原著論文

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

志賀 博 小林 義典

An Objective Evaluation of Masticatory Function by Analysis of Masticatory Movements

Hiroshi Shiga and Yoshinori Kobayashi

Abstract : In order to establish an objectively evaluating method for masticatory function, an automatic masticatory movement analyzing system was developed. Using this system the differences in the masticatory movement between normal subjects and craniomandibular disorder (CMD) patients were analyzed.

1. A system was developed that can change the analog signals of masticatory movement to digital signals, establish threshold value, and automatically evaluate the average path of the opening and closing movement and the rhythm of the opening, closing and occluding phase.
2. No significant differences were found in the opening, closing, and occluding time when the system or the degimatic caliper was used in analyzing masticatory strokes.
3. The ten strokes beginning the fifth stroke of chewing gum were the most stable in both rhythm and path.
4. There were significant differences between CMD patients and normal subjects in the indicators for the stability of rhythm and path.
5. The stability of rhythm and path was considered normal if the indicators were within one standard deviation, and for the rhythm, if 3 out of 4 indicators, and for the path, if 2 out of 3 indicators were within normal range.
6. A radar chart was formulated for an objective evaluation of masticatory function.

Key words : automatic masticatory movement analyzing system, masticatory function, average path, chewing rhythm, chewing path

I. 緒 言

咀嚼機能は、頭・頸部の諸器官、特に歯、歯肉、歯周組織、顎骨、顎関節、口唇、頬、口蓋、咀嚼筋、顔面筋、頸筋、舌、大小口腔腺、咽頭などの末梢効果器系、これらから起こる感覚入力系、中枢処理系、その運動出力系が総合的に働いて、食物の性状に適したリズムカルな咀嚼運動が行われるという咀嚼システムによって営まれる¹⁾。また、末梢効果器系のうち、特に歯、顎関節、顎筋の三要素は密に関連して生理的な条件下ではバランスが保たれているが、1つの要素が異常に刺激されると、他の要素にも病的に作用し、三要素に加え顎筋を支配している神経系で構成される機能的咬合系全体としての機能異常が出現する²⁾。したがって、咀嚼機能を客観的に評価するためには、咀嚼運動を分析することが極めて重要である。

かかる見地から、近年、咀嚼運動におけるリズムと経路の観察に基づく安定性に関する研究が比較的多く行われるようになり³⁻¹⁷⁾、客観的評価の可能性が示唆されるようになってきた¹¹⁻¹⁷⁾が、これらは、主に分析区間の妥当性を明示せずにリズムの安定性について検索したものであり、また経路の安定性についても、経路の概形の定性的検索にとどまっている。

一方、最近では、エレクトロニクスの発達とコンピュータの普及に伴い、咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価が試みられるようになってきた¹⁸⁻²⁰⁾。しかしながら、これらは、経路を代表する平均経路全体を分析したのではなく¹⁸⁻²¹⁾、リズムと経路の定量的評価による咀嚼機能の客観的評価法が確立されるまでに至っていないのが現状である。

そこで、本研究は、咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価による咀嚼機能の客観的評価法の確立を目的として、はじめに咀嚼運動自動分析装置の開発を行い、ついでこの装置を用いて咀嚼運動における正常者と咀嚼系機能障害患者との差異を分析し、咀嚼機能の客観的評価のための表示法を探索した。また、この表示法を咀嚼運動自動分析装置に含めてシステム化した自動処理を試みた。

II. 研究方法および結果

1. 咀嚼運動自動分析装置の開発

まずはじめに、咀嚼運動におけるリズムと経路を定量

的かつ自動的に分析できる装置の開発を試みた。

1) 咀嚼運動自動分析装置の構成

(1) 構成機器

システムの構成機器は、ハードウェアとソフトウェアから構成される。

a. ハードウェア

ハードウェアは、Myotronics 社製 Mandibular kinesiograph (Model K-5)、日本電気社製パーソナル・コンピュータ PC-9801 VM21、ならびにマイクロサイエンス社製 A/D コンバーター DAS-1898 XPC である。

b. ソフトウェア

ソフトウェアは、BASIC 言語 (日本電気社製 N88 BASIC) によりプログラムを作成し、MS-DOS 上で動作するようにコンパイル処理を行った。以降のプログラムの作成は、この方法で行ったが、A/D 変換部分のプログラムは、sampling time が 10 msec で高速なため、アセンブリ言語で記述後、BASIC プログラム上に組み込んだ。

(2) 装置の開発手順

装置は、以下の手順で開発した。

a. A/D (アナログ・デジタル) 変換

Mandibular Kinesiograph で記録した下顎運動のアナログ信号を A/D コンバーターにより sample 数 2000, sampling time 10 msec にてデジタル信号に変換した。

b. リズムを表わす指標

リズムを表す指標は、開口相、閉口相、咬合相の各時間とそれらの和、すなわち cycle time とした。また、開口相、閉口相、咬合相の各開始点の認識は、垂直成分に対して以下の方法によった。

a) 測定原点の設定

測定原点は、記録開始 5 秒後からの 5 秒間における垂直成分の最小値とした (図 1)。この点は、記録開始 5 秒後からの 5 秒間における咀嚼運動中、最も上方である。

b) 初期閾値の設定と閉口相開始点の認識

食品の介在や咬合問題の存在により、下顎が中心咬合位に至らない場合でも、咀嚼ストロークを確実に各相に分解するため、初期閾値を測定原点の下方 2 mm の位置に設定し (図 1)、この閾値から咀嚼ストローク中の一次開口相開始点と一次咬合相開始点を算出した (図 1)。ついで、各ストロークの一次開口相開始点から一次咬合相開始点までの垂直成分で最も下方にある点を算出し、閉口相開始点とした (図 1)。

c) 咬合相の認識

一次咬合相開始点から一次開口相開始点まで、すなわ

図 1 測定原点、初期閾値の設定と一次開口相開始点、一次咬合相開始点、閉口相開始点の認識
○：下顎運動の垂直成分，A：測定原点，B：初期閾値，
●：一次咬合相開始点，★：一次開口相開始点，■：閉口相開始点

図 2 二次閾値の設定と二次開口相開始点、二次咬合相開始点の認識
C：二次閾値，●：二次咬合相開始点，★：二次開口相開始点

図 3 最終閾値の設定と開口相開始点、咬合相開始点の認識
D：最終閾値，●：咬合相開始点，★：開口相開始点

ち初期閾値より上方にある垂直成分の全データの平均値を求め、二次閾値とした。この二次閾値から二次開口相開始点と二次咬合相開始点を算出した(図 2)。ついで、二次咬合相開始点から二次開口相開始点まで、すなわち二次閾値より上方の垂直成分の全データの平均値と標準偏差を求め、この両者を加算して最終閾値とし、最終閾値から各ストローク中の開口相開始点と咬合相開始点を算出した(図 3)。

c. リズムの安定性を表わす指標の作成

咀嚼開始後の任意のストロークからの 10 ストロークの各ストロークにおける開口相、閉口相、咬合相の各時間と cycle time を算出後、10 ストロークの平均値と標準偏差から変動係数を求め、リズムの安定性の指標とした。

d. 経路と速度成分の定性的表示

a) 各ストロークの表示

咀嚼運動を開口相、閉口相、咬合相の各開始点の認識により各ストロークに分解し、前頭面と矢状面の経路と速度成分を定性的に表示した。各ストロークのグラフィック表示(図 4-A)は、各ストロークの閉口相開始点を境にして開口路と閉口路とを点で色分けした。また、こ

図 4 任意のストロークからの 10 ストロークにおける前頭面、矢状面、速度の各ストローク表示(A)と重ね合わせ表示(B) [F]: 前頭面, [S]: 矢状面, [V]: 速度

の点表示は、sampling time 10 msec で A/D 変換したため、隣り合う 2 点間の距離が 10 msec における下顎の移動量を示す。すなわち、隣り合う 2 点が接近していれば、運動速度が遅く、離れていれば運動速度が速いことを示す。

b) 重ね合わせ表示

任意のストロークからの 10 ストロークは、重ね合わせ表示ができるようにし(図 4-B)、各ストロークの表示と同様に開口路と閉口路とを色分けした。

e. 経路を表わす指標

経路を表わす指標は、前頭面における平均経路とし、以下の方法によって求めた。

咀嚼開始後の任意のストロークからの 10 ストロークの各ストロークにおける中心咬合位を基準として、前頭面投影した開閉口路を上下的に 10 分割し、各分割点の座標値(X, Y)を求めた(図 5)。

ついで、各座標値の 10 ストロークの平均値と標準偏差を算出し、この平均値点を連ね、平均経路とした。また、平均経路上の各平均値点に水平方向と垂直方向の標準偏差を合わせてグラフ表示し、経路の安定性を視覚的に観察できるようにした(図 6-A)。

なお、矢状面における平均経路は、矢状面投影した開閉口路について(図 6-B)、また開閉口速度は、開閉口時速度成分と開口距離の垂直成分について(図 6-C)、上記と同様な手順で行った。

図5 1つのストロークの中心咬合位から開口位までを上下的に10分割した各分割点の座標値の算出
A: 咀嚼開始後の任意のストロークからの10ストローク, B: 開口時の第4分割点の座標 (X, Y)
とその算出式, (X_A, Y_A) : 中心咬合位, (X_B, Y_B) : 開口位, C: 各分割点の座標値

図6 咀嚼開始後の任意のストロークからの10ストロークの平均経路ならびに標準偏差
A: 前頭面, B: 矢状面, C: 開閉口時速度

f. 経路の安定性を表わす指標の作成

上記の平均経路上の各平均値点における開口時の水平方向の標準偏差の平均を開口時側方成分, 閉口時の水平方向の標準偏差の平均を閉口時側方成分, 開閉口時の垂直方向の標準偏差の平均を垂直成分としてそれぞれ算出後, これらの各成分を開口量で除算し (以後 SD/OD と略す), これを経路の安定性の指標とした. なお, 開口量は, 平均経路の最下方点として算出した.

2) 開口相, 閉口相, 咬合相の各開始点の自動認識と平均経路の妥当性の検討

本研究の開口相, 閉口相, 咬合相の各開始点の自動認識と平均経路の妥当性を検討するため, 以下の実験を行った.

(1) 実験方法

a. 被験者と被験食品

被験者は, 22~28 歳 (平均 23.5 歳) の日本歯科大学歯学部の学生と職員の中から無作為に 20 名を選択した.

被験食品は, チューイン・ガム (ワーナー・ランバート社製) 1 枚を記録前に約 1 分間咀嚼させ, 軟化したものを用いた.

b. 記録方法

被験者は, 頭部を固定せずに, フランクフルト平面が

水平となるようにリラックスさせた状態で歯科用治療椅子に坐らせた. 咀嚼運動は, Mandibular Kinesiograph K-5 型を用いて, 主咀嚼側咀嚼時の 30 ストロークにおける切歯点の運動を TEAC 社製データレコーダー (XR-50) に記録した.

c. 分析方法

a) 開口相, 閉口相, 咬合相の各時間の自動認識による計測結果とノギスによる実測結果との比較

被験者 20 名の咀嚼開始後 30 ストロークにおける開口相, 閉口相, 咬合相の各時間について, 本研究の自動認識による計測結果とノギスによる実測結果とを比較した. なお, ノギスによる実測値は, 術者 3 名の実測値のばらつきがきわめて小さかったので, 3 名の実測値の平均を代表値として適用した.

b) 本研究方法による平均経路と他の研究方法による平均経路との比較

被験者 20 名の咀嚼開始後 30 ストロークについて, 本研究方法と他の研究方法, すなわち Mongini¹⁸⁾, 森¹⁹⁾, 瑞森ら²⁰⁾の研究方法により, それぞれ平均経路を求め, 両者を前頭面における経路の重ね合わせ表示と比較した.

(2) 結果と小括

a. 開口相, 閉口相, 咬合相の各時間の自動認識による計測結果とノギスによる実測結果との比較

各被験者の計測方法別にみた開口相, 閉口相, 咬合相の各時間と全被験者の計測方法間における対応ある平均値の差の検定結果は, 表 1 に示す.

開口相, 閉口相, 咬合相の各時間は, 各被験者ともに自動認識による計測結果とノギスによる実測結果とがほぼ同じ値を示し, 両計測方法間に有意差が認められず, t -value も 0.4~0.6 できわめて小さな値であった. この

表 1 各被験者の計測方法別にみた開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間と全被験者の計測方法間における対応ある平均値の差の検定結果 Mechanical: 自動認識による計測結果, Manual: ノギスによる実測結果

(msec)						
Opening time		Closing time		Occluding time		
Sub.	Mechanical	Manual	Mechanical	Manual	Mechanical	Manual
1	213	209	180	182	177	181
2	180	181	196	199	193	190
3	213	211	186	189	149	150
4	170	167	169	170	176	180
5	210	212	234	231	294	303
6	191	195	216	218	148	144
7	140	139	128	130	209	214
8	184	193	207	210	137	128
9	185	187	184	177	135	134
10	206	210	184	188	167	160
11	194	187	185	186	137	141
12	178	180	254	252	157	155
13	185	184	215	218	183	178
14	207	212	175	173	195	190
15	152	148	146	142	195	203
16	153	157	129	127	184	179
17	159	161	176	181	156	151
18	175	172	228	221	241	246
19	176	175	150	151	176	173
20	205	207	193	197	188	185
t-value	-0.647		-0.440		0.516	

結果は, 自動認識による計測結果がノギスによる実測結果と一致することを示すものであり, 本研究における開口相, 閉口相, 咬合相の各開始点の自動認識の妥当性が明らかになった。

b. 本研究方法による平均経路と他の研究方法による平均経路との比較

全被験者の前頭面における経路の重ね合わせ表示, 本研究方法による平均経路, ならびに他の研究方法¹⁸⁻²⁰⁾による平均経路は, 図 7 に示す。

開口量がほぼ一定である場合 (被験者 1~6) には, 両平均経路は, ともに重ね合わせ表示した経路の水平的かつ垂直的なほぼ中間点を通過し, 方法間による差が認められなかった。一方, 開口量が変動する場合 (被験者 7~20) には, 平均経路は, 本研究方法では開口量が一定である場合と同様に重ね合わせ表示した経路の水平的かつ垂直的なほぼ中間点を通過したが, 他の研究方法¹⁸⁻²⁰⁾では開口位付近できわめて不規則となり, 開口から閉口への変曲点が消滅し, 開口から閉口への変曲点付近の平均経路を示すことが不可能だった。これらのことから, 本研究方法による平均経路は, 経路の水平的かつ垂直的なほぼ中間点を通過することが確認された。

3) 分析区間の設定

適切な分析区間を設定するために, 次の実験を行った。

(1) 実験方法

a. 被験者

被験者は, 全身と咀嚼系に臨床的な異常が認められない 22~28 歳 (平均 23.7 歳) の日本歯科大学歯学部 of 学生と職員 20 名を選択した。

b. 被験食品と記録方法

被験食品と記録方法は, 上記の実験と同様である。

c. 分析方法

各被験者別に咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストローク (21 シリーズ) について, リズムの安定性を表す指標 (開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間, cycle time の各変動係数) と経路の安定性を表す指標 (開口時側方成分, 閉口時側方成分, 垂直成分の各 SD/OD) をそれぞれ算出後, 全被験者の平均を求め, 各連続 10 ストローク間で比較した。

(2) 結果と小括

a. リズムの安定性

全被験者でみた咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストロークにおける開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間, cycle time の各変動係数の平均は, 図 8 に示す。

開口相時間と cycle time の各変動係数の平均は, 第 5 からの 10 ストローク, また閉口相時間と咬合相時間の各変動係数の平均は, 第 6 からの 10 ストロークがそれぞれ最小値を示し, その後徐々に不安定になった。閉口相時間と咬合相時間の各変動係数の平均は, 第 5 からの 10 ストロークが第 6 からの 10 ストロークに近似する値を示した。したがって, 30 回の咀嚼ストロークにおける第 5 からの 10 ストロークのリズムが, 最も安定するといえる。

b. 経路の安定性

全被験者でみた咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストロークにおける開口時側方成分, 閉口時側方成分, 垂直成分の各 SD/OD の平均は, 図 9 に示す。

開口時側方成分と垂直成分の各 SD/OD の平均は, 第 5 からの 10 ストローク, また閉口時側方成分の SD/OD の平均は, 第 6 からの 10 ストロークでそれぞれ最小値を示し, その後徐々に不安定になった。閉口時側方成分の SD/OD の平均は, 第 5 からの 10 ストロークが第 6 からの 10 ストロークに近似する値を示した。したがって,

図 7 全被験者の前頭面における経路の重ね合わせ表示 (A), 本研究方法による平均経路 (B), ならびに他の研究方法による平均経路 (C)

て、30 回の咀嚼ストロークにおける第 5 からの 10 ストロークの経路が、最も安定するといえる。

これらの結果から、咀嚼運動の分析区間は、咀嚼開始後第 5 からの 10 ストロークに決定すべきことが明確になったので、この区間を自動的に抽出できるようにした。

以上のように、本咀嚼運動自動分析装置は、咀嚼運動におけるリズムと経路を定量的かつ正確に分析するための十分な性能を有している。

2. 咀嚼機能の客観的評価のための表示法の検索と表示法の自動処理

咀嚼運動自動分析装置の開発により、咀嚼運動におけるリズムと経路を定量的かつ正確に分析することが可能となったので、次に咀嚼機能の客観的評価のための表示法を設定する目的で、咀嚼運動自動分析装置を用いて、咀嚼運動における正常者と咀嚼系機能障害患者との差異を分析した。また、この表示法を咀嚼運動自動分析装置に含めてシステム化した自動処理を試みた。

1) 実験方法

(1) 被験者

被験者は、全身と咀嚼系に臨床的な異常が認められない 21~32 歳 (平均 23.9 歳) の日本歯科大学歯学部 of 学生と職員 67 名を正常者群、また昭和 60 年 4 月から同 62 年 10 月にかけて日本歯科大学歯学部病院補綴科に来院した 19~36 歳 (平均 26.3 歳) の咀嚼系機能障害患者の中から、顎関節部の疼痛、顎関節雑音、下顎運動制限の 3 症状のうち、2 症状以上を有する患者 54 名を患者群としてそれぞれ選択した。なお、歯の欠損が 1 歯以内で、その部が修復されていることを条件にした。

(2) 被験食品と記録方法

被験食品と記録方法は、前述の実験と同様であるが、患者群では、右側咀嚼時と左側咀嚼時を記録した。

(3) 分析方法

正常者 67 名と患者 54 名の咀嚼開始後第 5 からの 10 ストロークについて、リズムの安定性を表す指標 (開口相時間、閉口相時間、咬合相時間、cycle time の各変動係数) と経路の安定性を表す指標 (開口時側方成分、閉

図 8 全被験者でみた咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストロークにおける開口相時間、閉口相時間、咬合相時間、cycle time の各変動係数の平均 ($n=20$)

図 9 全被験者でみた咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストロークにおける開口時側方成分、閉口時側方成分、垂直成分の各 SD/OD の平均 ($n=20$)

口時側方成分、垂直成分の各 SD/OD) をそれぞれ算出後、両群間で比較した。また、正常範囲を設定するため、正常者群におけるリズムと経路の安定性を表す各指標の平均値と標準偏差から $\text{mean}-1\text{SD}$ と $\text{mean}+1\text{SD}$ の両値を求め、 $\text{mean}-1\text{SD}$ 以下、 $\text{mean}\pm 1\text{SD}$ 以内、 $\text{mean}+1\text{SD}$ 以上の各範囲にある正常者群の被験者数を調べた。さらに、正常範囲の妥当性を検討するために、全被験者についてリズムと経路の安定性を表す指標ごとに正常範囲にある被験者数を調べた。最後に、これらを咀嚼運動自動分析装置に含めてシステム化し、自動処理する表示法を検討した。

2) 結果と小括

(1) リズムの安定性

正常者群と患者群における開口相、閉口相、咬合相の各時間と cycle time の各変動係数の平均値と標準偏差、ならびに両群間における対応のない平均値の差の検定結果は、表 2 と図 10 に示す。

開口相時間、閉口相時間、咬合相時間、cycle time の各変動係数は、正常者群では 10.8, 9.1, 7.6, 4.5% だったが、患者群では 25.1, 15.3, 14.7, 11.2% で、正常者群よりも著明に大きく、両群間に有意差が認められた。

(2) 経路の安定性

正常者群と患者群における開口時側方成分、閉口時側方成分、垂直成分の各 SD/OD の平均値と標準偏差、ならびに両群間における対応のない平均値の差の検定結果は、表 2 と図 10 に示す。

開口時側方成分、閉口時側方成分、垂直成分の各 SD/OD は、正常者群ではそれぞれ 3.2, 3.6, 3.8% だったが、患者群ではそれぞれ 7.2, 6.8, 7.5% で、正常者群

よりも著明に大きく、両群間に有意差が認められた。

(3) 正常者群におけるリズムと経路の安定性を表す各指標値の被験者数

リズムと経路の安定性を表す各指標値における被験者数の結果は、表 3 と 4 に示す。

各指標値が $\text{mean}-1\text{SD}$ 以下であった被験者は 16~20 名、 $\text{mean}\pm 1\text{SD}$ 以内であった被験者は 44~46 名だったが、 $\text{mean}+1\text{SD}$ 以上であった被験者は 3~6 名できわめて少なかった。そこで、リズムと経路を表す各指標値が $\text{mean}+1\text{SD}$ 以内を仮の正常範囲として設定した。

(4) 設定したリズムと経路の安定性を表す各指標値の正常範囲の妥当性の検討

全被験者におけるリズムと経路の安定性を表す各指標値別にみた被験者数は、表 5 と 6 に示す。

正常者群における設定した正常範囲を示す被験者数は、リズムでは 4 指標すべてが 67 名中 47 名、4 指標中 3 指標が残りの 20 名、また経路では 3 指標すべてが 67 名中 54 名、3 指標中 2 指標が残りの 13 名であった。すなわち、すべての正常者は、リズムでは 4 指標中 3 指標以上、経路では 3 指標中 2 指標以上がそれぞれ設定した正常範囲を示した。

一方、患者群における設定した正常範囲を示す片側ごとにみた例数は、リズムでは 4 指標中 3 指標以上が 108 例 (54 名) 中 10 例、経路では 3 指標中 2 指標以上が 108 例中 14 例で少なく、これらはいずれもリズムと経路との関連性が認められなかった。また、リズムの安定性を表す 3 指標以上かつ経路の安定性を表す 2 指標以上が正常範囲を示す例数は、わずか 2 例のみであり、この 2 例はともに、反対側の咀嚼時で明らかな正常範囲外を示した。これらのことから、設定した正常範囲は、リズムを

表 2 正常者群と患者群における開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間, cycle time の各変動係数と開口時側方成分, 閉口時側方成分, 垂直成分の各 SD/OD の平均値と標準偏差ならびに両群間における対応のない平均値の差の検定結果 Normal: 正常者群 (n=67), Patients: 患者群 (n=108) (%)

	Opening time		Closing time		Occluding time		Cycle time		Lateral element in the opening movement		Lateral element in the closing movement		Vertical element	
	Normal	Patients	Normal	Patients	Normal	Patients	Normal	Patients	Normal	Patients	Normal	Patients	Normal	Patients
Mean	10.8	25.1	9.1	15.3	7.6	14.7	4.5	11.2	3.2	7.2	3.6	6.8	3.8	7.5
SD	3.9	14.2	2.5	5.9	2.7	10.6	2.7	6.3	1.4	3.4	1.1	3.4	1.3	3.6
t-value	9.881**		9.617**		6.623**		9.708**		10.835**		9.047**		9.709**	

** : p<0.01

表 3 リズムの安定性を表す各指標値における正常被験者数 Opening: 開口相時間, Closing: 閉口相時間, Occluding: 咬合相時間, Mean: 正常者 67 名の平均値 (名)

	Opening	Closing	Occluding	Cycle time
Mean-1SD以下	18	17	16	20
Mean±1SD以内	44	44	45	44
Mean+1SD以上	5	6	6	3

表 4 経路の安定性を表す各指標値における正常被験者数 Opening: 開口時側方成分, Closing: 閉口時側方成分, Vertical: 垂直成分, Mean: 正常者 67 名の平均値 (名)

	Opening	Closing	Vertical
Mean-1SD以下	17	19	17
Mean±1SD以内	46	45	44
Mean+1SD以上	4	3	6

図 10 正常者群と患者群における開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間, cycle time の各変動係数と開口時側方成分, 閉口時側方成分, 垂直成分の各 SD/OD の平均値と標準偏差

表 4 指標中 3 指標以上, 経路の安定性を表す 3 指標中 2 指標以上という条件づけによって, 十分妥当性のあることが明らかになった。

以上の結果から, 咀嚼系機能障害患者の咀嚼運動におけるリズムと経路は, 不安定であり, また正常者の咀嚼運動におけるリズムと経路の安定性を表す各指標値の正常範囲は, mean+1SD 以内に設定すればよいことが明らかになった。

(5) リズムと経路の安定性を表す各指標値の表示法とその自動処理の検討

上記の結果から, リズムと経路の安定性を表す各指標値の正常範囲が明らかになったので, 咀嚼運動におけるリズムと経路を視覚的に判定する正常者群の mean-1

SD, mean, mean+1SD, また患者群の mean からレーダーチャートを作成したところ (図 11), 咀嚼運動におけるリズムと経路の安定性について, 正常範囲か否かを簡便かつ明確に表示することができた。さらに, このレーダーチャートをグラフ表示し, 被験者の数値データを併せて表示できるように咀嚼運動自動分析装置に含めてシステム化し, 咀嚼運動自動分析システムとして完成した。

このシステムの完成により, 被験者の咀嚼運動を記録後, 自動的に咀嚼ストロークを各ストロークに分解し, 咀嚼開始後第 5 からの 10 ストロークについて, 前頭面, 矢状面, ならびに速度の各ストロークの表示と重ね合わせ表示, また前頭面と矢状面における平均経路と開閉口

表 5 正常者群におけるリズムと経路の安定性を表す各指標値別にみた例数

		リズムの安定性				(例数)
		4 指標が 正常範囲内	3 指標が 正常範囲内	2 指標が 正常範囲内	1 指標が 正常範囲内	
経路の安定性	3 指標が 正常範囲内	43	11	0	0	
	2 指標が 正常範囲内	4	9	0	0	
	1 指標が 正常範囲内	0	0	0	0	
	0 指標が 正常範囲内	0	0	0	0

図 11 リズムと経路の安定性を表すレーダーチャート

時速度、それらの数値表示、さらにリズムと経路の安定性を評価するレーダーチャート上に被験者の数値データを併せて表示することが可能になった。

III. 考 察

1. 咀嚼運動自動分析装置の開発について

1) A/D 変換について

A/D 変換部分のプログラムは、A/D 変換時の sampling time が 10 msec で高速なため、アセンブリ言語で記述したが、A/D 変換時のデータを前もって BASIC 上で配列宣言 (DA% (2000, 4)) して確保したメモリ上に格納するようにした。したがって、下顎運動の垂直成分、前後成分、側方成分、速度成分は、A/D 変換と同時にそれぞれ DA% (1, 1)~DA% (2000, 1), DA% (1, 2)~DA% (2000, 2), DA% (1, 3)~DA% (2000, 3), DA% (1, 4)~DA% (2000, 4) に格納された。また、これらのデータは、BSAVE, BLOAD 命令により、メモリ上の機械語プログラムとしてディスクに保存あるいはディスクからの再生を行った。これらの操作により、処理時間を短縮することができたものと考えられる。

2) 開口相、閉口相、咬合相の各開始点の認識について

(1) 測定原点の設定について

測定原点は、下顎が硬い食品咀嚼時に食品の介在によ

表 6 患者群におけるリズムと経路の安定性を表す各指標値別にみた例数

		リズムの安定性				(例数)
		4 指標が 正常範囲内	3 指標が 正常範囲内	2 指標が 正常範囲内	1 指標が 正常範囲内	
経路の安定性	3 指標が 正常範囲内	0	1	1	2	
	2 指標が 正常範囲内	0	1	0	9	
	1 指標が 正常範囲内	2	6	5	6	
	0 指標が 正常範囲内	0	0	0	0	

って中心咬合位に至らない場合や、有床義歯の沈下によって習慣性咬合位よりも上方に至る場合が考えられるので、記録開始 5 秒後からの 5 秒間における咀嚼運動中の最上方点に設定した。また、記録開始時のアーチファクトの混入を避け、確実な咀嚼運動時の最上方点を求めるために、記録開始 5 秒後からの 5 秒間において設定した。

(2) 咬合相の認識法について

咀嚼運動を正確に各相に分解できるか否かは、咬合相をどのように認識するかということにかかっている。通常、咬合相は、下顎運動の垂直成分から初期閾値を設定後、垂直成分の微分による速度閾値を設定する方法がとられている^{15, 22, 23)}が、この方法では、もし速度閾値が小さすぎると、咬合接触時に振動が生じた場合には、咬合相を正確に認識できなくなり、逆に速度閾値が大きすぎると、求めた咬合相が実際の咬合相よりも大きくなってしまう。また、初期閾値を大きく設定して速度閾値を設定すると、咬合位付近での運動の制止や停止がある場合には、咬合相を誤認する恐れがある。逆に、初期閾値を小さく設定すると、食品の介在や咬合問題などによって下顎が中心咬合位に至らない場合には、咬合相を正確に分解できなくなる。このような問題に配慮した秀島²⁴⁾は、硬性・破碎性食品では速度変化が大きいことが予想されるので、閉口相開始点を自動認識させるものの、咬合相を実測するという策を講じている。かかる点を考慮し、本研究では、まず初期閾値を 2 mm に設定し、咀嚼ストロークを確実に各ストロークに分解した。ついで、初期閾値より上方にある垂直成分の全データの平均値を求め、これを 2 次閾値、さらに 2 次閾値より上方にある垂直成分の全データの平均値と標準偏差を求め、この両者を加算して最終閾値を設定し、閉口運動においてサンプル・ポイントが最終閾値を通過する点を咬合相開始点、閉口運動を逆行してサンプル・ポイントが最終閾値を通過する点を閉口相開始点とした。これは、下顎運動を開口相、閉口相、咬合相に分解した場合には、情報量が他

の相よりも咬合相できわめて多いことを利用したものである。また、2次閾値については、開口運動や閉口運動の情報も多少存在するので、最終閾値を設定した。

ちなみに、本研究では、初期閾値を2 mm に設定しているの、下顎が中心咬合位の下方2 mm までに至らない場合には、咬合相を誤認する可能性が考えられる。しかしながら、正常者67名と咀嚼系機能障害患者54名について、下顎が中心咬合位に至らない例を調べたところ、患者1名の1つのストロークで中心咬合位の下方約1.8 mm が最大であり(図12)、それ以外はすべてが中心咬合位から下方1.8 mm 以内であった。

したがって、本研究の咬合相の認識法は、下顎が中心咬合位に至らない場合、咬合接触時の振動がある場合、あるいは咬合位付近での運動の制止や停止がある場合でも、きわめて正確であり、有用性が高いと考えられる。

(3) 開口相、閉口相、咬合相の各時間の自動認識による計測結果とノギスによる実測結果との比較について

自動認識法は、本来ヒトが行う操作を機械が自動的に行うことによって処理時間の短縮を可能にする方法であり、ある一定の基準を設定することによって処理結果に客観性をもたせるものではない。したがって、自動認識法により得られた結果は、ヒトが行った結果と一致、あるいは近似していなければならない。

本研究の被験者20名の咀嚼開始後30ストロークにおける開口相、閉口相、咬合相の各時間の自動認識は、いずれの被験者でもノギスによる実測結果との間に有意差が認められず、 t -value が0.4~0.6できわめて小さな値であった。これは、本研究の開口相、閉口相、咬合相の各開始点の自動認識法が、咀嚼運動の分析に際して有用性が高いことを示すものと考えられる。

3) 本研究方法による平均経路と他の研究方法による平均経路との比較について

近年のエレクトロニクスの発達により、咀嚼運動の評価に際して、平均経路を算出する定量的な分析が試みられるようになってきた。これらは、Monginiら¹⁸⁻²⁰⁾が報告している方法で、あらかじめ中心咬合位から下方へ向かって10~20 mm の範囲に限定して水平に層分し、各層の平均点を設定している。

これらの方法による平均経路と本研究方法による平均経路とを比較した結果、両者の平均経路は、開口量がほぼ一定である場合には、ともに重ね合わせ表示した経路の水平的かつ垂直的なほぼ中間点を通過し、方法の違いによる差が認められなかったが、開口量が変動する場合には、方法の違いによる差が認められた。すなわち、本研

図12 患者1における咀嚼運動自動分析システムを用いて自動的に認識した開口相、閉口相、咬合相の各開始点 A: 開口相, B: 閉口相, C: 咬合相,運動の垂直成分

究方法による平均経路は、開口量が一定である場合と同様に重ね合わせ表示した経路の水平的かつ垂直的なほぼ中間点を通過したが、Monginiら¹⁸⁻²⁰⁾の方法による平均経路は、開口位付近できわめて不規則となり、開口から閉口への変曲点が消失した。これは、Monginiら¹⁸⁻²⁰⁾の方法では、既述のように平均経路の求め方が中心咬合位から10~20 mm の範囲で限定し、しかもいずれのストロークについても同一の層分をしているためと考えられる。実際に、咀嚼運動における正常者8名の経路を中心咬合位から1 mm おきに20 mm 下方まで水平に層分し、各層での平均値と標準偏差を求めたMongini¹⁸⁾は、各層の右側咀嚼時の咀嚼ストロークの通過数が下方5 mm では開口時191, 閉口時209, 下方10 mm では開口時186, 閉口時198, 下方15 mm では開口時155, 閉口時166, 下方20 mm では開口時35, 閉口時43であったと報告している。また、同様な方法で正常者1名の中心咬合位から0.4 mm おきに12 mm 下方までの平均経路を求めた瑞森ら²⁰⁾は、各層の咀嚼ストロークの通過数が中心咬合位から下方9.6 mm までは17であったが、下方10 mm では14, 下方10.4 mm では9, 下方12 mm ではわずかに2だったと報告している。これらの報告は、ともに中心咬合位から最大開口位に向かうに従って咀嚼ストロークの各層での通過数が減少し、その減少数が最大開口位付近で著明であることを示しており、正常者でも開口量が各ストロークによって変動することを意味している。このように、Monginiら¹⁸⁻²⁰⁾の方法では、平均経路全体から経路の安定性を観察することは、不可能であろう。

これらのことから、本研究で求めた平均経路は、常に経路の水平的かつ垂直的なほぼ中間点を通過し、経路の安定性について平均経路全体の安定性から観察することが可能であり、経路を表す指標として十分妥当性を示すものと考えられる。

4) リズムと経路の安定性を表す指標について

(1) リズムの安定性を表す指標について

リズムの安定性を定量的に表す指標として、下顎運動や筋活動の時間的要素の標準偏差^{6,7,9)}、変動係数^{10,12,15-17)}、あるいは平均変化量^{4,5)}などが報告されている。これらのうち、標準偏差は観察値のばらつきの最も有効な記述の仕方²⁵⁾であるが、下顎運動や筋活動の時間的要素の平均値に個人差がある場合には、その影響を直接的に受けてしまう難点がある。また、平均変化量は、隣接変数間の差の平均値であるため、変数の配列順序に厳しく拘束されるので、適用が高い順序拘束性をもつ変数群に限定される²⁶⁾。

他方、変動係数は相対的なばらつきを示す無名数で、測度が異なる場合の比較に都合がよいという特徴を有する²⁵⁾。また、不正咬合者や咀嚼系機能障害患者における下顎運動や筋活動の時間的要素の変動係数は、正常者のそれよりも大きいことが明らかにされている^{3,7,10)}。これらの被験者のすべてを対象とする本研究では、測度が明らかに異なるので、開口相、閉口相、咬合相の各時間とならびに cycle time の変動係数をリズムの安定性を表す指標にした。

(2) 経路の安定性を表す指標について

経路の安定性を定量的に表す指標として、経路を分割して求めた平均点の標準偏差^{18,20,21)}と変動係数²⁰⁾が報告されているが、開口時の平均経路について、標準偏差と変動係数とを比較した著者ら²⁷⁾の研究では、標準偏差は側方への偏位量の影響を受けなかったのに対し、変動係数は側方への偏位量が大きいと小さくなり、逆に側方への偏位量が小さいと大きくなることが明らかになっている。つまり、変動係数は開口路の安定性とは関係なく、開口路の概形によって変化する。したがって標準偏差は、変動係数よりも経路の安定性を表す指標として有効と考えられる。

しかしながら、開口量について、正常者と咀嚼系機能障害患者とを比較した著者ら²⁸⁾の研究では、両者間に有意差が認められているので、平均経路の概形の大きさの違いによって影響を受ける標準偏差は、本研究のような正常者に加え、咀嚼系機能障害患者も被験者としている場合には、必ずしも安定性を表わす指標とはならないことが予測される。

かかる見地から、本研究では、平均経路の概形の大きさの違いによる影響を排除するため、標準偏差を開口量で除算し、これを経路の安定性の指標にした。

5) 被験食品について

咀嚼運動は、食品の質や量によって変化することが明らかにされている^{6,29-33)}ので、咀嚼機能を咀嚼運動の分析、特に安定性から評価する際には、質や量ができる限り変化しない被験食品が要求される。咀嚼運動を分析する際の被験食品としては、チーズ³⁴⁾、カマボコ¹²⁾、チューインガム⁸⁾、サラミソーセージ²⁰⁾、ニンジン³⁵⁾、ピーナッツ⁵⁾、クラッカー⁶⁾、クリスピーブレッド¹⁸⁾、生米³⁶⁾などが使われているが、これらのうち、十分軟化したチューインガムは、咀嚼の進行に伴う硬さや量の変化が少なく、リズムの安定性がよいので、分析に適していることが示唆されており^{3,4,8,32)}、最近の三田と小林¹⁶⁾の研究でも、咀嚼機能の定量的評価には最適であることが確認されている。

かかる理由から、本研究では、咀嚼運動におけるリズムと経路の安定性を評価する目的のため、被験食品は、記録前に十分軟化したチューインガムを使用した。

6) 分析区間の設定について

咀嚼運動の分析区間は、リズムが咀嚼開始初期と後半で乱れること^{37,38)}、あるいは咀嚼開始初期では意識的要素が加わり³⁷⁻³⁹⁾、後半では唾液の貯溜による咀嚼の中断⁶⁾や嚥下の準備動作が加わる^{37,38)}ことなどから、咀嚼開始初期と後半、あるいは後半のみを除外した咀嚼開始後 20 秒間⁴⁰⁾、咀嚼開始後 20 ストローク²⁹⁾、咀嚼開始 5 秒後からの 10 秒間⁴¹⁾、咀嚼開始 5 秒後からの 10 ストローク^{15,34,42)}、咀嚼開始後第 4 ストロークからの 10 ストローク¹⁶⁾、咀嚼ストロークが安定してから 10 ストローク^{10,12)}などがあげられており、意見の一致がみられない。また、これらはほとんどが設定理由については詳しく言及しておらず、実験的に調べた研究は、著者の知る限りでは三田と小林¹⁶⁾の報告のみと思われる。この研究では、咀嚼開始後の 30 ストロークについて、第 1 から第 21 までの各連続 10 ストロークの咀嚼筋筋活動時間とその間隔時間の各変動係数を調べ、筋電図咀嚼リズムは第 4 からの 10 ストロークが最も安定することを明らかにしている。

本研究では、正常者 20 名の咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストローク (21 シリーズ) について、リズムと経路の安定性を比較した結果、リズム、経路ともに咀嚼開始後第 5 ストロークからの 10 ストロークが最も安定していることが判明した。この結果は、上記の三田と小林¹⁶⁾の結果にほぼ一致し、1 ストロークの違いは三田と小林¹⁶⁾の研究では筋電図のみを観察していることによるものと推察される。

なお、結果に示したように、咀嚼開始からの30ストローク中の後半は、リズム、経路ともに徐々に不安定になったが、これはガム咀嚼を嚥下させずに30ストローク行わせたために、後半のストロークでは唾液が貯溜し、影響を及ぼしたものと推察される。

ちなみに、咀嚼運動中に自由に嚥下をさせた場合には、正常者では嚥下時を比較的判定し易いが、咀嚼系に機能異常あるいは機能障害が認められる患者では咀嚼運動が不安定で運動の制止や停止が起こることが多く、嚥下時の判定が困難となる。したがって、咀嚼運動の機能的分析に際しては、嚥下させずに咀嚼運動を記録すべきものと思われる。

2. 咀嚼機能の客観的評価のための表示法の検索と表示法の自動処理について

1) リズムの安定性について

正常者19名に右側と左側でガム咀嚼をさせた時の咀嚼運動におけるリズムの安定性を調べた瑞森ら⁴³⁾は、開口相時間、閉口相時間、咬合相時間、cycle timeの各変動係数がそれぞれ13.4、9.7、12.0、5.8%であったと報告している。本研究の結果では、正常者67名の開口相時間、閉口相時間、咬合相時間、cycle timeの各変動係数は、それぞれ10.8、9.1、7.6、4.5%で、cycle timeの変動係数が瑞森ら⁴³⁾の報告と同様に最小値を示したが、他の変動係数がいずれも瑞森ら⁴³⁾の報告よりも小さかった。これは、本研究では、正常者に主咀嚼側で咀嚼させているのに対し、瑞森ら⁴³⁾の研究では、右側咀嚼と左側咀嚼を指示しているために、咀嚼側間の機能的差異による結果が含まれていたものと考えられる。この咀嚼側間の機能的差異については、非主咀嚼側咀嚼が主咀嚼側咀嚼時よりも不安定になる可能性がPerryら⁴⁴⁾により示唆されており、正常者20名の咀嚼運動における主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時の差異を定量的に比較した最近の浜中ら⁴⁵⁾の研究でも、咀嚼運動は非主咀嚼側咀嚼時の方が主咀嚼側咀嚼時よりも有意に不安定であることが確認されている。この問題を配慮し、本研究では、正常者の主咀嚼側を正常像として選択した。一方、患者では、主咀嚼側を明示できない例数が多かったので、右側咀嚼時と左側咀嚼時を記録した。

次に、咀嚼系機能障害患者であるが、54名の開口相時間、閉口相時間、咬合相時間、cycle timeの各変動係数は、それぞれ25.1、15.3、14.7、11.2%で、いずれも正常者群よりも著明に大きく、両群間に高度な有意差が認められた。これは、咀嚼系機能障害患者のリズムが、正

常者のそれよりもきわめて不安定であることを示すものと考えられる。

2) 経路の安定性について

経路の安定性に関する定量的評価法として、開口距離、開口時最大側方距離、閉口時最大側方距離などを指標とした分析は多い^{7,9,14,17)}が、開閉口路そのものを指標として分析した研究はきわめて少ない¹⁸⁻²⁰⁾。後者の経路そのものの安定性を分析した報告のうち、正常者8名の経路を中心咬合位から1mmおきに20mm下方まで水平に層分し、各層の点の平均値と標準偏差を求めたMongini¹⁸⁾は、閉口時の標準偏差が開口時のそれよりも大きかったと報告し、開口運動は反復性があるが、閉口運動は変動すると考察している。本研究の結果では、経路の安定性を表す指標（開口時側方成分、閉口時側方成分、垂直成分の各SD/OD）は、正常者でそれぞれ3.2、3.6、3.8%を示し、閉口時側方成分のSD/ODは、Mongini¹⁸⁾の報告と同様に開口時側方成分のSD/ODよりもわずかに大きな値を示したが、両者間に有意差が認められなかった。この差異は、Mongini¹⁸⁾の研究では被験者数が8名で、少なかったためと推察される。また、正常者6名の右側咀嚼時と左側咀嚼時の経路を中心咬合位から2mmごとに10mm下方まで水平に層分し、各層の点の標準偏差を求めた瑞森ら²⁰⁾は、最大値がほとんどの場合1mm未満で小さかったと報告している。本研究の結果では、例えば開口量が20mmの正常者について、開口時側方成分、閉口時側方成分、垂直成分の各標準偏差を算出してみると、それぞれ0.64、0.72、0.76mmとなり、瑞森ら²⁰⁾の報告にほぼ一致し、きわめて小さな値を示した。したがって、正常者の経路は、きわめて安定しており、個人内でもごくわずかな変動があるものの、ほぼ同一であると考えられる。

個人内の経路について、正常者の咀嚼運動経路を視覚的に観察したAhlgren³⁵⁾は、規則的で調和がとれているが、連続ストロークのパターンが絶えず変化し、各個のストロークが完全に一致することはなかったと報告しており、その原因は、咀嚼中における歯周組織、舌、歯肉、顎関節などの各受容器からの求心性入力に変動があるためであると説明している。また、加藤⁴⁶⁾は、咀嚼時にヒトと同様な臼磨様の顎運動を行うウサギの三叉神経知覚系分枝を切断し、咀嚼側や筋活動の変化を調べた結果、三叉神経求心情報が咀嚼リズムを形成する機構に影響を及ぼしていることが認められたと報告している。これらのことから、本研究の結果でみられた経路のごくわずかな変動は、チューイングガムの形状が咀嚼中に変化する

るために、絶えず歯、口腔粘膜、舌、歯肉などへの刺激、すなわち三叉神経求心情報が変化したためと考えられる。

本研究の結果でも、正常者の経路における各ストローク間のごくわずかな変動が認められたことから、正常な咀嚼運動を営むためには末梢からのフィードバック信号が必要であり、その量がある閾値量以下であれば、わずかな変動を伴いながらもリズムカルな運動を維持し、末梢からのフィードバック信号がある閾値量以上であれば、経路の変動も増大することは容易に推察できる。このように考えると、既述の唾液の貯溜によるものと推察した最も安定する咀嚼開始後の第 5 ストロークからの 10 ストローク後の不安定性は、唾液の貯溜が末梢からのフィードバック信号を増大させた結果として説明できよう。

次に、咀嚼系機能障害患者であるが、本研究の結果では、開口時側方成分、閉口時側方成分、垂直成分の各 SD/OD は、いずれも正常者のそれらよりも著明に大きく、両者間に高度な有意差が認められ、経路がきわめて不安定であることを示した。本研究の咀嚼系機能障害患者は、顎関節部または咀嚼筋の疼痛、顎関節雑音、下顎運動制限の 3 症状のうち、2 症状以上を有するので、口腔領域の感覚受容器からのフィードバック信号が多量で、リズムカルな運動を営むために必要な閾値量を越えたことにより、リズムカルな運動を維持できなくなり、きわめて不安定な経路を呈したものと考えられる。

3) リズムと経路の安定性を表す指標値の正常範囲について

設定したリズムと経路の安定性を表す各指標値の正常範囲は、リズムの安定性を表す 4 指標中 3 指標以上、経路の安定性を表す 3 指標中 2 指標以上という条件づけによって十分妥当性のあることが明らかになったが、この条件に適合する咀嚼系機能障害患者は、リズムと経路とを分けてみると、両者間に関連性が認められなかったもののそれぞれ 10 例と 14 例存在した。これは、咀嚼系機能障害患者の中には、少ないものの、リズムあるいは経路のどちらか一方のみが安定する患者が存在することを示している。したがって、咀嚼運動の分析による咀嚼機能の評価に際しては、リズムあるいは経路のどちらか一方のみならず、両者の安定性を分析しなければならないと考えられる。

また、同様な条件にリズム、経路ともに適合する咀嚼系機能障害患者は、片側ごとにみて 2 例、すなわち 2 名存在したが、いずれも反対側の咀嚼で明らかな正常範囲外を示した。これはわずかではあるが、咀嚼系機能障害患者の咀嚼運動の分析に際して、片側のみならず、左右

側でそれぞれ咀嚼させ、記録する必要があることを示すものと考えられる。

4) リズムと経路の安定性を表す各指標値の表示法とその自動処理について

既述のように、最近では、エレクトロニクスの発達とコンピュータの普及に伴い、咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価が試みられるようになり¹⁸⁻²⁰⁾、咀嚼運動の分析のためのコンピュータシステム¹⁸⁾、あるいは咀嚼運動アナライジングシステム²⁰⁾として報告されているが、正常範囲が明示されておらず、また経路の分析に際して、平均経路を求めているものの、経路全体を分析したものではなく、その数値データも出力されず、特に安定性に影響を及ぼす分析区間についての表示も曖昧である。本研究で完成した咀嚼運動自動分析システムは、咀嚼運動におけるリズムと経路、また分析に必要な区間を正確に自動認識するとともに、リズムと経路の安定性について明確な正常範囲を基準に自動的かつ視覚的に表示でき、さらに必要な数値データを簡便に出力できるようにした。したがって、このシステムにより、咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価を的確に行うことができ、咀嚼機能の客観的評価法の一つとして有用性がきわめて高いものと考えられる。

以上のことから、本研究で完成した咀嚼運動自動分析システムにより、咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価による自動的かつ視覚的な咀嚼機能の客観的評価法の確立が示唆された。

IV. 結 論

咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価による咀嚼機能の客観的評価法の確立を目的として、咀嚼運動自動分析装置を開発し、これを用いて咀嚼運動における正常者と咀嚼系機能障害患者との機能的差異を分析後、その表示法を検索し、以下の結論を得た。

1. 咀嚼運動のアナログ信号をデジタル信号に変換し、閾値設定後、開口相、閉口相、咬合相の各開始点の認識から時間的要素によるリズムと前頭面における開閉口路の上下的 10 分割点による平均経路を自動的に求められる咀嚼運動自動分析装置を開発できた。

2. 無作為に選択した 20 歳代の被験者 20 名のガム咀嚼開始後 30 ストロークにおける開口相、閉口相、咬合相の各時間は、同装置の計測とノギスによる実測との間に有意差が認められなかった。また、同装置による平均経路は、開口量の変動しても重ね合わせ表示した経路の

水平的, 垂直的中点を通過した。

3. 同装置で記録した 20 歳の正常者 20 名のガム咀嚼開始から 1 ストロークごとに順次起点とした各連続 10 ストロークの 21 シリーズにおけるリズムと経路は, 第 5 からの 10 ストロークが最も安定していた。

4. 同装置による 21~32 歳の正常者 67 名と 19~36 歳の患者 54 名のガム咀嚼開始後第 5 からの 10 ストロークにおけるリズムの安定性を表す指標 (開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間, cycle time の各変動係数), また経路の安定性を表す指標 (開口時側方成分, 閉口時側方成分, 垂直成分の各 SD/OD) は, とともに患者群の方が正常者群よりも有意に大きかった。

5. リズムと経路の安定性の正常範囲は, 上記の各指標値が mean+1 SD 以内で, リズムの安定性が 4 指標中 3 指標以上, 経路の安定性が 3 指標中 2 指標以上の条件で設定できた。

6. 以上の結果から, リズムと経路の安定性を表す各指標値における正常者群の mean-1 SD, mean, mean+1 SD, 患者群の mean によりレーダーチャートを作成し, 咀嚼運動におけるリズムと経路の安定性を視覚的かつ明確に判定できることが明らかになった。また, このレーダーチャート上に被験者の数値データを併せて表示できるように咀嚼運動自動分析装置に含めてシステム化し, 咀嚼運動自動分析システムとして完成することができた。

7. この咀嚼運動自動分析システムにより, 咀嚼運動におけるリズムと経路の定量的評価による自動的かつ視覚的な咀嚼機能の客観的評価法の確立が示唆された。

本論文の要旨は, 日本 ME 学会専門別研究会通回第 22 回顎口腔機能研究会 (昭和 62 年 2 月 7 日), 昭和 62 年度日本歯科大学歯学会第 362 回例会 (昭和 62 年 6 月 19 日), 日本 ME 学会専門別研究会通回第 28 回顎口腔機能研究会 (昭和 63 年 9 月 2 日), ならびに第 80 回日本補綴歯科学会学術大会 (昭和 63 年 10 月 22 日) において発表した。

文 献

- 窪田金次郎: 解剖学入門—咀嚼システム解明への道, 1~2, 日本歯科評論社, 東京, 1988.
- 河村洋二郎: 歯科学生のための口腔生理学, 158~232, 永末書店, 京都, 1966.
- 関 秀孝: 顎関節症の補綴学的研究, 第 2 報顎関節症患者の筋電図学的研究, 口病誌, 35: 228~264, 1968.
- 宇賀村吉亮: 咀嚼リズムの筋電図学的研究, 補綴誌, 16: 275~292, 1973.
- 越智 寛, 平川光彦, 加登 剛ほか: 咬合異常者の補綴改善例とその EMG 的観察, 阪大歯学誌, 19: 226~232, 1974.
- 広瀬浩三: 学童期における下顎前突者の顎・顔面頭蓋形態と咀嚼筋活動様式に関する研究—頭部 X 線計測学的ならびに筋電図学的研究—, 阪大歯学誌, 19: 58~80, 1974.
- 加藤信次: 顎関節機能障害患者の切歯点における咀嚼運動について, 歯科医学, 41: 117~146, 1978.
- 柴田孝典: 下顎前突症における顎運動機能に関する研究, 歯科学報, 81: 241~265, 1981.
- Jemt, T. and Hedegård, B.: Reproducibility of chewing rhythm and of mandibular displacements during chewing, J Oral Rehabil, 9: 531~537, 1982.
- 尾崎佳孝: 顎関節症にみられる顎運動異常に関する研究, 歯科学報, 83: 937~978, 1983.
- 井上健彦, 平井敏博, 又井直也ほか: 咀嚼リズムに関する一考察, 補綴誌, 26: 512~519, 1982.
- 米沢功至, 沢田 明, 内山洋一ほか: 筋電図咀嚼リズムを用いた顎関節症患者の治療効果の判定方法, 下顎運動機能と EMG 論文集, 昭和 58 年度版, 59~64, 下顎運動機能と EMG 研究会, 新潟, 1984.
- 又井直也: 筋放電持続時間分割分析法からみた咀嚼リズム—咀嚼の進行に伴う変動—, 補綴誌, 28: 1118~1128, 1984.
- 伊崎克弥: ヒトの咀嚼運動経路の分析, 一正常有歯顎者および総義歯装着者について—, 補綴誌, 29: 657~674, 1985.
- 瑞森崇弘: 咀嚼運動分析による顎口腔機能診断に関する研究, 阪大歯学誌, 32: 105~136, 1987.
- 三田貢司, 小林義典: 咀嚼機能の筋電図学的評価に関する臨床的研究, 歯学, 76: 711~760, 1988.
- 田中康隆: EMG Coordination Pattern からみた咀嚼運動の食品差について, 補綴誌, 32: 798~813, 1988.
- Mongini, F. and Tempia-Valenta, G.: A graphic and statistical analysis of the chewing movements in function and dysfunction, J Craniomandib Pract, 2: 125~134, 1984.
- 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.
- 瑞森崇弘, 桑原俊也, 丸山剛郎ほか: 咀嚼運動の恒常性に関する臨床的研究—同一食品における運動経路について—, 補綴誌, 29: 647~656, 1985.
- 桑原隆男, 瑞森崇弘, 丸山剛郎ほか: 咀嚼運動における運動域ならびに閉口経路に関する研究, 補綴誌, 29: 106~115, 1985.
- 津賀一弘, 佐藤裕二, 津留宏道ほか: シグナルプロセッサを用いた咀嚼筋筋電図解析システム, 下顎運動機能と EMG 論文集, 第 5 輯, 145~150, 顎口腔機能研究会, 新

- 潟, 1987.
- 23) 鹿野洋一, 田中久敏, 児玉厚三: 総義歯咬合の維持に関する臨床的研究, 第一報正常有歯顎者と総義歯装着者の咀嚼運動の比較, 下顎運動機能と EMG 論文集, 第 7 輯, 9~16, 顎口腔機能研究会, 長崎, 1989.
 - 24) 秀島雅之: 片側性臼歯部交叉咬合を伴う口蓋裂患者の咀嚼運動について—臼歯部被蓋の違いが咀嚼パターンに及ぼす影響—, 補綴誌, 33: 1168~1182, 1989.
 - 25) 辻 達彦: 統計方法入門, 38~56, 金原出版, 東京, 1981.
 - 26) 藤井弘之, 佐藤博信, 藤井哲則: 事象の分散または再現性を示す 2, 3 のパラメーターについて, 補綴誌, 28: 703~708, 1984.
 - 27) 志賀 博, 浜中秀由喜, 小林義典ほか: 咀嚼運動の機能的分析, 第 10 報実験的咬合干渉付与前後における咀嚼運動経路, 下顎運動機能と EMG 論文集, 第 6 輯, 181~188, 顎口腔機能研究会, 長崎, 1988.
 - 28) 志賀 博, 浜中秀由喜, 小林義典ほか: 咀嚼運動の機能的分析—正常者と咀嚼系機能障害患者における咀嚼ストロークについて—, 下顎運動機能と EMG 論文集, 第 6 輯, 61~66, 顎口腔機能研究会, 長崎, 1988.
 - 29) 田中康隆, 虫本栄子, 三谷春保: 咀嚼運動の EMG 的検査に用いる各種被験食品の適量について, 歯科医学, 48: 242~257, 1985.
 - 30) 中村隆志: 咀嚼運動調節機構の生理的特性に関する研究, 阪大歯学誌, 32: 36~55, 1987.
 - 31) 東 和生: 咀嚼運動と咀嚼筋活動の関連性に関する臨床的研究, 阪大歯学誌, 34: 26~63, 1989.
 - 32) 藍 稔: 切歯点における咀嚼運動の解析, 補綴誌, 6: 164~200, 1962.
 - 33) 川村貞行: 咀嚼時の下顎切歯点の前頭面運動について, 歯科医学, 36: 61~89, 1973.
 - 34) Suit, S.R., Gibbs, C.H. and Benz, S.T.: Study of gliding tooth contacts during mastication, J Periodontol, 47: 331~334, 1976.
 - 35) Ahlgren, J.: Masticatory movements in man, edited by Anderson, D.J. and Matthews, B., Mastication, 119~130, Wright, London, 1976.
 - 36) 石原寿郎, 平沼謙二, 橋本 譲ほか: 生米を試験食品とする咀嚼粉砕効率の算出基準について, 口病誌, 26: 620~622, 1959.
 - 37) Kawamura, Y., Kishi, K. and Nobuhara, M. et al: Studies on masticatory function, I. An electromyographic analysis of the chewing pattern of the normal occlusion and malocclusion, Med J Osaka Univ, 8: 229~240, 1957.
 - 38) 延原通夫: 不正咬合者の咀嚼機能に関する研究, I. 筋電図による咀嚼筋活動の分析, 阪大歯学誌, 3: 63~73, 1958.
 - 39) 藤本順三: 顎運動機構の神経生理学的研究, 開口反射について, 日本生理誌, 19: 1263~1271, 1957.
 - 40) 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.
 - 41) 西尾公一, 宮内修平, 丸山剛郎: 咀嚼運動に関する臨床的研究—咬合様式との関連について—, 補綴誌, 30: 806~816, 1986.
 - 42) 桑原隆男, 高島史男, 丸山剛郎ほか: 各種食品が咀嚼運動に及ぼす影響に関する臨床的研究, 補綴誌, 31: 661~674, 1987.
 - 43) 瑞森崇弘, 居相信之, 丸山剛郎ほか: 咀嚼運動の分析に現れる咬合の異常, 第 2 報咀嚼運動分析項目と咬合の異常との関連, 下顎運動機能と EMG 論文集, 第 7 輯, 31~44, 顎口腔機能研究会, 長崎, 1989.
 - 44) Perry, H.T. and Harris, S.C.: Role of the neuromuscular system in functional activity of the mandible, J Am Dent Assoc, 48: 665~673, 1954.
 - 45) 浜中秀由喜, 志賀 博, 小林義典ほか: 咀嚼運動の機能的分析, 第 11 報 正常者の咀嚼運動経路における主咀嚼側と非主咀嚼側との差異 (その 2), 補綴誌, 32: 79 回特別号: 70, 1988.
 - 46) 加藤卓也: 咀嚼運動に対する三叉神経求心性情報の役割, 阪大歯学誌, 29: 129~137, 1984.