した松山⁶⁾は、下顎運動時の頭蓋全体のバランスをとるために、頭部運動が存在するものと推測している。これま

表 5 Incidence of head movement, according to same condition in each subject

各被験者共通の条件による頭部運動出現率

被験者数	全ストローク数	頭部運動出現数	頭部運動出現率
11	247	243	98.4%

タッピング頻度：1.3～2 Hz 指示開口量：最大開口

での研究結果から考えると、下顎の機能運動に伴って観察される頭部運動は、下顎運動に伴う頭部の重心変化に対抗する運動であることが考えられるが、未だ不明の点が多い。

1. 研究法について

そこで本研究では、顎運動に伴って頭部運動の機能的意義を明らかにすることを目的として、6自由度顎運動測定装置 TRIMET^{13,14)}を使用し、種々の条件下におけるタッピング運動時の頭部運動の出現様相と、その回転中心の位置について検索した。この顎運動測定装置は無接触で下顎と頭部の運動を、6自由度で同時に測定できるという特徴をもっている。被験者は、およそ 40 g と軽量のフェイスボウを上下顎歯列に固定するのみで、頭部拘束のない自由な状況での測定が行える。このため、被験者の生理的な状態における運動の記録が可能であり、本研究の目的にかなったものといえる。

健常者のタッピング運動時に観察される頭部運動は、回転様の運動であり、その回転中心は頭部内の頸椎上方にあることが報告されている⁹⁾。そこで、頭部の静力学的なバランスがくずれた状態では、回転中心の位置が偏位してくるのではないかとの考えの基に、種々の負荷を加えて、頭部運動の回転中心の位置に注目して解析した。

2. 結果について

本研究では、実験 1 において被験者が 5 人、実験 2 で 4 人、実験 3 では 3 人と、タッピング運動の負荷条件の異なる実験ごとに、異なる被験者および人数を対象としている。前述の松山は、対象としたタッピングストロークにおいて頭部運動の出現率が 99% であることを報告している。またわれわれの実験においても、各被験者ごとに共通の負荷条件、すなわち外乱を与えず、頻度 1.3～2 Hz、最大開口を指示したタッピング運動においては、頭部運動の出現率は表 5 に示す

ごとく 98.4% と高頻度を示した。このことから、タッピング運動の負荷条件の異なる実験ごとに、異なる被験者および人数を対象としていても、本研究の目的の追求には支障ないものと考え、むしろ被験者保護の立場を考慮した実験を遂行した。

1) 頭部運動の出現率について

(1) タッピング開口量による影響

頭部運動の出現率は開口量 15 mm、30 mm ではそれぞれ 95.0、97.4%、最大開口では 98.2% となり、開口量の増加が頭部運動の出現頻度を増していると考えられる。松山⁹⁾によれば、頭部運動の運動距離と下顎開口量には正の相関関係があるとされている。したがって、開口量が増加するに従い頭部運動自体が大きくなり、その存在を認識しやすくなったことにより、この結果が得られていると考えられる。

(2) タッピング頻度による影響

タッピング頻度を 3 段階に変化させ、可及的に最大開口を保持させた状態下では、頭部運動の出現率は頻度 1 Hz で 96.7%、2 Hz と 3 Hz でそれぞれ 98.7、98.3% となり、頻度 1 Hz において最も低い値となった。タッピング運動の頻度が低い状態では、下顎運動の速度が低下して下顎骨自体のダイナミクス¹⁵⁾も下がってくる。したがって、頭部運動を下顎運動に対抗してバランスをとる運動と考えると、頻度 1 Hz において出現率が最低値を示したことは理解しやすい。

この実験におけるタッピングの開口量に着目すると、頻度 1 Hz のタッピング運動が、頻度 2 Hz、3 Hz、より有意に大きくなっている（表 2）にもかかわらず、頭部運動の出現率が小さくなっている。しかし、前項に記した結果のごとく、頻度 1.3 Hz では開口量が大きくなるに従って頭部運動の出現率も大となっている。この点については、タッピング頻度 1 Hz と頻度 1.3 Hz の差、さらには実験に協力いただいた被験者の差が考えられる。すなわち、前者の頻度については、頻度 1.3 Hz は通常の咀嚼リズム¹⁶⁾とされており、これより遅い 1 Hz との間には下顎運動のリズム性、ダイナミクスなどの面において差異が存在する可能性がある。この点については被験者間の差異の追求とともに、今後の研究課題となる。

(3) 外乱負荷による影響

頭部に外乱を負荷した場合の頭部運動出現率は、頭頂部、前頭部に外乱を加えた場合はともに 97.5%、

表 6 The ratio of head rotation center inside head in each experiment

Inside head define as below 120 mm from the C point

各実験において頭部回転中心が頭部内に認められた割合
顆頭点 (C) の上方 120 mm を超えないものを頭部内とした

タッピング条件	ストローク数	頭部内に存在した割合 (%)
実験 1	75	98.7
実験 2	60	98.3
実験 3	45	97.8

後頭部では 91.4% と後頭部で低値を示した。

後頭部に外乱負荷を固定すると、頭部がその姿勢を保つためには、前屈方向へ頭部を傾斜させようとする力が働く。健常者はタッピング開口時に頭部を後屈方向へ運動するので、2つの運動は相反する向きに働いており、その結果として頭部運動の出現率に減少がみられたと考えられる。

2) 頭部運動の回転中心について

(1) 健常者にみられる回転中心

これまで河野ら⁹⁾によって報告された頭部回転中心の位置はすべて頭部内にあるとされていた。

Ferrario ら¹⁷⁾は頭部の伸展、屈曲運動の運動中心を検索し、その位置は顆頭点部の後下方であるとしている。これは今回のわれわれの報告と異なる結果である。しかし、その報告では、対象となる運動が下顎の運動を伴わない頭部の伸展、屈曲運動であって、頭部自体を能動的に大きく運動させているもので、頸椎全体での湾曲によるものである。われわれの報告した頭部運動は、下顎運動を指示した際に、随伴して現れる頭部運動を対象としており、その運動自体も最大で数 mm の移動距離しか示さないもので、この点で全く異なる。

今回の結果から、頭部運動の回転中心が顆頭点 (C) の後上方に、前後方向よりも上下方向に広がって分布していることが明らかとなった。しかし、これら回転中心はほとんど頭部内に存在していた。すなわち実験 1 の 75 ストローク、実験 2 の 60 ストロークから求めた回転中心では、それぞれ 98.7、98.3% とほとんどすべてのストロークで頭部内に存在していた (表 6)。つまり、例外的な数ストロークを除いて、頭部運動の回転中心はすべて頭部内に存在することが明らかとなった。回転中心が頭部内に存在していることは、下顎運動に随伴する頭部運動は、開閉口に伴い頭

図 8 The relationship between U point and center of head movement

Around the atlanto-occipital joint, head point always go forth and back like a pendulum

頭部回転中心の位置変化が上顎切歯点部と後頭顆部の運動経路に与える影響

回転中心が頸椎上方を上下方向に移動すると、頭部は後頭顆付近では常に振り子状に前後的な往復運動を行っている

部自体が回転様の往復運動を行っていることを意味している。

回転中心の位置は、頭部運動の運動方向の変化に伴い偏位してくる。すなわち、上顎切歯点 (U) が前上方へ運動すれば、回転中心は頭部内に存在し、上顎切歯点 (U) の移動方向が水平に近づくと、回転中心が上方へ移動してくる。このように、頭部各点の運動方向が変わると回転中心の位置が変化することが理解できる (図 8)。しかし、回転中心の位置は前後方向と比較して上下方向で大きく変化している。この点について考察を行った。

頭部と体幹を継ぐ環椎後頭関節に目を向けると、この関節では、後頭顆が環椎上関節窩のゆるやかな曲面に沿って、前後方向へ移動する機構がある。これによって頭部運動が規制されており、頸椎部では常に前後方向の運動が主体となってくる。したがって、切歯点部の運動方向がわずかに変化したとしても、回転中心は頸椎の上方を上下するのみで、前後方向への偏位は少なくなると考えられる (図 8)。実際に本実験に

おける回転中心のばらつきをみても、上下方向のばらつきは前後方向に比較して1.1~28倍となっており、このことを裏づけている。

(2) 頭部に外乱を負荷した場合

種々の外乱を加えたこの実験においても、頭部運動の回転中心は求めることができた。すなわち、頭部上に直接外乱を負荷した場合では、回転中心を求めた45ストロークにおいて、その97.8%が頭部内に回転中心をもっていた。

回転中心が頭部内に存在するということを運動学的にみると、この場合には頭部自体が回転運動しているというよりは、頭部内に回転中心をもつ振り子状の運動を行っていることになる(図8)。したがって、回転中心から遠く離れた分析点では、その運動様相が並進運動に近づくということになる。つまり、頭部に外乱が加わると、それに抵抗して前項に記したごとく、頸椎部のもつ前後方向への運動規制を受けながらバランスを保とうとする。その結果、頭部の上方に回転中心が存在する振り子状の運動が示されると考える。

今回、われわれは頭部への外乱負荷を頭部に一定の重さの錘負荷を加えるという形で行った。もし、この外乱負荷を異なった形で与えたとすると、回転中心は頭部内のみならず頭部外にも現れる可能性が考えられ、頭部バランスと頭部運動の関係が、さらに明確になるであろう。このことは今後の課題である。

(3) 頭部運動の意義

体幹の姿勢平衡や、視線の変化、さらには目標物をつかむときなどに観察される頭部の運動¹⁸⁻²¹⁾は、それを制御する神経回路が多く報告されているが、これに加えて固有感覚からの投射や、種々の反射の影響を受ける²²⁾といわれている。下顎の運動を考える際にも、これらの影響によって頭部の運動が引き起こされることは十分考えられる。

タッピング運動時に頭部は回転様の往復運動を行っており、開口時には頭部は下顎と逆方向へ、閉口時にも下顎の運動方向と逆方向へと動いている。すなわち、上顎が下顎の運動方向に抵抗する運動を示し、下顎運動時に頭部全体がバランスを保っているとする考え方⁶⁾には賛成できる。

下顎運動による頭部の重心の変化や下顎運動の速度による頭部ダイナミクスの変化が頭部には存在し、これらに対抗して、頭部バランスをとるために頭部運動

が存在すると考えられる。その目的を達するためには、頸椎の上方に回転中心をもち、そこを中心に回転様の頭部運動を行っていることは、力学的なバランスを保つうえで合理的であると考えられる。

今回外乱を加えて頭部重心の位置を変化させた。しかし、その結果得られた回転中心は常に頸椎の上方に存在していた。これには機能的な意味が存在すると考えられる。すなわち、回転中心が上下方向のみに偏位していると、回転運動によって、唯一運動経路が変化しないのは後頭顆付近の一部分だけである。頭部運動が頸椎の上方に回転中心をもつ振り子様の運動であっても、頭部と体幹の連結部にあたる環椎後頭関節では、後頭顆が環椎の上関節窩に沿って、前後方向へのみ移動する運動となる。これによって頭部運動の方向が規制されつつ、下顎運動による頭部の重心の変化や下顎運動の速度による頭部のダイナミクスの変化に対抗して、頭部全体のバランスをとるために頭部運動が存在すると考えられる。

解剖学的にも環椎後頭関節は後頭顆と環椎の上関節窩の間の滑り運動によって屈曲、伸展方向にのみ運動を行える関節であることが知られている。環椎後頭関節は脳神経と脊髄神経を結ぶ重要な関節である。この部分の運動が前後方向のみに制限するという事は、中枢神経系を保護するという役割の1つと考えることができる。また上記の頭部運動の結果、回転中心が頭部内にあることは頭部内の重要な器官に与える動揺を最小にすることにも役立っているはずである。つまり、頭部運動は頭部に備わる複雑な感覚受容器の機能を損なわず、その能力を十分に発揮できるよう、下顎運動はもとより、他の脊椎、体幹の動きと協調した運動となって表れると考えてよいのであろう。

V. 結 論

顎運動に随伴する頭部運動の機能的意義を明らかにすることを目的として、種々の条件下の下顎タッピング運動、および外乱負荷により頭部重心を変化させた条件下の下顎タッピング運動を記録し、これに随伴する頭部運動を観察することによって、頭部運動の機能的意義を明らかにすることを試み、以下の結論を得た。

1. 低頻度、低開口量といった下顎のダイナミクス

変化の少ないタッピング運動では、観察される頭部運動の出現率はやや減少した。

2. 後頭部に外乱負荷を加えた状態下のタッピング運動では、頭部運動の出現率は低下した。この結果、頭部の姿勢保持力と頭部運動発生力のバランスが崩れ、下顎タッピング運動に伴う頭部運動の出現率が低下することが示唆された。

3. 観察された頭部運動は回転様運動を示し、その回転中心は顎頭点の後上方に存在していた。しかし、その位置はタッピングのストロークごとに上下方向にばらつきを示した。

4. 頭部運動は環椎後頭関節によって運動方向が制限されている。その制限を受けて頭部バランスを保持することから、頭部運動の回転中心は頸椎の上方に分布して存在すると考えられる。

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.
- 吉田恵一. 咬合機能時における胸鎖乳突筋の機能に関する筋電図学的解析. 口病誌 55 : 53-70, 1988.
- 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.
- Takada K, Yasuda Y, Hiraki T. Tongue muscle activity during jaw opening, clenching, and protrusive and retrusive efforts in man. In : van Streenberghe D, DeLaat A, editors, EMG of jaw reflexes in man 327-339, Leuven : Leuven University Press, 1989.
- 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.
- 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.
- 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.
- 蔵本 誠, 松山剛士, 河野正司ほか. タッピング運動時に観察される頭部矢状面内協調運動. 補綴誌 43 : 575-581, 1999.
- 河野世佳, 土田幸弘, 河野正司ほか. 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. 顎機能誌 5 : 49-56, 1998.
- 五十嵐直子, 山村健介, 山田好秋ほか. 咀嚼機能時に観察されるウサギ頸筋の活動. 顎機能誌 4 : 191-196, 1998.
- 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.
- 河野世佳, 湊 修, 河野正司ほか. 顎機能障害症例の下顎タッピング運動時に観察される頭部運動. 第12回日本顎関節学会総会予稿抄録集 : 137, 1999.
- 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 : 81-88, 1992.
- 河野正司. 6 自由度顎運動測定装置 TRIMET を使って. 補綴誌 42 : 913-920, 1998.
- 中村隆一, 斉藤 宏. 基礎運動学 17-36, 東京 : 医歯薬出版, 1987.
- Ahlgren J. Masticatory movements in man. In Anderson DJ, Matthews B, editors, Mastication 119-127, Bristol : John Wright, 1976.
- Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE et al. A three-dimensional non-invasive study of head flexion and extension in young non-patient subjects. J Oral Rehabil 24 : 361-368, 1997.
- Bertenthal B, Von Hofsten C. Eye, head and trunk control : The foundation for manual development. Neuroscience & Biobehavioral Reviews 22 : 515-520, 1998.
- Bril B, Ledebt A. Head coordination as a means to assist sensory integration in learning to walk. Neuroscience & Biobehavioral Reviews 22 : 555-563, 1998.
- Tweed D, Haslwanter T, Fetter M. Optimizing gaze control in three dimensions. Science 281 : 1363-1366, 1998.
- Marotta JJ, Kruyer A, Goodale MA. The role of head movements in the control of manual prehension. Exp Brain Res 120 : 134-138, 1998.
- Peterson BW, Richmond FJ. Control of head movement, New York : Oxford University Press, 1988.

著者連絡先 : 河野 世佳

〒951-8514 新潟県新潟市学校町通 2-5274

TEL : 025-227-2891