

顎関節症患者における下顎開閉口および 前後運動に関する臨床的研究

—下顎中切歯および下顎頭運動経路の検討—

奈良県立医科大学口腔外科学講座

大槻 榮 人, 川 上 哲 司, 杉 村 正 仁

*岡山大学歯学部歯科矯正学講座

宮 脇 正 一*

ANALYSIS OF OPEN-CLOSE AND ANTEROPOSTERIOR JAW MOVEMENT IN PATIENTS WITH TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS —MOVEMENT AND PATHS OF MANDIBULAR CENTRAL INCISOR AND CONDYLES—

HIDETO OHTSUKI, TETSUJI KAWAKAMI and MASAHITO SUGIMURA

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Nara Medical University

SHOICHI MIYAWAKI*

** Department of Orthodontics, Okayama University Dental School*

Received August 18, 2000

Abstract: Mandibular condylar motion in patients with temporomandibular disorders (TMD) has not been fully examined during open-close and anteroposterior jaw movement. The purpose of this study was to investigate this motion in such patients.

Using a six-degrees-of-freedom jaw movement recording system, movement of a lower central incisor point and hinge axis of the condyles 20 mm medial from the skin on the right and left sides were calculated during voluntary open-close jaw movement and anteroposterior movement of the joint. The data were recorded for eleven patients with unilateral TMD (TMD group) and eleven control group subjects without temporomandibular disorders but whose occlusal condition otherwise almost matched that of the TMD group.

The condylar points in the sagittal plane were mathematically calculated by solving the most minimized point of the moving distance around the condyle on the sagittal plane on each side when minor jaw opening and closing tapping movement was performed for 10 seconds. During open-close jaw movement, there were no significant differences between the TMD and control groups due to a large SD in all measurements for both groups. The maximum anteroposterior displacements of condyles on both the affected and healthy sides during anteroposterior jaw movement were significantly larger in the TMD group than the control group. There were no significant differences between groups in other measurements.

These results suggest that condylar translation is inhibited on both sides during antero-posterior jaw movement in patients with unilateral TMD. They also suggest that although open-close jaw movement may not be useful, anteroposterior jaw movement may be useful in order to diagnose TMD. (奈医誌. J. Nara Med. Ass. 50, 321~331, 1999)

Key words : mandibular condyle, condylar movement, jaw movement, temporomandibular disorders (TMD)

緒 言

顎関節症患者における下顎開閉口運動時の下顎頭運動の特徴に関して、従来の研究者間で意見の一致をみていない。これは、顎運動測定機器の精度の違い、被験者の違いならびに下顎頭点の設定方法の違いによるところが大きいと考えられる。また、顎関節症患者における下顎前後運動時の下顎頭運動について評価検討した報告は、著者らの知る限りにおいてほとんど認められない。これは、下顎頭の運動経路が下顎前後運動時に上下顎前歯の咬合接触関係による影響を直接受けるので、正しく下顎頭の運動を評価することが困難であることによるものと考えられる。

そこで本研究では、片側に顎関節症症状を有する個性正常咬合者と顎関節に異常を認めず前歯の被蓋関係と上下顎歯の咬合関係がほぼ同じである個性正常咬合者に下顎の開閉口運動と前後運動をおこなわせ、そのときの下顎中切歯と両側下顎頭の動きとその経路について検討することを目的とした。

対象および方法

1. 被験者

被験者として、奈良県立医科大学口腔外科において顎関節症と診断された患者のうち、20歳以上30歳未満の個性正常咬合を有する患者11名[25.8±4.0歳、女性6例・男性5例]をTMD群とし、年齢、性別、咬合状態、顎顔面形態がほぼ一致しており、臨床的に顎機能異常に関して自覚的症状および他覚的症状が全く認められない個性正常咬合者11名[26.3±4.6歳、女性6名、男性5名]を対象群として用いた。ここで、個性正常咬合とは、犬歯関係、大臼歯関係がともにClass Iであり、側貌はストレートタイプで、正常な水平被蓋と垂直被蓋を有し、叢生がほとんど認められず、緊密な咬頭嵌合を呈することを意味する。また、全被験者には、ヘルシンキ宣言に従い、本研究の目的と計画のすべてを説明し同意を得た。

2. 下顎運動の測定装置

ヘッドフレーム、フェイスボウ、赤外線発光ダイオード light-emitting diodes (LEDs)、視覚カメラおよびパーソナルコンピュータで構成される3次元6自由度顎運動測定ならびに解析システム(ナソヘキサグラフシステム® Ver. 1.31, 小野測器, 神奈川)を用いた(Fig. 1)。クラッチは、上顎前歯との接触を避け、可能な限り下唇の運動を妨げないように屈曲させ、下顎前歯唇面にシア

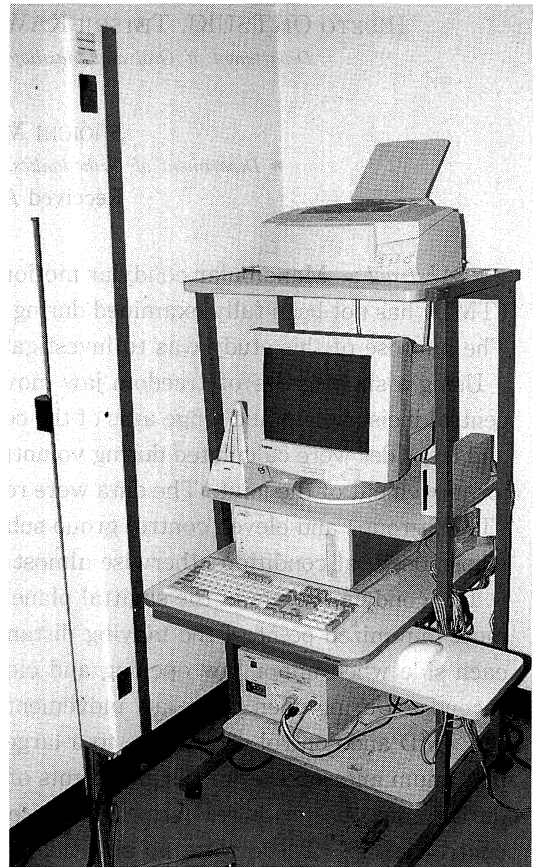


Fig. 1. Gnathohexagraph System®

ノアクリレート接着剤(アロンアルファ®)にて装着した(Fig. 2). Fig. 3に、3つのLEDsを有する約170gのヘッドフレームと約12gのクラッチ(Fig. 2)を介して装着したフェイスボウを示す。なお、サンプリング密度は89.3 Hzであった。

3. データの採得と解析

1)各被験者にリラックスした姿勢で、自然頭位をとらせた状態で座らせた。3つのLEDsがついたヘッドフレー

ムは、被験者の頭部にFrankfurt Horizontal (FH)平面に平行になるようにしっかりと装着させた(Fig. 3)。

2)3つのLEDsがついたフェイスボウを前頭面においてはFH平面と平行になるように、また矢状面においても咬頭嵌合位がFH平面に対して10度の角度になるように、クラッチを調整した。そして、ふたつのCCDカメラを被験者の前方1.2mに設置した。

3)被験者に自然頭位をとらせた状態で座らせ、1サイク

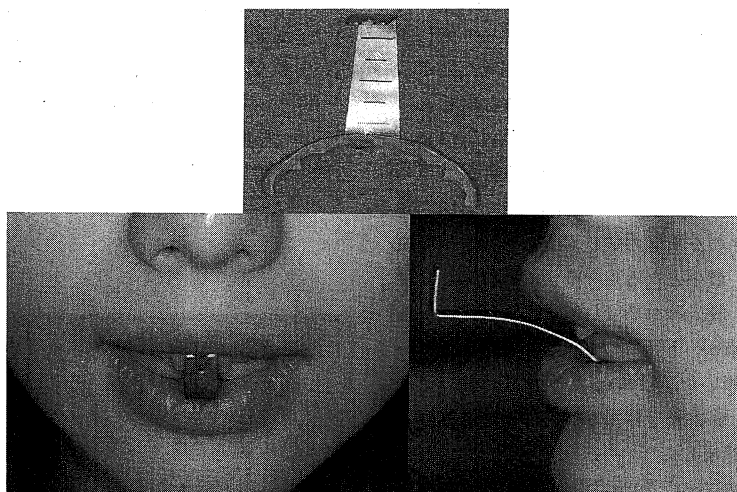


Fig. 2. Dantal Clutch

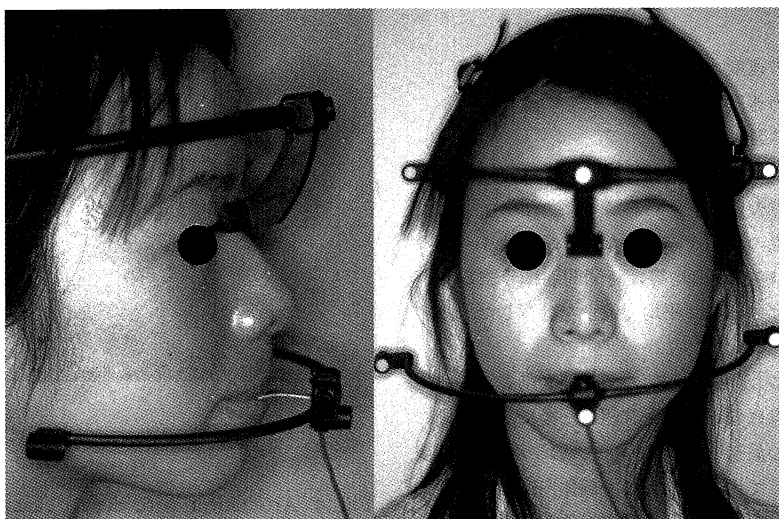


Fig. 3. Facebow and head Frame

ル1秒のリズムで、楽に開口できる程度まで下顎開閉口運動(タッピング運動)をおこなわせ、10サイクルの記録をおこなった。次に、1サイクル1.5秒のリズムで、下顎前歯を上顎前歯の舌側面に接触させながら前後方向の往復運動をおこなわせ、10サイクルの記録をおこなった。下顎中切歯点と左右下顎頭の最大速度と最大変位量および前方と後方経路の3次元的位置関係を求めた。そして、10サイクルの平均値を各被験者の代表値とした。下顎頭点として、前後上下方向に関しては蝶番軸を用い³⁾、左右方向に関しては皮膚から内方へ20mmの点^{4,5)}を用いた。

4)それぞれのLED_sの3次元的位置は視差の原理により計算された。下顎中切歯の切縁の中央の点と、矢状面において、左右それぞれの耳珠上縁から外眼角へ向かう線に対して13mm前方かつ5mm下方である皮膚上の下顎頭の位置すなわちヒトの平均的下顎頭点付近において、触診により求めた皮膚上の下顎頭外側極を2つのLED_sのついたポインターを使って記録した。小さく開閉口運動させたときの左右側の矢状面上における下顎頭周囲の運動距離が、最小となる点を数学的に計算して求め、蝶番軸とした⁴⁾。成人において皮膚上の下顎頭点から20mm内側にある点が、下顎頭の中央点と報告されている⁵⁾ので、本研究で用いた下顎頭点は、矢状面においては数学的に求められた蝶番軸を採用し、内外側方向には、20mm内方の点を採用した⁴⁾。

5)下顎中切歯点と左右の下顎頭点の運動は、ヘッドフレームとフェイスボウについた6つのLED_sの運動データをもとにして求めた。本研究で用いられたパラメータは以下の通りであった。

各計測点の

- 1：最大前方速度
- 2：最大後方速度
- 3：最大変位量
- 4：開口あるいは前方経路とあるいは後方経路の垂直的位置の差

また、各計測点の経路を求めるために、各サイクルのそれぞれのデータを72の均等な時間間隔に分割し^{6,7)}、対応する時間軸において、平均変位量を計算した。

4. 統計処理

分散分析をおこない各計測値の個体間変動よりも個体内変動の方が有意に低いことを確認した後に、各計測に関して各被験者の最初の10ストロークの平均値を、各被験者の代表値として用いた。もし、個体内変動の方が大きかった場合は、その被験者は研究対象から除外した。

両群間の各計測値の平均値の差の検定は、Student t

testあるいはWelch t testを用いておこなった。なお、有意水準は0.05とした。

結 果

1)測定装置の精度

装置の精度の検定に関しては、常盤ら²⁾が3次元的位置測定装置(精度=5.0 μ m, 解析力=0.5 μ m, 測定範囲=550mm \times 1200mm \times 450mm)(UMC-550, ZEISS, Germany)を用いておこなった。精度の検定をおこなうのに用いた手順は以下の通りであった。まず、測定装置の被験者の模型上にLED_sを装着した。次に、装置とナソヘキサグラフシステム[®]を用いて140mm³内部の35箇所位置で測定をおこなった。最後に、これらの装置を用いて得た全測定値の比較をおこなった。その結果、ナソヘキサグラフシステム[®]による測定誤差の平均値は150 μ m(標準偏差10 μ m)であった。さらに、測定装置間の精度の違いが考えられるので、奈良県立医科大学に設

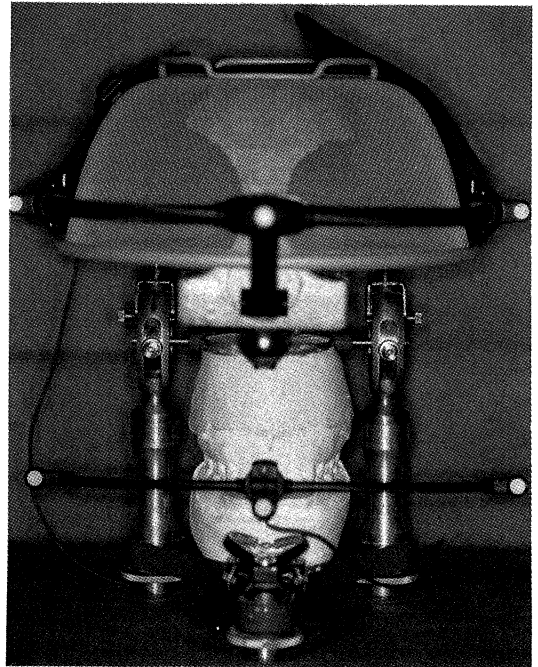


Fig. 4. Articulator with dental casts, face bow and head frae to measure the accuracy of Gnathohexagraph System[®]

置されている本測定装置の精度の検討をおこなった。方法としては、咬合器に被験者の模型を装着し、それにヘッドフレームとクラッチを介して装着したフェイスボウを取り付け、下顎中切歯点を基準として10度ごとに0度から40度までの蝶番運動を30回させた時の座標値を本測定装置を用いておこなった(Fig. 4)。その結果、実験値

と理論値との比は、全て1%以内であり、本実験では最大変位量が20mm程度であるためその誤差は0.2mm以内となり、本装置は精度に問題がないことが示された(Table 1)。

2) 開閉口運動について

時間的計測項目において、両群ともほぼ同じ値を示し

Table 1. Comparison between the experimental data and theoretical estimate

	Anteroposterior direction				Superoinferior direction			
	Mean	SD	Theoretical estimate	Ratio(%)	Mean	SD	Theoretical estimate	Ratio(%)
0 Deg.	135.98	0.08	136.11	99.90	0.00	0.01	0.00	99.70
10 Deg.	132.75	0.33	134.05	99.03	-23.64	0.13	-23.64	99.33
20 Deg.	126.70	0.34	127.90	99.06	-46.25	0.11	-46.55	99.35
30 Deg.	116.79	0.16	117.88	99.08	-67.62	0.06	-68.06	99.36

Table 2. Comparison between TMD and control groups for measurements of time and lower central incisor point during open-close jaw movement

Measurements	TMD group (n=11)		Control group (n=11)	
	Mean	SD	Mean	SD
Time				
Opening phase time[s]	0.54	0.07	0.53	0.05
Closing phase time[s]	0.49	0.07	0.47	0.04
One cycle time[s]	1.02	0.06	1.00	0.02
Central incisor point				
Maximum displacement (inferior)[mm]	10.8	4.2	21.0	17.3
Maximum displacement (posterior)[mm]	8.0	3.4	11.9	8.7
Maximum displacement (3D)[mm]	13.6	5.2	24.3	19.2
Maximum velocity during opening[mm/s]	82.4	33.1	126.9	91.3
Maximum velocity during closing[mm/s]	89.3	35.1	150.1	101.9

Table 3. Comparison between TMD and control groups for measurements of condyles on the TMD and non-TMD sides during open-close jaw movement

Measurements	TMD group (n=11)		Control group (n=11)	
	Mean	SD	Mean	SD
TMD (or right) side condyle				
Mean vert. diff. between op./cl. paths*[mm]	0.1	0.3	-0.1	0.3
Maximum displacement (inferior)[mm]	1.2	1.8	2.2	1.8
Maximum displacement (anterior)[mm]	0.8	1.2	3.0	3.8
Maximum displacement (3D)[mm]	2.3	1.9	3.9	3.8
Maximum velocity during opening[mm/s]	16.0	13.3	21.8	12.6
Maximum velocity during closing[mm/s]	17.3	12.8	32.9	29.4
Non-TMD (or left) side condyle				
Mean vert. diff. between op./cl. paths*[mm]	0.0	0.1	-0.1	0.3
Maximum displacement (inferior)[mm]	1.6	2.0	2.4	2.2
Maximum displacement (anterior)[mm]	1.0	1.4	3.2	3.8
Maximum displacement (3D)[mm]	2.4	2.1	4.2	4.1
Maximum velocity during opening [mm/s]	17.0	13.1	21.0	12.6
Maximum velocity during closing[mm/s]	17.5	13.6	36.4	31.7

* : Mean vertical difference between opening and closing paths

ており、標準偏差も小さく、両群被験者ともほぼ一定のリズムで被験動作がおこなっていた(Table 2, 3).

下顎中切歯点において、TMD 群被験者は運動が制限されている傾向が認められたが(Fig. 5)、両群被験者と

もすべての計測項目において変動係数が 50 %以上と高く、両群間においての有意の差を認めなかった(Table 2).

患側下顎頭においても同様に、TMD 群被験者は運動

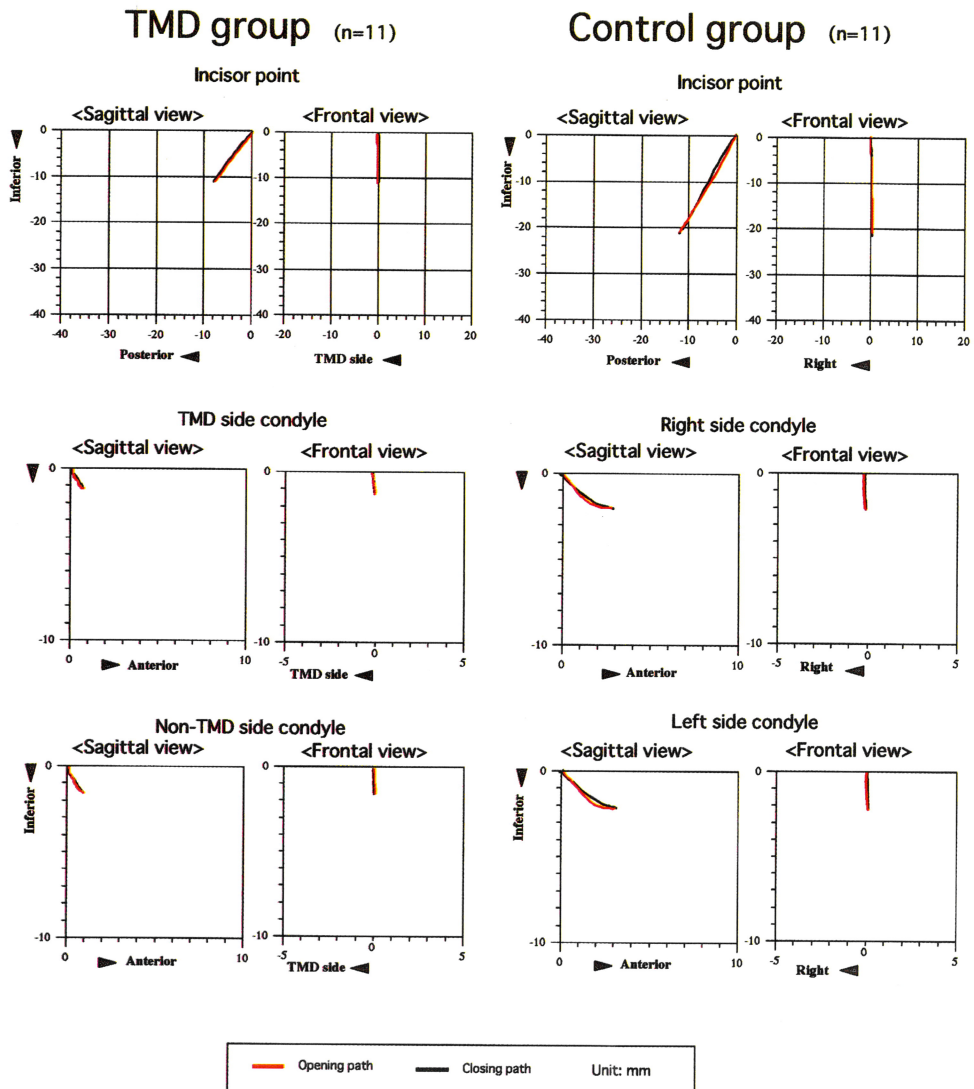


Fig. 5. Paths during open-close jaw movement

が制限されている傾向が認められたが(Fig. 5), 両群被験者ともすべての計測項目において変動係数が50%以上と高く, 両群間において有意の差を認めなかった(Table 3).

健側下顎頭においても同様に, TMD群被験者は運動が制限されている傾向が認められたが(Fig. 5), 両群被験者ともすべての計測項目において変動係数が50%以上と高く, 両群間において有意の差を認めなかった

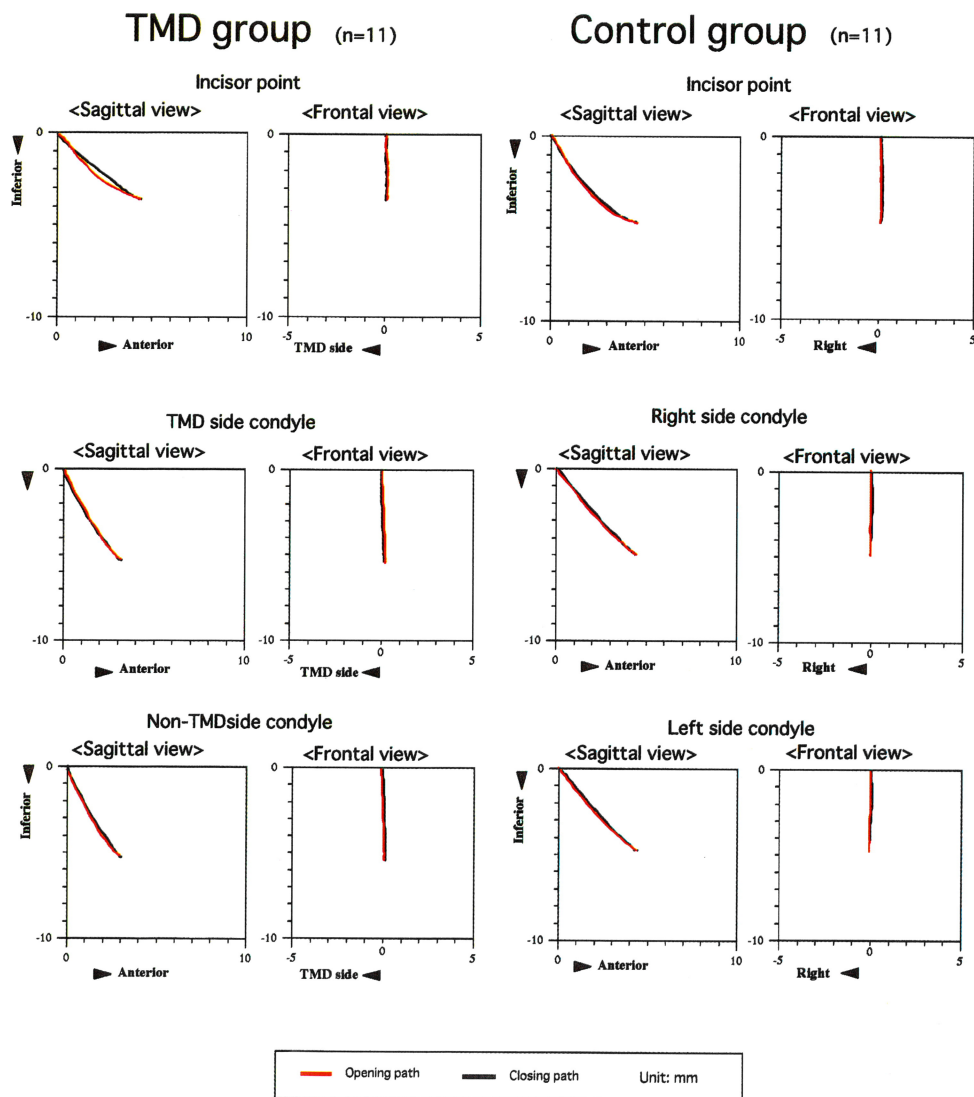


Fig. 6. Paths during anteroposterior jaw movement

(Table 3).

3) 前後運動について

時間的計測項目において、両群ともほぼ同じ値を示しており、標準偏差も小さく、両群被験者ともほぼ一定のリズムで被験動作がおこなえていた(Table 4, 5).

下顎中切歯点において、TMD 群の前方への最大変位量は、対照群と比べて有意に小さな値を示した($p = 0.0399$). それ以外の変位量や速度に関しては、有意差を認めなかった(Fig. 6, Table 4).

患側下顎頭において、TMD 群の前方への最大変位量は、対照群と比べて有意に小さな値を示した($p = 0.0142$). それ以外の変位量や速度に関しては、有意差を認めなかった(Fig. 6, Table 5).

健側下顎頭において、TMD 群の前方への最大変位量は、対照群と比べて有意に小さな値を示した($p = 0.0103$). それ以外の変位量や速度に関しては、有意差を認めなかった(Fig. 6, Table 5).

Table 4. Comparison between TMD and control groups for measurements of time and lower central incisor point during anteroposterior jaw movement

Measurements	TMD group (n=11)		Control group (n=11)	
	Mean	SD	Mean	SD
Time				
Protruding phase time[s]	0.82	0.21	0.74	0.24
Retracting phase time[s]	0.78	0.29	0.73	0.26
One cycle time[s]	1.60	0.48	1.48	0.49
Central incisor point				
Maximum displacement (inferior)[mm]	3.7*	1.2	4.8*	1.4
Maximum displacement (anterior)[mm]	4.6	2.1	4.7	1.9
Maximum displacement (3D)[mm]	6.2	1.3	6.9	1.4
Maximum velocity during protruding[mm/s]	22.1	8.9	25.8	7.7
Maximum velocity during retracting[mm/s]	28.7	17.1	29.6	11.3

$p < 0.05$

Table 5. Comparison between TMD and control groups for measurements of condyles on the TMD and non-TMD sides during anteroposterior jaw movement

Measurements	TMD group (n=11)		Control group (n=11)	
	Mean	SD	Mean	SD
TMD (or right) side condyle				
Mean vert. diff. between op./cl. paths*[mm]	0.0	0.1	0.0	0.0
Maximum displacement (inferior)[mm]	5.5	1.8	5.0	1.4
Maximum displacement (anterior)[mm]	3.3*	0.3	4.5*	1.4
Maximum displacement (3D)[mm]	6.4	1.7	6.8	1.9
Maximum velocity during protruding[mm/s]	22.9	10.5	25.5	9.2
Maximum velocity during retracting[mm/s]	29.3	21.9	33.0	12.7
Non-TMD (or left) side condyle				
Mean vert. diff. between op./cl. paths*[mm]	0.0	0.1	0.0	0.0
Maximum displacement (inferior)[mm]	5.4	2.2	4.8	0.8
Maximum displacement (anterior)[mm]	3.1	0.9	4.4*	1.2
Maximum displacement (3D)[mm]	6.3	2.2	6.6	1.4
Maximum velocity during protruding[mm/s]	23.5	13.1	24.0	6.2
Maximum velocity during retracting[mm/s]	26.7	21.2	32.9	9.8

* : Mean vertical difference between opening and closing paths

$p < 0.05$

考 察

顎関節症患者における下顎開閉口運動時の下顎頭運動の特徴に関して、顎運動測定機器の精度の違い、被験者の違いならびに下顎頭点の設定方法の違いにより従来の報告では、意見の一致をみていないのが実状である¹⁾。まずはじめに、測定機器に関しては、最近高精度で下顎頭の運動が記録できるシステムが開発されており²⁾、臨床応用もされている⁴⁾。次に、被験者について、被験者が異なると咬合関係も異なり、咬合関係と顎運動パターンとの間には密接な関係が存在することが知られている^{8,9)}ので、顎関節症患者の顎運動の特徴を明らかにするためには咬合関係を可能な限り患者群のそれと一致させた対照群を用いることが望ましいと考えられる。また、性別と年齢も顎運動パターンに影響することが報告されている^{10,11,12)}ので、これらも一致させることが必要である。そして、下顎頭点の設定方法に関しては、下顎頭の解剖学的中心、蝶番軸、全運動軸などが用いられているが、全運動軸に関しては再現性に問題があると指摘されているため、下顎頭の中心点とほぼ一致している蝶番軸が再現性が高く、下顎頭点として用いるには望ましいと考えられる⁴⁾。

また、顎関節症患者における下顎前後運動時の下顎頭運動についても、下顎頭の運動経路が下顎前後運動時に上下顎前歯の咬合接触関係による影響を直接受けるので、正しく下顎頭の運動を評価することが困難であり、現在まで報告されていない。したがって、顎関節症患者の下顎前後運動時の顎運動の特徴を検出するためには、患者群とはほぼ同じ上下前歯の被蓋関係を有した健常者を対照群として用いる必要があると考える。われわれはこれまで、咀嚼運動時において食物の大きさと下顎頭の運動との関係を調べ、食物の大きさという下顎の主に垂直的な変化が下顎頭の運動に及ぼす影響を明らかにしてきた⁴⁾。しかし、下顎の前後的な運動に応じた下顎頭の運動の変化に関してはまだ十分な検討がなされていない。そこで本研究では、片側に顎関節症症状を有する個性正常咬合者と同症状を認めず前歯の被蓋関係と上下顎歯の咬合関係がほぼ同じである個性正常咬合者を対象として、下顎開閉口運動および前後運動時の下顎中切歯と両側下顎頭の動きとその経路について検討した。

今回使用した3次元6自由度顎運動測定装置は、約12gのクラッチにフェイスボウが取り付けられており、軽量であるため、より自然で、かつ生理的運動がおこなえたと考えられる。過去に用いられたほとんどの6自由度顎運動測定装置は、少なくとも下顎に60g以上のクラッ

チなどを装着する必要がある^{5,13,14)}、自然な状態での運動が記録されているのかどうか疑問であった。しかし、本邦で最近、より自然な条件下で下顎6自由度の運動が記録できるシステムが開発され、すでに臨床応用がなされつつある⁴⁾。しかし、この種のシステムは、精度的に劣るとの指摘もあった。しかし、常盤ら²⁾の報告に示されているように、本研究で用いた測定装置ナソヘキサグラフシステム[®]の精度は、高いことが既に報告されており、さらに、本装置の精度を検討した結果、問題がないことが示された。以上より、本研究で用いられた3次元6自由度下顎運動測定装置は、従来のものとは異なり、被験者に与える負担はかなり小さく、より自然な生理的下顎運動と測定がおこなえたものと考えられる。

顎関節症状をともなう患者の約80%は、関節円板の位置異常をともなういわゆる顎関節内障患者であると報告されており¹⁵⁾、顎関節内障に特徴的な下顎運動経路についての解析が、有用である可能性が示唆されている。このことは、下顎頭運動パターンの中に、顎関節内障の病態を反映する所見が認められると考えられる。また、顎関節は、下顎頭と関節円板が一体となって回転と滑走の二種類の運動を単独に、あるいは同時に営むことが可能な複合関節であり、顎関節内障のような顎関節円板などの機能が障害されている場合には、下顎頭の運動経路だけでなく、下顎運動時の下顎頭の回転と滑走の様相にも影響が現われているものと考えられる。したがって、この点を把握することは顎口腔系における顎関節の機能を診断する一助となると推察される¹⁶⁾。顎関節症患者における開閉口運動時の下顎頭運動に関して、Farrarら^{17,18)}やMauderliら¹⁹⁾は、開閉口運動をおこなった時の矢状面における下顎頭の運動経路を調べ、顎関節内障(復位性関節円板前方転位)の患者は、8の字型のパターンを示すことを報告している。また竹内ら²⁰⁾は、このような患者は滑走運動量が多く開口運動の初期と終末期の運動パターンが健常者と比べて異なっていたことを報告している。一方、府馬ら²¹⁾は、このような患者の23%で運動制限を認めたが、統計学的には健常者との間に有意差を認めなかったことを報告している。本研究結果は、府馬ら²¹⁾の報告と同様、Fig. 5に示されているように、顎関節症患者において運動制限を認める所見が得られたが、両群ともばらつきが大きく有意の差を認めなかった。以上より、開閉口運動時(タッピング運動時)において、片側に顎関節症症状を有する患者は、両側下顎頭ともに運動制限されている傾向が認められるものの、本被験動作は、被験者の意志によって開口量を自由に変えることができるために個体間変動が大きくなり、顎関節症患者の診断には

適していないことが示唆された。

一方、開閉口経路の垂直的な位置関係に関しては、健常者において、閉口時の下顎頭の運動経路は開口時の経路よりも関節結節に近づくとする報告^{22,23)}や、これとは逆に下顎頭内の全運動軸点の開口路は閉口路よりも関節結節よりにあることも報告されており、顎関節雑音などが開口時に多いことの根拠としている²⁴⁾。本研究結果は、Fig. 5 に示されるように両群とも開閉口経路がほぼ一致していた。このことから、顎関節雑音と開閉口経路との関連性はほとんどないことが本研究により示唆された。

上記の開閉口運動とは異なり、下顎の前後運動時の下顎頭の運動を評価検討した報告はこれまでほとんど認められない。これは、下顎頭の運動経路が上下顎前歯の咬合関係に直接影響を受けるなどの方法論的困難性によるものと考えられるが、本研究では、咬合関係による影響を極力排除するために、患者群とほぼ同じ上下前歯の咬合接触関係を有する健常者を対照群として用いた結果、顎関節症患者に特有の顎運動を明らかにすることができた。その顎運動の特徴としては、下顎中切歯点の下方への変位量はTMD群の方が、対照群よりも有意に小さな値を示したこと、および患側および健側下顎頭の前後方向の最大変位量もTMD群の方が、対照群よりも有意に小さな値を示したことである。

以上より、下顎の前後運動をおこなさせた時に、左右下顎頭は関連した動きを示し、片側に顎関節症状を有する患者は、両側下顎頭とも前方への運動が制御され、その結果、下顎中切歯点の下方への変位量も減少することが示唆された。これは、顎関節症患者の診査に前後運動時の下顎頭の運動の診査が有用であることを実証するものである。

結 論

1. 下顎開閉口運動時に、片側性の顎関節症患者は運動が制限されている傾向が認められるものの、本被験動作は、被験者の意志によって開口量を自由に変えることができるために、個体間変動が大きくなり、顎関節症患者の診断には適していないことが示唆された。
2. 片側性に顎関節症症状が認められる患者の下顎頭は、下顎の前後運動をおこなさせた時に患側健側とも下顎頭の前方向への運動が制限され、その結果、下顎中切歯点の下方への変位量も減少することが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御懇篤なる御指導と御高閲を賜りました奈良県立医科大学口腔外科学講座杉村正仁教授

に深甚なる謝辞を捧げるとともに、御高閲、御助言を賜りました奈良県立医科大学整形外科学講座高倉義典教授ならびに生理学講座高木都教授に深謝申し上げます。また、本研究に御協力いただきました口腔外科学教室諸兄に感謝します。なお本論文の要旨の一部は第13回日本顎関節学会総会(2000年6月30日、福岡)において発表された。

本研究は、日本学術振興会科学研究費(1998-1999)の補助によって行われた。

文 献

- 1) Peck, C. C., Murray, G. M., Johnson, C. W. L. and Klineberg, I. J.: Trajectories of condylar points during working-side excursive movements of the mandible. *J. Prosthet. Dent.* 81: 444-452, 1999.
- 2) 常盤 肇, 三浦不二夫, 桑原洋助, 脇本康夫, 鶴田正彦: 汎用型顎口腔機能総合解析システムの開発. *日本顎口腔機能学会雑誌* 3: 11-24, 1996.
- 3) 林 豊彦, 飯島泰蔵: 剛体運動の運動学的特徴抽出法 2次元空間で周期運動する剛体の往復動点の推定. *電子情報通信学会論文誌* 70: 1157-1163, 1987.
- 4) Miyawaki, S., Ohkochi, N., Kawakami, T. and Sugimura, M.: Effect of food size on the movement of the mandibular first molars and condyles during deliberate unilateral mastication in humans. *J. Dent. Res.* 79: 1525-1531, 2000.
- 5) Gibbs C. H. and Lundeen H. C.: Jaw movements and forces during chewing and swallowing, and their clinical significance. In: *Advances on Occlusion*. 1st ed. Lundeen HC, in *Occlusion*. 1st ed Lundeen HC, Gibbs CH, editors. Boston: John Wright, 2-32, 1982.
- 6) Hannam A. G., Scott J. D. and De Cou R. E.: A computer-based system for the simultaneous in man. *Arch. Oral Biol.* 22: 17-23, 1997.
- 7) Takada K., Miyawaki S. and Tatsuta M.: The effects of food consistency on jaw movement and posterior temporalis muscle and inferior orbicularis oris muscle activities during chewing in children. *Arch. Oral Biol.* 39: 793-805, 1994.
- 8) Takada, K., Kitai, N. and Miyawaki, S.: The effects of functional occlusal contacts on human masticatory movements: physiological implication of malocclusions, In: *Brain and Oral func-*

- tions-Oral motor function and dysfunction, (Eds. Morimoto, T., Matsuya, T. and Takada, K.), Elsevier Sci. B. V., Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Shannon-Tokyo, 175-179, 1995.
- 9) **Sohn, B. W., Miyawaki, S., Noguchi, H. and Takada, K.** : Changes in jaw movement and jaw closing muscle activity following orthodontic correction of incisor crossbite. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **112** : 403-409, 1997.
 - 10) **Agerberg G.** : Maximal mandibular movements in young men and women. *Sven. Tandlak. Tidskr.* **67** : 81-100, 1974.
 - 11) **Mezitis M., Rallis G. and Zachariades N.** : The normal range of mouth opening. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **47** : 1028-1029, 1989.
 - 12) **Szentpetery A.** : Clinical utility of mandibular movement ranges. *J. Orofac. Pain* **7** : 163-168, 1993.
 - 13) **Knap F. J., Richardson B. L. and Bogstad J.** : Study of mandibular motion in six degrees of freedom. *J. Dent. Res.* **49** : 289-292, 1970.
 - 14) **Airoldi R. L., Gallo L. M. and Palla S.** : Precision of the jaw tracking system JAWS-3 D. *J. Orofac. Pain* **8** : 155-164, 1994.
 - 15) **Paesanl D. and Westesson P. L.** : Prevalence of temporomandibular joint internal derangement in patients with craniomandibular disorders. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* **101** : 41-47, 1992.
 - 16) **岡村敏弘, 旗手 敏** : 顎関節内障における下顎頭の回転と滑走に関する二軸描記法による臨床的研究 補綴歯 **33** : 1359-1373, 1989.
 - 17) **Farrar, W. B.** : Characteristics of the condylar path in internal derangements of the TMJ. *J. Prosthet. Dent.* **39** : 319-323, 1978.
 - 18) **Farrar, W. B. and McCarty, Jr., W. L.** : Inferior joint space arthrography and characteristics of condylar paths in internal derangements of the TMJ. *J. Prosthet. Dent.* **41** : 548-555, 1979.
 - 19) **Mauderli, A. P., Lundeen, H. C. and Loughner, B.** : Condylar movement recordings for analyzing TMJ derangements. *J. Craniomandib. Disord. Facial Oral Pain* **2** : 119-127, 1988.
 - 20) **竹内 誠, 笹栗健一, 杉下珠美, 佐藤貞雄, 鈴木祥井** : 復位性顎関節内障患者と顎機能正常者の下顎頭運動に関する研究. *日顎誌.* **7** : 63-74, 1995.
 - 21) **府馬 敦, 永田和裕, 大貫桂輔** : TMD 患者の下顎頭運動—滑走量と回転量による病態間の比較—. *日顎誌.* **10** : 438-451, 1998.
 - 22) **Krebs M., Gallo L. M., Airoldi R. L., Meier D., Boesiger P. and Palla S.** : Three dimensional animation of the temporomandibular joint. *Technology and Health Care* **2** : 193-207, 1994.
 - 23) **Palla S.** : Fourth World Congress on Myofacial Pain. *J. Orofac. Pain* **12** : 312-314, 1998.
 - 24) **Yatabe M., Zwijnenburg A., Megens C. C. and Naeije M.** : The kinematic center: a reference for condylar movements. *J. Dent. Res.* **74** : 1644-1648, 1995.