原著論文

正常者の咀嚼運動経路に関する研究

住吉 圭太 小川 隆広 古谷野 潔 築山 能大 末次 恒夫

Masticatory Movement Path in Normal Subjects

Keita Sumiyoshi, Takahiro Ogawa, Kiyoshi Koyano, Yoshihiro Tsukiyama and Tsuneo Suetsugu

Abstract : The purpose of this study was to reveal the 3-dimensional movements during mastication in normal subjects, in terms of averaged paths of incisal, molar and condylar points. Masticatory movements were measured on 40 normal young adults using the mandibular movement analyzing system in six degrees of freedom. The averaged paths were drawn after computerized calculation of the 3-dimensional position of each analyzing point at every 10% level on each trajectory. The results were as follows :

1. The maximum opening at the incisal, working-side molar and nonworking-side molar points during mastication were 13.28 mm, 9.53 mm and 9.96 mm, respectively. The amount of maximum anterior displacement of condylar points were 3.61 mm on the working-side and 5.37 mm on the nonworking-side.
2. The shapes of the envelope of the incisal, working-side molar and nonworking-side molar points were similar to each other in the frontal plane ; however, they were different in the sagittal plane, especially in the closing phase.
3. The deviation of the incisal path and molar paths were induced by not only the difference of anterior displacement of bilateral condyles, but also lateral excursion.

Key words : masticatory movement, averaged path, incisal path, molar path, condylar path

I. 緒 言

下顎運動の中でも、限界運動時の運動範囲や、最大開閉口運動時の開口量、側方運動時の移動量については、多くの研究者によって正常者の平均的な値が示され^{1~3)}、顎機能異常の診査・診断に用いられてきた^{4~6)}。また咀嚼運動についても、それが機能を反映する生理的な運動であり、顎機能異常者は正常者とは異なった運動パターンを示すと報告されていることから、顎機能異常の診断のみならず、顎機能の総合的評価として用いられている^{7~9)}。しかし、咀嚼運動は複雑かつ多要素的な運動であり、個人内・個人間でのバラツキが大きく、正常と異常の判別がきわめて難しい運動である。過去にも咀嚼パターンを分類した報告はみ

られるが^{10~12)}、分類が多様であり、確固とした正常像は示されていない。

従来より、計測や解析の簡便性から、咀嚼運動の解析点として切歯点が用いられてきた^{13~16)}。しかし、咀嚼運動は切歯部よりも主として大臼歯部で行われるため、切歯点のみでの解析には疑問が残る。また、咀嚼運動も他の下顎運動と同様に下顎の回転・移動・偏位を伴う三次元的な運動であるため、切歯点での運動パターンだけでなく顎頭の運動パターンを解析することは咀嚼運動を解明する上で不可欠である。

したがって、本研究の目的は、正常者での咀嚼時の切歯点、左右大臼歯点、左右顎頭点の運動を計測し、その平均経路を算出することによって、定量的評価を含めた咀嚼時の下顎の運動様相を解明することである。

II. 研究方法

1. 被験者

第三大臼歯以外に欠損がなく、顎口腔系に自覚的・他覚的に異常の認められず、明確な咬頭嵌合位を有する、いわゆる正常有歯顎者の中から、術前の問診により習慣性咀嚼側が右側と判断された者を被験者とした。構成は男性 17 名、女性 23 名の計 40 名（年齢 19～35 歳、平均年齢 22.3 歳）であった。

2. 測定システム

下顎運動の測定には、下顎上の任意点の運動が解析可能な九州大学式非接触三次元精密変位計測システム¹⁷⁾を用いた。

3. 基準座標系と解析点

著者らが先の報告にて設定したカンペル平面に近似した平面¹⁸⁾（鼻翼下縁と左右の平均的顎頭点³⁾とを含む平面）を水平基準面とした。解析点としては切歯点、左右大臼歯点、左右顎頭点の 5 点とし、切歯点は下顎左側中切歯の近心切縁隅角、大臼歯点は下顎第一大臼歯の遠心頬側咬頭頂、顎頭点は全運動軸上¹⁹⁾で左右的には頭部 X 線規格写真体軸方向撮影にて決定した形態的顎頭中央点とした。

4. 被験食品と被験運動

被験食品はガム（フリーゾーンガム：(株)ロッテ、東京）約 1.5 g とし、習慣性咀嚼側であった右側でのガム軟化後の自由な咀嚼運動を各被験者につき 20 ストローク計測した。このうち安定性が高い咀嚼開始 5 ストローク目から 14 ストロークまでの 10 ストローク²⁰⁾を抽出し、解析対象とした。なお、被験者には研究内容についての十分な説明を行い、同意が得られた上で計測を行った。また本研究では右側での咀嚼運動のみを解析対象としたため、以後右側を作業側、左側を非作業側と呼ぶ。

5. 平均経路の算出

各解析点における全被験者の平均経路を算出した。算出方法として、各被験者の平均経路を算出し、さらにそれらを平均して全被験者の平均経路とした。各被験者における平均経路の算出方法については、以下に示す方法で 1 ストロークずつの三次元座標値を算出し、10 ストローク間で平均を求めた。

1) 切歯点、作業側・非作業側大臼歯点

切歯点、作業側・非作業側大臼歯点それぞれの最大開口時の上下の開口量を 100% とした時の、各解析点の上下の開口量 10% ごとにおける三次元座標値を開口路・閉口路別に求めた。

2) 作業側・非作業側顎頭点

作業側・非作業側顎頭点の最前方時の前後の移動量を 100% とした時の、各解析点の前後の移動量 10% ごとにおける三次元座標値を開口路・閉口路別に求めた。

III. 結 果

1. 切歯点、大臼歯点

図 1～3 に切歯点と作業側および非作業側大臼歯点の平均経路を示す。上下の平均最大開口量は切歯点で 13.28 mm、作業側大臼歯点で 9.53 mm、非作業側大臼歯点で 9.96 mm であり、三次元的直線開口量はそれぞれ 13.42 mm、9.65 mm、10.07 mm であった。以下に平均経路の概形について述べる。

1) 切歯点の平均経路（図 1）

前頭面内経路は、まず非作業側に偏位した後、開口量 20% より作業側方向へ偏位し、最大開口位に達した。閉口相では、開口量 70% で最も作業側に偏位した後、非作業側方向へ作業側に凸の経路を描き咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より非作業側に位置していた。

矢状面内経路は、まず前方へ偏位した後、開口量 20% より後方へ偏位し、最大開口位に達した。閉口相では、開口量 10% で最も前方へ偏位した後、わずかに後方へ偏位するものの、ほぼ垂直に咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より前方に位置していた。

図 1 切歯点平均経路
Averaged path of incisal point

図 2 作業側大臼歯点平均経路
Averaged path of working-side molar point

図 3 非作業側大臼歯点平均経路
Averaged path of nonworking-side molar point

図 4 作業側顆頭点平均経路
Averaged path of working-side condylar point

2) 作業側大臼歯点の平均経路 (図 2)

前頭面内経路は、まず非作業側に偏位した後、開口量 10% より作業側方向へ偏位し、最大開口位に達した。閉口相では、開口量 80% で最も作業側に偏位した後、非作業側方向へ作業側に凸の経路を描き咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より非作業側に位置していた。

矢状面内経路は、まず前方へ偏位した後、開口量 20% より後方へ偏位し、最大開口位に達した。閉口相では、開口量 80% で最も後方へ偏位した後、前方へ後方に凸の経路を描き咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より前方に位置していた。

3) 非作業側大臼歯点の平均経路 (図 3)

前頭面内経路は、まず非作業側に偏位した後、開口量 20% より作業側方向へ偏位し、最大開口位に達した。閉口相では、開口量 80% で最も作業側に偏位した後、非作

業側方向へ作業側に凸の経路を描き咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より非作業側に位置していた。

矢状面内経路は、まず前方へ偏位した後、開口量 20~90% 区間は後方へ偏位した。そして開口量 90~100% 区間では前方に偏位し、最大開口位に達した。閉口相では、開口量 90% で最も前方に偏位した後、後方へ偏位し咬頭嵌合位へと閉口した。また、切歯点、作業側大臼歯点の経路と異なり、開口路と閉口路は開口量 40% 付近で交叉していた。

2. 作業側・非作業側顆頭点

図 4, 5 に作業側・非作業側顆頭点の矢状面内と水平面内の平均経路を示す。作業側・非作業側顆頭点とも最前方位において最下方に位置していた。作業側顆頭点の最大前方移動量は 3.61 mm, 最下方移動量は 2.71 mm であった。

図 5 非作業側顆頭点平均経路
Averaged path of nonworking-side condylar point

非作業側顆頭点の最大前方移動量は 5.37 mm, 最下方移動量は 3.36 mm であった。また三次元的直線移動量はそれぞれ 4.51 mm, 6.34 mm であった。以下に平均経路の概形について述べる。

1) 作業側顆頭点の平均経路 (図 4)

作業側顆頭点の矢状面内経路は開閉口路とも下方に凸の経路を描いていた。また開閉口時の顆路はほぼ一致していた。

水平面内経路は、まず非作業側に偏位した後、移動量 30% より作業側方向へ偏位し、最前方位に達した。閉口相では移動量 40% で最も作業側に偏位した後、非作業側方向へ偏位し、咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より非作業側に位置していた。

2) 非作業側顆頭点の平均経路 (図 5)

非作業側顆頭点の矢状面内経路は開閉口路とも下方に凸の経路を描いていた。また開閉口時の顆路はほぼ一致していた。

水平面内経路は、まず非作業側に偏位した後、移動量 20% より作業側方向へ偏位し、最前方位に達した。閉口路では移動量 60% で最も作業側に偏位した後、非作業側方向へ偏位し、咬頭嵌合位へと閉口した。また、全開口域において開口路は閉口路より非作業側に位置していた。

IV. 考 察

1. 基準座標系について

本研究では経路の解析を行っており、設定する基準平面の違いによって経路の傾きや各平面投影像に変化をきたす。元来、下顎運動解析のための基準平面には、設定が容易で再現性の高いものが必要とされ、フランクフルト平

面¹⁴⁾、カンペル平面¹³⁾、咬合平面¹⁵⁾などが用いられている。補綴学の分野では伝統的にカンペル平面が汎用されており、カンペル平面は咬合平面にほぼ平行であること、かつ咬合平面は咀嚼運動と関連を持つことなどの理由から^{18,21)}、本研究ではカンペル平面を水平基準面に採用した。

2. 平均経路の意義について

咀嚼時の運動概形 (envelope) に着目した下顎の運動解明の前段階として、個人ごとの代表経路を選定する必要がある。しかし、咀嚼運動は運動開始から嚥下に至るまでの経路が常に一定しているわけではなく、代表経路を挙げることは容易ではない。個人の代表経路の抽出法としては、咀嚼ストロークの内の 1 ストロークを任意に抽出する方法や²²⁾、最も多く観察されるパターンを代表パターンとして抽出する方法などが挙げられる。しかしこれらの方法は抽出の際の客観性に乏しく、また経路の全体像を示すことができない。したがって本研究では客観性があり、かつ経路の重ね合わせにより経路の全体像を示し得る平均経路を個人での代表経路とした。また運動経路の安定性が高いと報告されている 5~14 ストローク間をサンプルとして採用し²⁰⁾、経路のバラツキによる概形の変化を可及的に防ぎ、平均経路の信頼性を増すよう留意した。

咀嚼運動経路は個人間で様々なパターンがあるため、当然平均経路も個人によって様々であり、また各解析点間の関係も様々であるため、下顎の運動様相も個人間で多様であった。本研究では咀嚼時の下顎の運動様相の概形を示すのが目的であるため、個人の平均経路をさらに平均化した経路についての所見のみとした。今後は前述の個人間の多様性についても検討する予定である。

図 6 前頭面内の切歯点と大臼歯点の平均経路の重ね合せ表示
Superimposed description of incisal and molar averaged paths in frontal plane

3. 平均経路の算出法について

平均経路の算出法としては、運動開始点より下方数 mm ほどの三次元座標値を算出して平均化する方法^{7,16)}、および各ストロークの最大開口量の一定割合ごとの三次元座標値を算出して平均化する方法²⁰⁾などがある。前述の方法では、三次元座標値を算出する位置と最大開口位が一致しない場合には最大開口位の位置がわからず、経路全体の把握が難しい。さらに、開口量がストローク間で一定していない場合には各開口レベルでの平均経路算出のためのサンプル数が一致せず、特に最大開口位付近のサンプル数が不足するため、この付近での平均経路が不安定なものとなる。したがって、本研究では運動経路全体の把握が可能で、各開口レベルでのサンプル数が一定のため経路の安定性が考慮しやすい後述の方法を用い、平均経路を算出した。

顎頭点については、過去に咀嚼時の運動様相を示した報告は少なく、また平均経路を示した報告もない。本研究では三次元座標成分の中で移動量が最も大きな前後の移動量を指標とし、各ストロークの最大前方移動量の 10% ほどの三次元座標値を算出する方法を考案した。

4. 各解析点の平均経路について

1) 切歯点

(1) 前頭面内経路

本研究で得られた前頭面内平均経路は、過去に最も出現頻度が高いとされる涙滴状であった^{10-13,22)}。藍¹³⁾や Pröschel¹¹⁾らは、前頭面内の経路は開口時に正中線を越えて非作業側に偏位した後、作業側において閉口するものが最も発現頻度が高かったと報告している。一方、Ahlgren¹⁰⁾や秋山ら¹²⁾は開口の初期に非作業側に偏位せ

ず、開閉口路とも作業側にあるものの発現頻度の方が高いと報告しており、一致した見解が得られていない。本研究では開口時に非作業側への偏位するものは 40 名中 21 名と様々であり、平均経路としては開口路は非作業側にやや偏位していた。

(2) 矢状面内経路

矢状面内運動経路についての報告・分類は過去にほとんどみあたらない⁹⁾。本研究では、全開口域において開口路は閉口路よりも前方にあるが、その前後の幅は小さかった。また、開閉口路全体として基準平面にほぼ垂直であり、特に閉口路の咬頭嵌合位付近での進入角度はほぼ垂直であった。今回の水平基準平面は咬合平面にほぼ平行であるので¹⁸⁾、咬頭嵌合位 5 mm 下方での閉口路は常に咬合平面とほぼ垂直であるという著者らの報告²¹⁾と一致した。

2) 作業側・非作業側大臼歯点

(1) 前頭面内経路

前頭面での作業側・非作業側大臼歯点での運動経路は切歯点のものとほぼ相似形を示しており、これは Gibbs らの報告²²⁾と一致した。3 点の経路を重ね合わせてみると(図 6)、運動範囲は作業側・非作業側大臼歯点の方が切歯点のよりも小さかった。また咬頭嵌合位付近での開口路・閉口路は、切歯点、作業側・非作業側大臼歯点の 3 点ともほぼ一致した。

(2) 矢状面内経路

大臼歯点の矢状面内経路は作業側・非作業側とも切歯点の経路と大きく異なっていた。作業側大臼歯点においては、全開口域において開口路は閉口路よりも前方にあり、この点では切歯点の経路と同様であったが、開口路と閉口路間の幅が大きく、閉口路の咬頭嵌合位への進入角度は後

図 7 矢状面内の切歯点と大臼歯点の平均経路の重ね合せ表示
Superimposed description of incisal and molar averaged paths in sagittal plane

方からであった。非作業側大臼歯点では開口路と閉口路が交叉しており、閉口路の咬頭嵌合位への進入角度は前方からで、作業側大臼歯点とは逆であった。3点の経路の重ね合わせでは(図7)、3点の運動範囲は一致しておらず、また咬頭嵌合位付近では、開口路については経路は3点ともほぼ一致しているが、閉口路については咬頭嵌合位への進入角度は3者3様であった。Gibbsらは作業側大臼歯点は後方から前方移動成分を持って閉口し、非作業側大臼歯点は前方から前方移動成分なしに閉口する1ストロークの典型例を報告している。本研究はこのことを裏付け、歯列上の運動経路は作業側と非作業側とで異なることを実証した。

したがって、大臼歯点の運動経路は、前頭面内経路は切歯点の運動と類似しているためある程度推測可能であるが、矢状面内経路は作業側・非作業側ともに大きく異なるため切歯点からは推測不可能であることがわかった。また咬頭嵌合位付近の咀嚼経路については、矢状面内の閉口路において切歯点と大臼歯点の経路の違いが示唆された。従来より咀嚼時の歯牙の滑走の有無をめぐる、切歯点での咀嚼運動と側方滑走運動との比較研究が報告されている^{13-16,22)}。本研究では運動路の分割方法が10%と大きい。ため、開口量10%以下の歯牙の滑走域である咬頭嵌合位付近の経路については詳細に言及できないが、この開口域での切歯点と大臼歯点の経路の違いが示唆されたため、咀嚼時の滑走の研究については、大臼歯点を交えたさらなる検討が必要であると考えられた。

3) 作業側・非作業側顆頭点

著者らは、最大開閉口時の切歯点の三次元的直線移動量は42.57 mm、その時の前後的全顆頭運動量は17.11 mm

であることを報告した²³⁾。この報告をもとに、最大開閉口時に対する咀嚼時の平均経路の移動量の割合を算出すると、切歯点で31.5%、作業側顆頭点で21.1%、非作業側顆頭点で31.4%となり、切歯点の開口量の割合と非作業側顆頭点の移動量の割合はほぼ同じであった。作業側顆頭点は側方滑走運動とは異なり、開口に伴い前方に移動し、咀嚼時の顆頭点の前後の移動量は非作業側に対し作業側は小さいことが示された。このことより咀嚼運動時に切歯点で観察される側方偏位は、作業側・非作業側顆頭点の移動量の差によって生じることが推察された。また、切歯点の上下的開口量に対する作業側・非作業側の前後の顆頭移動量の割合はそれぞれ27.1%、40.4%で、Gibbsらの報告と一致していた。

(1) 矢状面内経路

矢状面内経路を詳細に検討すると、作業側顆頭点は開口路より閉口路の方が下方に位置しており、逆に非作業側顆頭点は開口路より閉口路の方が上方に位置していた。しかしこれらの上下的な差はそれぞれ平均0.06 mm、0.03 mmときわめて小さく、全運動軸の定義である矢状面内における顆路の上下的幅0.7 mm¹⁹⁾を大きく下回っていたため、開閉口路間に差があるとはいえない。Gibbsらは作業側顆頭点の開口路は閉口路よりも典型的には上方にあり、非作業側顆頭点はほぼ一致していたと報告しており、作業側においては本研究の結果とは異なっていた。この差異は、Gibbsらは顆頭点を蝶番軸上に設定しているために生じたと思われる。

(2) 水平面内経路

顆頭点は運動の大半を作業側で行っていた。したがって、咀嚼時の切歯点や大臼歯点の側方偏位は、作業側・非

作業側顎頭の前後の移動量の差のみによって生じるのではなく、顎頭自体も側方に移動し、さらに作業側・非作業側顎頭の移動量の差も伴って生じることが明らかになった。しかしその側方移動量はきわめて小さいため、経路全体では左右的偏位のほとんどない前後の移動を行っていた。また、開閉口路間の左右的幅は上下の幅よりも大きいものの、作業側顎頭点で最大0.22 mm、非作業側顎頭点で0.24 mmときわめて小さく、開閉口路ともほぼ一致していた。

本研究により、咀嚼運動の平均経路について、その概要が明らかになった。今後、被験者ごとの運動パターンの分類や、解析点間の運動の同時解析などを行うことによって、咀嚼運動時の下顎の三次元動態について究明していきたい。

V. 結 論

正常者40名のガム咀嚼時の平均経路を算出・解析し、以下の結論を得た。

1. 切歯点、作業側・非作業側大臼歯点の上下的最大開口量はそれぞれ13.28, 9.53, 9.96 mmであった。作業側・非作業側顎頭点の前後の最大移動量はそれぞれ3.61, 5.37 mmであった。

2. 切歯点、作業側・非作業側大臼歯点の平均経路は、前頭面内では3点ともほぼ相似形を示すが、矢状面内では3点ともに異なった様相を示していた。この差異は閉口路において著明であり、閉口路の咬頭嵌合位への矢状面内進入角度は切歯点はほぼ垂直なのに対し、作業側大臼歯点は後方からで、非作業側大臼歯点は前方からであった。

3. 切歯点や大臼歯点の側方偏位は、作業側・非作業側顎頭点の前後の移動量の差だけによって生じるのではなく、顎頭も側方に移動することによって生じることがわかった。しかし、その側方移動量は極く小さかった。また、顎頭点の開閉口路は、矢状面内・水平面内ともにほぼ一致していた。

文 献

- 塩澤恭郎：下顎任意点の運動解析 第2報 下顎限界運動の立体的解析，補綴誌，26：148, 1982.
- 上田龍太郎，坂東永一，中野雅徳ほか：顎口腔機能診断のための6自由度顎運動パラメータの検討，補綴誌，37：761～768, 1993.
- 築山美和，古谷野潔，築山能大ほか：側方滑走運動における顎頭部三次元動態に関する研究—第1報 側方運動解析のための新しい顎頭部基準点について—，補綴誌，37：159～171, 1993.
- 古屋良一：顎口腔系の機能に異常を有する者の下顎運動の研究，補綴誌，18：221～244, 1975.
- 櫻井裕也，阿部泰彦，相良正明ほか：顎口腔機能異常者の下顎切歯点限界運動に関する研究—診断パラメータの確立—，補綴誌，34：333～339, 1990.
- Nielsen, I.L., Marcel, T. and Miller, A.J.: Patterns of mandibular movements in subjects with craniomandibular disorders, J Prosthet Dent, 63: 202～217, 1990.
- Mongini, F. and Tempia-Valenta, G.: A graphic and statistical analysis of the chewing movements in function and dysfunction, J Craniomandib Prac, 2: 125～134, 1984.
- 宮内修平，中南匡史，西尾公一ほか：臼歯部交叉咬合における咀嚼運動パターンに関する研究—前頭面における咀嚼運動パターンの分類について—，補綴誌，33：938～951, 1989.
- 山田真一，三間修司，瑞森崇弘ほか：開咬における咀嚼運動に関する臨床的研究 第1報 開咬の影響について，補綴誌，35：446～456, 1991.
- Ahlgren, J.: Pattern of chewing and malocclusion of teeth. A clinical study, Acta Odontol Scand, 25: 3～13, 1967.
- Pröschel, P. and Hofmann, M.: Frontal chewing patterns of the incisor point and their dependence on resistance of food and type of occlusion, J Prosthet Dent, 59: 617～624, 1988.
- 秋山仁志，志賀 博，小林義典：咀嚼運動の機能的分析—正常者における前頭面でみた切歯点の経路のパターン—，補綴誌，35：609～621, 1991.
- 藍 稔：切歯点部における咀嚼運動の解析，補綴誌，6：164～200, 1962.
- 原田邦昭：3次元変位計による咀嚼運動の切歯点における解析，歯科学報，74：1810～1845, 1974.
- 水野起良廣：咬頭嵌合位付近の咀嚼運動経路に関する研究，愛院大誌，17：259～283, 1980.
- 森 隆司：咀嚼運動経路の研究—空口側方滑走運動路および食品の影響—，補綴誌，26：274～297, 1982.
- 古谷野潔：後方運動時の下顎の三次元動態，補綴誌，31：805～818, 1987.
- 小川隆広，古谷野潔，末次恒夫：正常者の咬合平面および咬合彎曲の三次元解析，補綴誌，36：602～611, 1992.
- 河野正司：下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究 第二報 マルチフラッシュ装置による矢状面運動軸の解析，補綴誌，12：350～380, 1968.
- 志賀 博，小林義典：咀嚼運動の分析による咀嚼機能の客観的評価に関する研究，補綴誌，34：1112～1126, 1990.
- 小川隆広，古谷野潔，築山能大ほか：咀嚼運動規定因子としての咬合平面傾斜度，補綴誌，38：91 回特別号：130, 1994.
- Gibbs, C.H., Messerman, T., Reswick, J.B. et al.: Functional movements of the mandible, J Prosthet Dent, 26: 604～620, 1971.
- 中島清一，古谷野潔，水野幹生ほか：切歯路と顎頭の運動論的対応関係の研究 第1報 前後の運動距離の解析，補綴誌，35：1275～1285, 1991.